



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

® POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

**META-ANÁLISIS DE DIETAS PARA RUMIANTES
CON DIFERENTES NIVELES DE CASCARILLA Y
PULPA DE CAFÉ**

ENRIQUE OROPEZA MARIANO

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

La presente tesis titulada **Meta-análisis de dietas para rumiantes con diferentes niveles de cascarilla y pulpa de café**, realizada por el alumno: **Enrique Oropeza Mariano**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

Consejera:


Dra. María Esther Ortega Cerilla

Asesor:


Dr. José Guadalupe Herrera Haro

Asesor:


Dr. Jacinto Efrén Ramírez Bribiesca

Asesor:


Dr. Teódulo Salinas Ríos

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2021

META-ANÁLISIS DE DIETAS PARA RUMIANTES CON DIFERENTES NIVELES DE CASCARILLA Y PULPA DE CAFÉ

Enrique Oropeza Mariano, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

La utilización de subproductos de la agroindustria como sustitutos parciales de ingredientes tradicionales en la alimentación del ganado son una alternativa frente al incremento del costo de los granos, además, permite la transformación de estos productos de desechos a recursos. El objetivo de este estudio fue realizar una revisión sistemática de la utilización de cascarilla y pulpa de café en la alimentación de bovinos y ovinos, y un meta-análisis de su efecto sobre el consumo y digestibilidad de materia seca (MS), producción y composición de leche, ganancia diaria de peso (GDP) y conversión alimenticia (CA). Se obtuvieron 17 estudios, de los cuales cuatro fueron en vacas lecheras, dos en vaquillas y cinco en ovinos, en donde se proporcionó cascarilla de café. Además, dos en vacas lecheras y cuatro en corderos en engorda en los que se probó pulpa de café. El tamaño de efecto se calculó como una diferencia de medias estandarizadas con un intervalo de confianza de 95% mediante un meta-análisis de efectos aleatorios utilizando el método de DerSimonian y Laird. La heterogeneidad se estimó utilizando la prueba de Q de Cochran y el parámetro H^2 , la variabilidad mediante el parámetro I^2 y la posibilidad de sesgo de publicación se determinó mediante la prueba de Egger. Los resultados mostraron que la utilización de cascarilla en la dieta de vacas lecheras puede incrementar el consumo de MS ($P=0.009$) ($I^2=58.62\%$, $H^2= 2.41$), así como la digestibilidad de la MS ($P=0.001$) ($I^2=84.92\%$, $H^2= 6.63$). En tanto que la producción de leche se puede ver afectada ($P=0.004$) ($I^2=39.85\%$, $H^2= 1.66$). En vaquillas la cascarilla puede mejorar la GDP ($P=0.002$) ($I^2=5.72\%$, $H^2= 1.06$), aunque la CA puede verse afectada ($P=0.038$) ($I^2=46.35\%$, $H^2= 1.86$). No se observaron efectos al utilizar cascarilla de café en dietas para ovinos. En tanto que el meta-análisis de la pulpa de café mostró efectos negativos en la producción de leche en vacas ($P=0.045$) ($I^2=69.33\%$, $H^2= 3.26$), mientras que en corderos puede afectar la GDP ($P=0.007$) ($I^2=93.60\%$, $H^2= 15.642$). La prueba de Egger fue positiva en todas las variables evaluadas ($P<0.05$).

Palabras clave: subproductos, rumiantes, dietas, meta-análisis.

META-ANALYSIS OF DIETS FOR RUMINANTS WITH DIFFERENT LEVELS OF COFFEE HUSK AND COFFE PULP

Enrique Oropeza Mariano, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

Using by-products from agroindustry as partial substitutes for traditional ingredients in livestock feed is an alternative for increasing the cost of grains. Also, it allows the transformation of these products from waste to resources. This study aimed to carry out a systematic review about the use of coffee husk and pulp in cattle and sheep feeding. Also, a meta-analysis of its effect on the intake and digestibility of dry matter (DM) milk production and composition, daily weight gain (DWG), and feed conversion (FC). Seventeen studies were used to evaluate coffee husk; from these, four were done in dairy cows, two in heifers, and five in sheep; while for testing coffee pulp, two were performed in dairy cows and four in fattening lambs. The effect size was calculated as a standardized mean difference with a 95% confidence interval by a random-effects meta-analysis using the DerSimonian and Laird method. Heterogeneity was estimated using Cochran's Q test and the parameter H^2 , variability using the parameter I^2 and the possibility of publication bias was determined using Egger's test. The results showed that the use of husk in the diet of dairy cows might increase DM intake ($P= 0.009$) ($I^2= 58.62\%$, $H^2= 2.41$), as well as DM digestibility ($P= 0.001$) ($I^2= 84.92\%$, $H^2= 6.63$). While milk production can be affected ($P= 0.004$) ($I^2= 39.85\%$, $H^2= 1.66$). In heifers, the husk can improve the GDP ($P= 0.002$) ($I^2= 5.72\%$, $H^2= 1.06$), although the FC can be affected ($P= 0.038$) ($I^2= 46.35\%$, $H^2= 1.86$). In the case of the coffee pulp, the meta-analysis showed negative effects on milk production in dairy cows ($P= 0.045$) ($I^2= 69.33\%$, $H^2= 3.26$), while in lambs, it can affect GDP ($P= 0.007$) ($I^2= 93.60\%$, $H^2= 15.642$). Egger's test was positive in all the variables evaluated ($P < 0.05$).

Key words: by-products, ruminants, diets, meta-analysis

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por la oportunidad brindada para realizar mis estudios de maestría y complementar mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por el apoyo económico otorgado.

A la Dra. María Esther Ortega Cerrilla, que me brindó la oportunidad y apoyo para realizar esta investigación.

A mis asesores: Dr. José Guadalupe Herrera Haro, Dr. Jacinto Efrén Ramírez Bribiesca, Dr. Teódulo Salinas Ríos por brindarme su apoyo en la realización y revisión de esta investigación.

A la Dra. María Magdalena Crosby Galván por su apoyo durante mis prácticas en el laboratorio.

Al personal administrativo de Ganadería.

A mis amigos de posgrado.

DEDICATORIA

A mis padres Julio y María Teresa por su apoyo y atención en todo momento.

A mis hermanos: Javier, Mónica, Janet, Erica, Octavio y Edith por motivarme a superarme todos los días.

A Yamileth por su amor, apoyo y orientación durante el posgrado.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	3
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	4
3.1. General.....	4
3.2. Específico	4
3.3 Hipótesis.....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Importancia de los rumiantes	5
4.2. Subproductos de la agroindustria en alimentación de rumiantes.....	5
4.3. Café y subproductos	6
4.4. Cascarilla de café.....	9
4.5. Pulpa de café	11
4.6. Uso de la cascarilla y pulpa de café en alimentación de rumiantes....	14
4.6.1. Cascarilla de café en bovinos.....	14
4.6.2. Cascarilla de café en ovinos	15
4.6.3. Cascarilla de café en caprinos.....	16
4.6.4. Pulpa de café en ovinos	16
4.6.5. Pulpa de café bovinos	17
4.7. Utilización de cascarilla y pulpa de café en la alimentación de no rumiantes.....	18
4.7.1. Peces	18
4.7.2. Pollos	20
4.7.3. Cerdos	22
4.8. Meta-análisis.....	23
4.8.1 Fases del Meta-análisis	24
4.8.2. Puntos clave del meta-análisis.....	25

V. MATERIALES Y MÉTODOS	26
5.1. Revisión sistemática.....	26
5.2. Identificación de estudios primarios relevantes para el meta-análisis.....	28
5.3. Criterios de selección	29
5.3. Valoración de la validez.....	30
5.4. Selección de estudios para meta-análisis	30
5.5. Características de los estudios para meta-análisis	31
5.6. Extracción de datos	37
5.7. Medidas y combinación.....	38
5.8. Modelo estadístico	38
5.9. Análisis de heterogeneidad.....	39
5.10. Análisis de sensibilidad.....	41
5.11. Análisis de sesgo de publicación	41
5.12. Presentación de resultados	41
6.13. Software utilizado	42
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
6.1. Revisión sistemática.....	43
6.2. Meta-análisis.....	43
6.2.1. Efecto de la cascarilla de café en dietas para bovinos	43
6.2.2. Efecto de la cascarilla de café en dietas para ovinos.....	57
6.2.3. Efecto de la pulpa de café en dietas para ovinos	65
6.2.4. Efecto de la pulpa de café en dietas para bovinos	70
VII. CONCLUSIONES	76
VIII. LITERATURA CITADA.....	77
APÉNDICE.....	89

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de subproductos del café.....	9
Cuadro 2. Composición química de la cascarilla de café (% base seca).	9
Cuadro 3. Contenido mineral de la cascarilla de café (base seca).....	10
Cuadro 4. Compuestos fenólicos presentes en la cascarilla de café.	11
Cuadro 5. Composición de la pulpa del café.	12
Cuadro 6. Antioxidantes presentes en la pulpa de café.	13
Cuadro 7. Contenido mineral de la cascarilla de café (base seca).....	14
Cuadro 8. Lista de comprobación en QUORUM.	28
Cuadro 9. Tamaño de efecto y heterogeneidad de la utilización de cascarilla de café en vacas Holstein en producción.	44
Cuadro 10. Tamaño de efecto y heterogeneidad de la utilización de cascarilla de café en vaquillas.	52
Cuadro 11. Tamaño de efecto y heterogeneidad de la utilización de cascarilla de café en corderos.	58
Cuadro 12. Tamaño de efecto y heterogeneidad de la utilización de cascarilla de café en carneros.	63
Cuadro 13. Tamaño de efecto y heterogeneidad de la utilización de pulpa de café en dietas para corderos.	65
Cuadro 14. Tamaño de efecto y heterogeneidad de la utilización de pulpa de café en dietas para vacas lecheras.	71
Cuadro A1. Características de estudios primarios sobre la utilización de cascarilla de café en dietas para vacas en producción.	89
Cuadro A2. Características de estudios primarios sobre la utilización de cascarilla de café en dietas para vaquillas.	90
Cuadro A3. Características de estudios primarios sobre la utilización de cascarilla de café en dietas para corderos.	90
Cuadro A4. Características de estudios primarios sobre la utilización de cascarilla de café en dietas para carneros.	91
Cuadro A5. Características de estudios primarios sobre la utilización de pulpa de café en dietas para corderos.	91

Cuadro A6. Características de estudios primarios sobre la utilización de pulpa de café en dietas de vacas lecheras. 92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de la cereza del café.....	7
Figura 2. Procesamiento del café y sus subproductos.....	8
Figura 3. Etapas del meta-análisis.....	26
Figura 4. Diagrama de análisis de estudios primarios.....	31
Figura 5. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre el consumo de la MS.	45
Figura 6. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre digestibilidad de la MS.	46
Figura 7. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre la producción de leche.	47
Figura 8. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre el porcentaje de solidos totales en leche.....	48
Figura 9. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre el porcentaje de proteína en leche	49
Figura 10. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre el porcentaje de grasa en leche.	50
Figura 11. Gráficos de embudo del efecto de la utilización de cascarilla de café en dietas para vacas Holstein.	51
Figura 12. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vaquillas, sobre consumo de la MS.....	53
Figura 13. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vaquillas, sobre digestibilidad de la MS.	54
Figura 14. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vaquillas, sobre GDP.	55
Figura 15. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre CA.....	56
Figura 16. Gráficos de embudo del efecto de la utilización de cascarilla de café en dietas para vaquillas.....	57

Figura 17. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de corderos, sobre consumo de MS.	59
Figura 18. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de corderos, sobre digestibilidad de MS.	60
Figura 19. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de corderos, sobre GDP	60
Figura 20. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de corderos, sobre CA.	61
Figura 21. Gráficos de embudo del efecto de la utilización de cascarilla de café en dietas para corderos.....	62
Figura 22. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de carneros, sobre consumo de MS.	63
Figura 23. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de carneros, sobre Digestibilidad la de MS.....	64
Figura 24. Gráficos de embudo del efecto de la utilización de cascarilla de café en dietas para carneros.....	64
Figura 25. Forest plot del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de corderos, sobre consumo de MS.	66
Figura 26. Forest plot del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de corderos, sobre digestibilidad de MO.	67
Figura 27. Forest plot del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de corderos, sobre GDP	68
Figura 28. Forest plot del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de corderos, sobre CA.....	69
Figura 29. Gráficos de embudo del efecto de la utilización de pulpa de café en dietas para corderos.....	70
Figura 30. Forest plot del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de vacas lecheras, sobre producción de leche	72
Figura 31. Forest plot del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de vacas lecheras, sobre porcentaje de sólidos totales en leche.....	73

Figura 32. Forest plot del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de vacas lecheras, sobre porcentaje de proteína en leche.....	74
Figura 33. Forest plot del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de vacas Holstein, sobre porcentaje de grasa en leche.	74
Figura 34. Gráficos de embudo del efecto de la utilización de pulpa de café en dietas para vacas Holstein.	75

I. INTRODUCCIÓN

Los rumiantes poseen características digestivas morfológicas y fisiológicas que los distinguen de otros animales de granja, dentro de estas, las regiones anteriores al abomaso son las de mayor relevancia, así como, la microbiota asociada a dichas regiones; estas características le confieren al rumiante la posibilidad de degradar glúcidos estructurales o complejos provenientes de los forrajes o alimentos fibrosos, aprovechamiento de nitrógeno no proteico para transformarlo en aminoácidos y proteína bacteriana, síntesis de vitaminas hidrosolubles, producción y aprovechamiento de ácidos grasos de cadena corta como fuente de energía metabólica, entre otras (Shimada, 2003). Estas propiedades permiten reemplazar ingredientes utilizados en la dieta de los humanos con subproductos de la agroindustria, reduciendo la competencia de alimentos y los impactos ambientales, al favorecer la sostenibilidad de los sistemas de producción (Post *et al.*, 2019), además, dichos subproductos pueden contener metabolitos secundarios de plantas que pueden mejorar las características de la carne de los rumiantes (Salami *et al.*, 2019).

La cascarilla y pulpa de café están compuestas de 58-63 % carbohidratos, 1.5-2.7 % lípidos, 6.6-14.0 % proteína, 23-35 % celulosa, 13-30 % hemicelulosa, 23-24 % lignina, 6.5% pectina, y 7.9-8.9 % de minerales (Gemechu, 2020), por lo anterior han sido utilizados en la alimentación de rumiantes (Rego *et al.*, 2019; Pires *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2007a; Souza *et al.*, 2006a; Souza *et al.*, 2005; García *et al.*, 2000), aunque, la proporción en la dieta es limitada por la presencia de factores antinutricionales como la cafeína, polifenoles y taninos, además de la alta concentración de lignina, hemicelulosa y celulosa (Roseira *et al.*, 2021).

El meta-análisis es una metodología utilizada para el análisis cuantitativo o cualitativo de un conjunto de datos extraídos de estudios sobre un tema en particular (Botella y Zamora, 2017; Molinero, 2002; León y Aguilera, 2001), mediante su uso es posible agrupar toda la información disponible aumentando la potencia estadística de los resultados procedentes de los estudios abordados, gracias a que se incrementa el tamaño de la muestra, en consecuencia, se mejora la precisión de

la estimación del efecto estudiado, así como, la magnitud del factor o factores de riesgo (Botella y Zamora, 2017; Marín *et al.*, 2009; Conejero, 2001).

II. JUSTIFICACIÓN

El incremento en la población mundial demanda cada vez mayor cantidad de alimentos, en consecuencia, es necesario aumentar la producción agrícola y pecuaria sin comprometer el medio ambiente. Sin embargo, una de las limitantes para el desarrollo de la ganadería es el costo de la alimentación representando hasta un 80% del costo total de producción, por lo tanto, la viabilidad de dicha actividad depende en gran medida del tipo, la calidad de los alimentos y las estrategias de alimentación (Skibba, 2016).

El uso apropiado de subproductos agroindustriales en la alimentación del ganado, tales como la pulpa o cascarilla de café obtenida en la industria de este son alternativas para una producción rentable y para reducir la competencia por los alimentos (Negesse *et al.*, 2009).

Mediante el meta-análisis es posible agrupar y analizar diferentes estudios de un tema en común, para obtener conclusiones más precisas que las de estudios primarios (Hunt, 1999), además de que se incrementa el tamaño de muestra y se reduce la probabilidad del error tipo I y tipo II (Riffenburgh y Gillen, 2020).

III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. General

Describir el uso de la cascarilla y pulpa de café en la dieta de animales domésticos y comparar mediante un meta-análisis el efecto de diferentes niveles de dichos subproductos del procesamiento del café en la dieta de ovinos y bovinos sobre el consumo de MS, digestibilidad de la MS, producción de leche, GDP y CA.

3.2. Específico

Determinar si el uso de cascarilla y pulpa de café puede ser utilizado como ingrediente alternativo en dietas de bovinos y ovinos.

3.3 Hipótesis

La cascarilla y pulpa de café en la dieta de ovinos y bovinos puede mejorar el consumo de materia seca y la respuesta productiva, al sustituir ingredientes de tipo energético y fibroso.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Importancia de los rumiantes

La ganadería es considerada como el mayor activo no asociado a la tierra en las carteras rurales y que juega un rol muy importante en la economía rural, no solo por proveer una fuente de alimentos directamente, tales como carne y leche (FAO, 2018); sino que también es una fuente de materia orgánica para los cultivos, fuerza de trabajo y una fuente de dinero en efectivo para la adquisición de materias primas y servicios (Tegebu, *et al.*, 2012). Sin embargo, la sostenibilidad es un gran reto para esta actividad, particularmente por la alta demanda de recursos para la obtención de alimentos para el ganado (Post *et al.*, 2019), los cuales compiten principalmente con tierra y agua en la producción de alimentos para humanos (Luciano *et al.*, 2020). Los rumiantes en particular desempeñan un papel muy importante en la sostenibilidad de los sistemas de producción gracias a su capacidad de convertir recursos de baja calidad nutricional en alimentos de alto valor nutricional para los humanos (Oltjen y Beckett, 1996). El uso de cereales en la alimentación de estos animales no es indispensable, sin embargo, la inclusión de granos en su dieta se popularizó para aumentar la producción animal, por esta razón, hasta un 35% de la producción de granos es utilizada en la alimentación de rumiantes (Gill, 2013).

En México, de acuerdo con los valores reportados por la FAO (2019) existe una población de 35,224,960 de bovinos, 8,708,246 de ovinos y 8,791,894 de caprinos, representando una importante actividad económica, así como una alta demanda de granos para su alimentación.

4.2. Subproductos de la agroindustria en alimentación de rumiantes

La producción de alimentos ocasiona múltiples impactos ambientales, como la emisión de CO₂, contaminación de suelo y cuerpos de agua (Boroni *et al.*, 2007), en respuesta, la sostenibilidad de los sistemas de producción se vuelve necesaria para reducir dichos impactos. La implementación de la economía circular puede apoyar en este proceso al cerrar el ciclo de materiales, así como, disminuir el consumo de recursos y descargas al medio ambiente, es decir, reutilizar, reparar, reciclar los

materiales o productos existentes y transformarlos de desechos a recursos (Jurgilevich *et al.*, 2016).

En la última década en el mundo se ha utilizado hasta un tercio de la producción total de cereales para la alimentación del ganado (Makkar, 2016), entonces, la utilización de subproductos de la agricultura o agroindustria se puede enfocar en la alimentación animal (Nudda *et al.*, 2019), puesto que generalmente, contienen cantidades considerables de proteína, carbohidratos, lípidos o bioactivos que pueden tener un efecto positivo en la producción (Federici *et al.*, 2009), además que pueden reducir el costo de alimentación (Yoshihara y Yokoyama, 2021).

De manera que, se ha recurrido a la disminución de granos en la dieta de rumiantes mediante la inclusión de subproductos agroindustriales, tales como el uso de harina y cáscara de camelina (*Camelina sativa*) en corderos (Ramirez *et al.*, 2018), el uso de harina de palma de aceite en vacas lecheras (Lunsin *et al.*, 2020) y búfalos en lactación (Galvão, *et al.*, 2020), el uso de ensilado de subproductos de la extracción del aceite de olivo y ensilado de desechos de tomates en cabras lecheras (Pardo *et al.*, 2016), por mencionar algunos; así como, una mayor utilización de forrajes, con esta estrategia no solo se reduce la competencia de alimentos, sino que, además, se mejoran las condiciones de bienestar animal (Makkar, 2016). Cabe mencionar que, al considerar la utilización de un nuevo ingrediente se debe garantizar un suministro suficiente, que sea de fácil acceso y principalmente que los animales lo acepten, también es necesario considerar su composición nutrimental para no comprometer la producción (McNeill, 2013).

4.3. Café y subproductos

El café ha sido por mucho tiempo el producto alimenticio más comercializado y una de las bebidas mayormente consumidas en el mundo (Farah, 2009), la planta de cultivo comercial más importante y el segundo producto internacional más valioso después del petróleo (Alves *et al.*, 2017; Esquivel y Jiménez, 2012; Skibba, 2016). Es obtenido de los árboles del género *Coffea*, el cual pertenece a la familia *Rubiaceae* (Pereira *et al.*, 2017), dentro del género *Coffea* existen más de 103 especies de las cuales destacan por su importancia comercial: *Coffea arabica*,

cultivado en zonas altas y de clima templado, y *Coffea canephora*, asociado a zonas bajas y de clima cálido (Ferrão *et al.*, 2015; Farah 2009); estos árboles son cultivados alrededor de la región comprendida entre las latitudes 30° N y 30° S conocida como el cinturón del café (Pereira *et al.*, 2019).

Brasil es el mayor productor a nivel mundial, aportando una tercera parte de la producción mundial, seguido de Vietnam, Colombia, Indonesia, Etiopía, Honduras, India, México, Perú, Guatemala, entre otros; la producción mundial de café verde superó los 9.9 millones de toneladas en el 2020 (ICO, 2020). En nuestro país el cultivo de café es una actividad con relevancia económica, social y ecológica (Hernández y Nava 2018).

Los frutos del cafeto (bayas) crecen hasta alcanzar una longitud de 10 a 15 mm, en su interior contiene dos semillas (granos de café) con forma elíptica, las cuales se encuentran rodeadas por capas de pericarpio clasificadas como: exocarpio o piel externa de la cereza, mesocarpio o pulpa, endocarpio o pergamino y piel plateada (Figura 1) (Gemechu, 2020; Alves *et al.*, 2017).

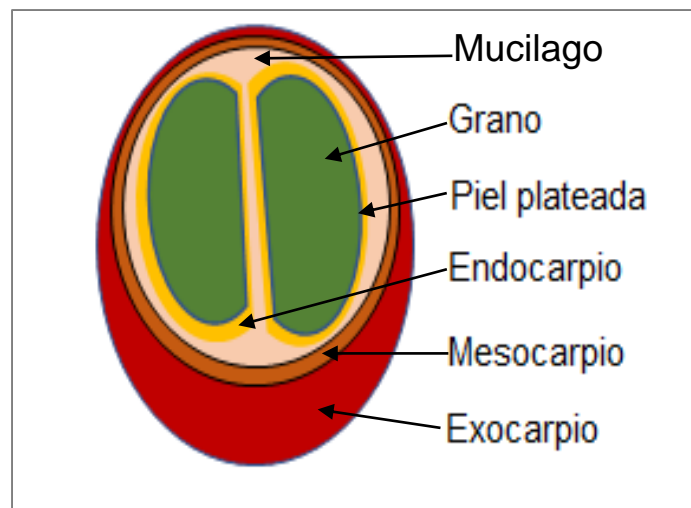


Figura 1. Componentes de la cereza del café.

Existen dos métodos de procesamiento de las bayas del café para la obtención de los granos (Figura 2), el beneficio húmedo y el beneficio seco o natural, el primero consiste en despulpar las cerezas cosechadas, seguido de un proceso de fermentación y lavado para eliminar el mucilago (exocarpio y mesocarpio), dejando solamente el pergamino y el grano; mientras que en el método seco una vez deshidratados los frutos se separa el grano de la cascarilla, que está compuesta por la pulpa, el mucilago y el pergamino (exocarpio, mesocarpio y endocarpio) (Berecha *et al.*, 2011).

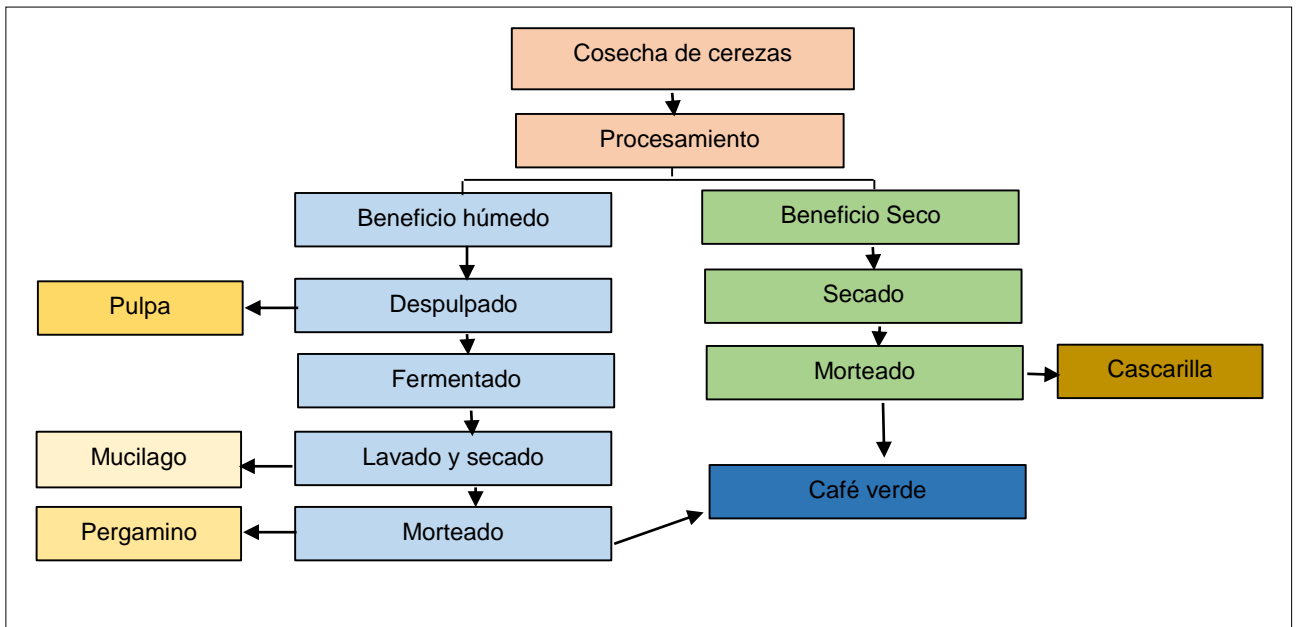


Figura 2. Procesamiento del café y sus subproductos.

Ambos métodos generan enormes cantidades de desechos tanto sólidos como líquidos (Kebede *et al.*, 2010), por cada 2 toneladas de cerezas frescas de café procesadas se produce una tonelada de pulpa de café o media tonelada de cascarilla, considerados como un subproducto con capacidad de contaminar cuerpos de agua y suelos (Martínez *et al.*, 2019a; dos Santos *et al.*, 2021; Esquivel y Jiménez, 2012). Dichos subproductos son ricos principalmente en carbohidratos, proteínas, pectinas y compuestos bioactivos, como los polifenoles (Cuadro 1) (Murthy y Naidu, 2012) y gracias a la tendencia de la economía circular, crece el interés por estos subproductos de la cadena de producción del café (Magoni *et al.*, 2018).

Cuadro 1. Composición química de subproductos del café¹

Componente (%)	Pulpa	Cascarilla
Celulosa	63.0 ± 2.5	43.0 ± 8.0
Hemicelulosa	2.3 ± 1.0	7.0 ± 3.0
Proteína	11.5 ± 2.2	8.0 ± 5.0
Lípidos	2.0 ± 2.6	0.6 ± 5.0
Fibra total	60.5 ± 2.9	24 ± 5.9
Polifenoles totales	1.5 ± 1.5	0.8 ± 5.0
Azúcares totales	14.4 ± 0.9	58.0 ± 20.0
Sustancia péctica	6.5 ± 1.0	1.6 ± 1.2
Lignina	17.5 ± 2.2	9.0 ± 1.6
Taninos	3.0 ± 5.0	5.0 ± 2.0
Ácido clorogénico	2.4 ± 1.0	2.5 ± 0.6
Cafeína	1.5 ± 1.0	1.0 ± 0.5

(¹Murthy y Naidu, 2012)

4.4. Cascarilla de café

La cascarilla de café presenta un alto contenido de carbohidratos, así como, de otros compuestos orgánicos como proteína y lípidos, además de compuestos bioactivos y fotoquímicos (Cuadro 2), esto permite su aprovechamiento en la alimentación de animales, producción de composta, utilizado directamente como combustible, producción de biogás y cultivo de hongos (Franca y Oliveira, 2009).

Cuadro 2. Composición química de la cascarilla de café (% base seca).

Componente	%			
Materia Seca (MS)	-	94.69 ²	86.2 ³	88.02 ⁴
Proteína	8.0-11.0 ¹	7.96 ²	6.9 ³	6.6 ⁴
Extracto etéreo	0.5-3.0 ¹	3.91 ²	1.8 ³	1.5-27 ⁴
Minerales	3.0-7.0 ¹	8.31 ²	-	7.9 ⁴
Carbohidratos totales	58.0-85.0 ¹	-	-	58-63 ⁴
FDN	59 ¹	56.76 ²	59.4 ³	-
FDA	52 ¹	66.5 ²	55.6 ³	-
Lignina	9 ¹	-	12.0 ³	23-24 ⁴
Cafeína	~1 ¹	-	-	0.98 ⁴
Taninos	~5 ¹	-	-	4.5-8.5 ⁴

(¹Gouvea *et al.*, 2009; ²Rego *et al.*, 2019; ³Souza *et al.*, 2004; ⁴Gemechu, 2020)

Del total de polisacáridos presentes en la cascarilla de café los más abundantes son la celulosa hasta un 35%, seguida de hemicelulosas (35%) de las cuales un 1.62 % compuesto por arabinosa, 1.54% por galactosa, 1.68% por arabinosa y 22% por xilosa (Gemechu, 2020). También posee carbohidratos solubles tales como fructosa, glucosa, galactosa y arabinosa (monosacáridos); rafinosa y sacarosa (oligosacáridos) (Hejna, 2021).

El contenido de proteína oscila entre 6.6-11% (Cuadro 2), las cuales están constituidas principalmente por aminoácidos como ácido glutámico (7.7%) y ácido aspártico (7.1%), así como, leucina (4.7%), glicina (4.2%), prolina y valina (3.7%), alanina (3.5%), lisina (3.4%), serina (3.3%), treonina (3.1%) y fenilalanina (3%) por mencionar algunos (Hoseini *et al.*, 2021).

Este subproducto del café también es rico en minerales, sobre todo en potasio, calcio y magnesio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Contenido mineral de la cascarilla de café (base seca)¹.

Elemento	Contenido (mg Kg ⁻¹)	
P	80 ¹	140 ²
K	20600 ¹	22600 ²
Ca	2210 ¹	450 ²
Mg	790 ¹	150 ²
Fe	260 ¹	23000 ²
Cu	20 ¹	1803 ²
Mn	60 ¹	90 ²
Zn	10 ¹	560 ²
B	91.4 ¹	-
S	1100 ¹	-
Se	0.19 ¹	-
Na	40 ¹	20 ²
I	-	18.3 ²

(¹Hoseini *et al.*, 2021; ²Gemechu, 2020)

Otra característica interesante de la cascarilla del café es su contenido de polifenoles como el ácido clorogénico, el cual se considera un polifenol soluble derivado de la esterificación del ácido cafeico con ácido quínico (Hoseini *et al.*, 2021), con propiedades antioxidantes (Moraczewski *et al.*, 2018). La presencia de

este compuesto en las plantas permite la síntesis de la pared celular, la cicatrización y el desarrollo de las raíces (Hoseini *et al.*, 2021). Mientras que, al ser ingerido por animales, puede reducir el daño de especies reactivas de oxígeno [di oxígeno (O₂), anión superóxido (O₂⁻), hidroxilo (OH), peróxido (ROO), alcoxi (RO) y óxido nítrico (NO)] al disminuir la formación de estos (Chaves-Ulate *et al.*, 2019), dichas moléculas oxidantes pueden afectar a proteínas, lípidos y ADN de las células (Kohen and Nyska, 2002). La cascarilla posee, además, diferentes polifenoles los cuales se observan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Compuestos fenólicos presentes en la cascarilla de café¹.

Compuestos fenólicos	Contenido base seca
Procianidina B1	22.3 µg g ⁻¹
Procianidina B2	11.16 µg g ⁻¹
Ácido clorogénico	2.5 mg g ⁻¹
Ácido 5-cafeoilquínico	1.9 mg g ⁻¹
Ácido vanílico	23 µg g ⁻¹
Ácido 3-cafeoilquínico	11 mg Kg ⁻¹
Ácido 5-p-cumaroilquínico	35 mg Kg ⁻¹
Ácido protocatecuico	1.31 mg Kg ⁻¹
Ácido p-cumárico	8.7 µg g ⁻¹
Ácido cafeíco	58 µg g ⁻¹
Ácido ferúlico	10.24 µg g ⁻¹
Ácido gálico	87 µg g ⁻¹
Ácido p-hidrozibenzoico	13.4 µg g ⁻¹

(¹Gemechu, 2020)

4.5. Pulpa de café

La pulpa es la fracción del mesocarpio que es removida durante el procesamiento húmedo de las cerezas maduras (Albes *et al.*, 2017) y es el más abundante subproducto constituyendo aproximadamente 40% del peso húmedo de la cereza (Hejna, 2021); compuesto principalmente por carbohidratos tales como, glucosa, fructosa y pectina, posee características similares a la cascarilla (Cuadro 5) (Pereira

et al., 2020). Ha sido utilizada como sustrato para microorganismos en la síntesis de aminoácidos, para la producción de bioetanol, como ingrediente en la dieta de animales y como fuente de antioxidantes (Cuadro 6) (Dorsey y Jones, 2017), gracias a los compuestos bioactivos, tales como los flavonoides y compuestos fenólicos que son de gran interés no solo por su alto poder antioxidante, también, por actividades antiinflamatorias, antimicrobianas, antialérgicas, anticancerígenas, entre otras (Murthy y Madhava, 2012).

Cuadro 5. Composición de la pulpa del café.

Componente	Contenido % en base seca	
Fibra dietética total	12.0-21.0 ¹	16.0-24 ²
Proteína	8.0-14.8 ¹	7.0-13.0 ²
Lípidos	1.0-2.9 ¹	1.3-2.5 ²
Lignina	14.3-26.4 ¹	26.0-31.5 ²
Celulosa	20.7-32.6 ¹	10.0-33.0 ²
Hemicelulosa	28.7 ¹	15.0-29.0 ²
Cafeína	0.54-1.8	1.86-3.1 ²
Taninos	0.3-2.71 ¹	3.5-6.0 ²
Ácido clorogénico	0.28-1.63 ¹	0.26 ²
Pectinas	6.0-12.4 ¹	6.5-11.0 ²
Minerales	6.4-8.9 ¹	7.3-8.9 ²

(¹Hejna, 2021; ²Gemechu, 2020)

La pulpa de café se caracteriza por poseer un alto nivel de humedad en comparación a la cascarilla, así como, un mayor porcentaje de proteínas, taninos y cafeína (Alves *et al.*, 2017); también es rica en azúcares reductores, que en conjunto con las proteínas promueven las actividades enzimáticas o el desarrollo de microorganismos (Kieu *et al.*, 2020). Cabe mencionar que, los intervalos entre los valores observados en el Cuadro 5, están relacionados con las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo (Hejna, 2021; Pandey *et al.*, 2000).

Cuadro 6. Antioxidantes presentes en la pulpa de café.

Componente	Contenido % base seca	
Ácido clorogénico	0.28-1.63 ¹	0.26 ²
Ácido protocatecuico	0.10-0.71 ¹	0.0014 ²
Ácido p-cumárico	0.004-0.06 ¹	0.0012 ²
Ácido cafeíco	0.053-1.649 ¹	0.0007 ²
Ácido ferúlico	0.01-0.426 ¹	0.0002-0.00028 ²
Ácido gálico	0.006-0.288 ¹	0.0003-0.00035 ²
Cafeína	0.54-1.87 ¹	1.86-3.1 ²
Taninos	0.35-2.71 ¹	3.5 – 6 ²

(¹Hejna, 2021; ²Gemechu, 2020)

Este subproducto del café es considerado una fuente natural de antioxidantes, es decir, puede donar electrones o prevenir actividades de agentes oxidantes (Arellano *et al.*, 2011); los más representativos se muestran en el Cuadro 6, la diferencia entre los valores se puede atribuir al método de extracción utilizado (Magoni *et al.*, 2018). Dentro de estos compuestos la cafeína y los taninos se encuentran en mayor proporción, y la concentración de estos, además, está estrechamente relacionada a la especie en el caso de la cafeína es mayor en *Coffea canephora* y en el caso de los taninos la variedad determina la concentración de estos, puesto que las variedades de cerezas amarillas poseen mayor concentración en comparación a las rojas (Pandey *et al.*, 2000). El efecto antioxidante de la cafeína es resultado del incremento en la producción de glutatión, además, activa las enzimas glutatión reductasa y superóxido dismutasa (Dorsey y Jones, 2017).

En relación a minerales, el potasio se encuentra en mayor proporción en la pulpa (Cuadro 7), seguido del fósforo, magnesio, calcio y azufre, al igual que con los componentes anteriores, la concentración de estos está en función de las condiciones ambientales, pero sobre todo de la aplicación de fertilizantes al cultivo (Martínez *et al.*, 2019b).

Cuadro 7. Contenido mineral de la cascarilla de café (base seca)¹.

Elemento	Contenido (mg Kg⁻¹)
P	1475.1 – 1,800
K	2582 – 11700
Ca	777 – 1,200
Mg	1293.3 – 1,900
Fe	52 – 119
Cu	19 – 32
Mn	29 – 40
Zn	8 – 15
B	-
S	1600
Se	-
Na	11-34
I	-

(¹Gemechu, 2020).

4.6. Uso de la cascarilla y pulpa de café en alimentación de rumiantes

El uso de ingredientes alternativos en la dieta de rumiantes, tales como los subproductos de agroindustria o residuos de cultivos que contengan un valor nutritivo aceptable, es una estrategia que puede mejorar la rentabilidad y sostenibilidad de la unidad de producción, además, pueden mejorar el bienestar animal, reducir la contaminación del ambiente y en ocasiones mejorar la calidad de la carne (Ponnampalam *et al.*, 2019).

Tanto la cascarilla como la pulpa de café en la alimentación de rumiantes son utilizadas como una fuente alternativa de energía por su contenido de carbohidratos, a continuación, se menciona el uso de estos subproductos.

4.6.1. Cascarilla de café en bovinos

Souza *et al.* (2006a) probaron diferentes niveles de inclusión de cascarilla de café (0.0, 8.75, 17.5 y 26.25%) en sustitución al maíz en dietas para vaquillas Holstein x Zebu, encontrando que la digestibilidad, el consumo y la ganancia de peso no se compromete al utilizar hasta un 17.5% de cascarilla en la dieta. Sin embargo, en

otro estudio Souza *et al.* (2010) notaron que el incremento de los niveles de cascarilla en la dieta puede alterar la síntesis de proteína microbiana al promover la excreción de N.

La sustitución de maíz por cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein x Zebu en lactación en un porcentaje de hasta 10.5 % no afecta la producción, calidad de la leche (Souza *et al.*, 2005), ni el balance de N (Souza *et al.*, 2006b). Por otra parte, Oliveira *et al.* (2007a) comprobó que un nivel de hasta 25% de cascarilla de café en dietas con un 60% de forraje y 40% de concentrado para vacas Holstein en lactación, no afecta la producción de leche ni la síntesis de proteína microbiana en vacas con una producción de 20 kg de leche por día (Oliveira *et al.*, 2007b). Cipriano *et al.* (2006a) mencionan que es posible utilizar hasta un 12% de cascarilla de café en sustitución al ensilado de maíz en vacas Holstein en lactación cuya dieta está compuesta de un 60% de forraje y 40% de concentrado. En otro estudio Cipriano *et al.* (2006b) observaron que es posible sustituir hasta en un 15% de maíz por cascarilla de café sin afectar la producción de leche en vacas Holstein en lactación con una dieta compuesta por 60% ensilado de maíz y 40% de concentrado.

4.6.2. Cascarilla de café en ovinos

El tratamiento químico de la cascarilla de café para mejorar la digestibilidad fue probada por García *et al.* (2000) quienes utilizaron 15.2 % de cascarilla de café sin tratar y tratada con 4% de urea para sustituir maíz en dietas para corderos, sin encontrar diferencias en el consumo de materia seca, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, peso de la canal, ni los cortes o composición de pierna, paleta o lomo (García *et al.*, 2003b), sin embargo, sí encontraron diferencias en el tamaño del retículo-rumen de animales alimentados con dietas con cascarilla de café (García *et al.*, 2003a), asociado a la fibra de la cascarilla. Sin embargo, al utilizar óxido de calcio (5%) para tratar la cascarilla de café, es posible incluir hasta un 16% de esta en sustitución al ensilado de maíz en dietas para corderos, compuestas por 50% de ensilado y 50% de concentrado, sin afectar el consumo de materia seca, la digestibilidad de los nutrientes, la ganancia de peso, el rendimiento de la canal ni la calidad de la carne (Nunes *et al.*, 2020).

Por otra parte, Pires *et al.* (2009) observaron que al adicionar 15% de cascarilla de café al ensilado de pasto elefante en dietas de corderos compuestas por 60% forraje y 40% concentrado, modificó el comportamiento aumentando el consumo de materia seca, así como el tiempo de inactividad. Mientras que al utilizar hasta 22.5% de cascarilla de café por heno de avena en dietas de corderos compuestas por 30% de fibra y 70% de concentrado no afecta la digestibilidad de los nutrientes, siendo una eficaz alternativa para disminuir los costos de producción (Rego *et al.*, 2019).

Souza *et al.* (2004) mencionan que la utilización de hasta 25% de cascarilla de café en sustitución a maíz en la dieta de ovejas adultas no afecta el consumo de materia seca ni la digestibilidad de los nutrientes, resultando en un alimento alternativo.

4.6.3. Cascarilla de café en caprinos

La utilización de 15% de cascarilla de café como aditivo en ensilado de pasto elefante para dieta de cabras lecheras Saanen, compuesta por 60% de ensilado y 40% de concentrado, no afecta el consumo de materia seca, la digestibilidad ni la producción de leche, por lo tanto, no se justifica la utilización de este aditivo (Oliveira *et al.*, 2010).

4.6.4. Pulpa de café en ovinos

El uso de subproductos de la agroindustria en la alimentación del ganado es una alternativa frente a la escasez de forrajes en la época seca (Negesse *et al.*, 2007). Nurfeta (2010) evaluó el efecto de la alimentación de carneros castrados, con dietas que contenían pulpa de café (16.6%) y pulpa de café (12.7%) más pollinaza (12.9%), sin encontrar diferencia en el consumo de MS ni ganancia de peso, aunque la digestibilidad de MS disminuyó en la dieta con pulpa de café y gallinaza, mientras que el balance de N también se vio afectado con esta dieta.

Salinas *et al.* (2014) evaluaron el efecto de 0, 8 y 16% de pulpa de café (ensilada durante dos meses) en la dieta de corderos Blackbelly estabulados, sobre las características de la canal y capacidad antioxidante de la carne; en donde el rendimiento de la canal mejoró en comparación al testigo, además, la grasa del rumen e intestino disminuyó en proporción al aumento de pulpa de café en la dieta, sin embargo, la capacidad antioxidante de la carne no se vio afectada. La inclusión

de 0, 8 y 16% de pulpa de café ensilada no afectó el consumo de alimento, la ganancia diaria de peso ni la conversión alimenticia en la prueba realizada por Salinas *et al.* (2015), aunque, el consumo de agua incrementó al aumentar el porcentaje de pulpa de café en la dieta, la digestibilidad de la fibra ácido detergente se redujo en los tratamientos con 8 y 16 % de pulpa, mientras que la concentración en rumen de los ácidos acético, propiónico y butírico, al igual que el N amoniacal aumentaron con la inclusión del 16% de pulpa de café.

No obstante, Hernández *et al.* (2018) evaluaron la productividad y salud de corderos Pelibuey estabulados en engorda alimentados con diferentes niveles de inclusión de pulpa de café en la dieta: 0, 7, 14, 21 y 28%; sin encontrar diferencia en el consumo de MS, ganancia de peso ni conversión alimenticia, tampoco observaron diferencias en los niveles de colesterol, glucosa, proteína, urea ni creatinina en sangre. En el análisis de hematológico no se observaron cambios en el porcentaje de hematocrito ni en la cantidad de leucocitos.

La inclusión de 25 % de pulpa de café en dietas de ovejas Dorset x Suffolk múltiparas, 14 días antes de la aplicación del progestágeno hasta 25 días después del servicio, no tiene efecto sobre la duración del estro, aunque, puede afectar el porcentaje de gestación a los 30 días, también, puede aumentar la capacidad antioxidante del plasma sanguíneo al momento de aplicar el progestágeno (Salinas *et al.*, 2016).

En otro estudio realizado por Gutiérrez *et al.* (2019) reportaron que al utilizar 0, 5 y 10% de pulpa de café en la dieta de ovejas Dorset x Suffolk primíparas 16 días antes de la monta, no se afectó la duración del estro, ni el porcentaje de gestación ni el peso de las crías. Además, la capacidad antioxidante del plasma sanguíneo de las ovejas aumentó al incluir pulpa de café en la dieta, mientras que la oxidación de lípidos en plasma disminuyó al incluir 10% de pulpa de café.

4.6.5. Pulpa de café bovinos

La conducta de la ingestión y la preferencia de toretes Cebú-suizo por ensilados con diferentes niveles de pulpa de café (25, 50, 75 y 100%) en sustitución a *Pennisetum*

purpureum, fueron evaluadas por Pinto *et al.* (2017) quienes reportaron que, al incrementar los niveles de pulpa en los ensilados, se mejora el porcentaje de proteína cruda, además, disminuye el porcentaje de fibra, en cuanto a conducta ingestiva, la velocidad de bocado y consumo fueron favorecidos por los ensilados con un porcentaje de 25 y 50% de pulpa de café, al igual que índice de preferencia. Pedraza *et al.* (2012) evaluaron el efecto de suplementar concentrados con tres niveles de pulpa de café (10, 15 y 20%) en dietas de vacas lecheras Holstein-suizo-cebú en pastoreo, sobre la producción de leche e ingesta de forraje; sin tener un efecto negativo en estas variables, por lo que la pulpa de café puede ser utilizado como ingrediente alternativo con capacidad de reducir costos de alimentación.

4.7. Utilización de cascarilla y pulpa de café en la alimentación de no rumiantes.

4.7.1. Peces

La acuicultura desempeña un papel muy importante al proveer de proteína de alta calidad a la población, además, se caracteriza por ser el sector con un veloz crecimiento en la producción de alimentos (Yue y Shen, 2021). La nutrición es un factor importante para considerar, puesto que al cubrir los requerimientos nutricionales de los peces se asegura la producción y se reduce la incidencia de enfermedades (Yu *et al.*, 2021), pero al formular una dieta se deben considerar la disponibilidad y costo de los ingredientes, así como ingredientes alternativos (Celada y Fuertes, 2016).

La pulpa de café se ha utilizado hasta en un 30% en la dieta de tilapia (*Tilapia aurea*), durante 5 meses sin presentar diferencias en la ganancia de peso en comparación a dietas sin pulpa de café (Brahan, 1979).

Christensen (1981) utilizó 10% y 30% de pulpa de café en la dieta de carpa común (*Cyprinus carpio* L.) y bagre (*Clarias mossambicus* Peters), en ambas especies la ganancia diaria de peso se redujo de 1.65 g a 0.34 g al utilizar el 30%, prolongando el tiempo de crecimiento, aunque se redujo el costo de la producción.

En otro estudio realizado por Fagbenro y Arowosoge (1991) evaluando la alimentación de bagres (*Clarias isheriensis*) en estanques durante 150 días, utilizando pulpa de café en un 10, 20 y 30% de inclusión en la dieta en sustitución al maíz amarillo, encontraron que al aumentar el nivel de inclusión de pulpa de café se reduce la ganancia diaria de peso, aunque al utilizar hasta 20% de pulpa de café en la dieta no se encontraron diferencias en el peso final en comparación a la dieta testigo, por lo que es posible reducir los costos de producción.

Al utilizar diferentes niveles de inclusión de pulpa de café deshidratada (10, 20 y 30%) en dietas de alevines de tilapia roja (*Oreochromis aureus* x *Oreochromis niloticus*), no se reportaron diferencias en la ganancia de peso entre la dieta control y la dieta con 10% de pulpa de café, sin embargo, la factibilidad económica fue mejor en las dietas con 20 y 30% de pulpa de café en comparación a la dieta control (Castillo *et al.*, 2002).

Moreau *et al.* (2003) evaluaron la utilización de la proteína de la pulpa de café fresca y ensilada por alevines de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), al probar una dieta control con el 100% de proteína y dietas con el 80% de proteína y un aporte de 20% de proteína proveniente de la pulpa de café fresca y ensilada. Al alimentar durante 28 días a los alevines, no se observó toxicidad, aunque el crecimiento resultó afectado negativamente al utilizar pulpa de café fresca como ensilada.

Mientras que Ulloa y Verreth (2003) reportaron que al utilizar 13, 26 y 39% de inclusión de pulpa de café deshidratada en dietas para tilapia (*Oreochromis aureus*) alojadas en estanques, no se presentó diferencia en el peso final al utilizar 13% de inclusión de pulpa de café en comparación al testigo.

Bautista *et al.* (2005) alimentaron alevines del híbrido cachamay (*Colossoma* x *Piaractus*) durante 84 días con dietas compuestas por pulpa de café ensilada con 5% de melaza y sin melaza, compuestas por tres niveles de inclusión de pulpa: 10, 15 y 18% y un tratamiento control sin inclusión de pulpa. La mejor ganancia de peso se presentó en los individuos que fueron alimentados con un nivel del 18% de

ensilado de pulpa de café sin melaza, aunque la mayor tasa de supervivencia de los peces se asoció a los tratamientos con melaza añadida.

4.7.2. Pollos

La avicultura, dentro del sector pecuario, surge como una actividad con un uso eficiente de los recursos naturales y que, además, es fuente de proteínas para la alimentación humana y fuente de materia orgánica para los cultivos; también resulta ser muy diversa, encontrándose tanto en zonas rurales y urbanas, en sistemas de traspatio y en sistemas intensivos (Mottet y Tempio, 2017).

Los pollos en particular representan una fuente importante de carne, tan solo en el 2019 se produjeron más de 118 millones de toneladas en el mundo, entre los países con mayor producción destacan Estados Unidos en primer lugar con más de 20 millones de toneladas, seguido de China con 15.1 millones de toneladas y Brasil con 13.5 millones de toneladas; México se posiciona en el noveno lugar con una producción de 3 476 622 toneladas (FAO, 2019).

La gran producción de carne de pollo demanda una gran cantidad de insumos y materias primas por lo que es fundamental la búsqueda de insumos alternativos que eviten la competencia directa con alimentos para humanos y que disminuyan la presión sobre el medio ambiente (Govoni *et al.*, 2021). El uso de subproductos puede sustituir parcialmente ingredientes tradicionales como maíz y harina soya, reduciendo los costos y evitando la competencia de alimentos (Pires Filho *et al.*, 2021). Los subproductos del café poseen una composición considerable de carbohidratos, aunque también una elevada cantidad de fibra (dos Santos *et al.*, 2021), sin embargo, puede utilizarse como componente en la dieta de pollos (Funes *et al.*, 1986; Donkoh *et al.*, 1988; Molina *et al.*, 1990; Zelaya *et al.*, 1994; Acosta *et al.*, 1997).

Funes *et al.* (1986), probaron la inclusión de 0, 10, 20 y 30 % de pulpa de café deshidratada en dietas de 204 pollos macho híbridos Indian River, en etapa de iniciación y engorda, sobre el consumo de alimento, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia. En la etapa de iniciación el consumo de alimento y la ganancia de peso disminuyeron con relación al incremento de pulpa de café en la

dieta, también la conversión alimenticia fue afectada negativamente. Mientras que en la etapa de engorda, el consumo, la ganancia de peso y la conversión alimenticia fueron afectadas solo con niveles iguales o mayores a 20% de pulpa de café.

La utilización de la pulpa de café en dietas para pollos también fue reportada por Donkoh *et al.* (1988), quienes utilizaron inclusiones de 0, 2.5, 5, 7.5 y 10% de pulpa de café en dietas para pollos, alimentados durante 8 semanas; demostrando que al incrementar los niveles de pulpa de café la ganancia de peso tiende a disminuir, por lo tanto, un nivel aceptable de este subproducto en la dieta es de 2.5%.

Molina *et al.* (1990) reportaron, que el uso de fermentación sólida de la pulpa de café inoculada con *Aspergillus niger*, además de adicionar urea (2.5%) y fosfato di cálcico (2 %), mejora la composición de la pulpa al disminuir los niveles de polifenoles, cafeína y fibra. Además, probaron distintos niveles (0, 5, 10 y 15%) de pulpa de café fermentada y sin fermentar en dietas para pollos en engorda, en donde el consumo de alimento incrementó al usar pulpa fermentada y sin fermentar, mientras que la ganancia de peso y conversión alimenticia no se vieron afectados al usar hasta 15% de pulpa de café fermentada, en contraste, un nivel mayor a 10% de pulpa sin fermentar afectó negativamente dichas variables.

Zelaya *et al.* (1994) evaluaron el efecto de la utilización de 0, 6, 9 y 12% de pulpa de café deshidratada en 176 pollitas híbridas Single Comb White Leghorn en etapa de iniciación y desarrollo. En la primera etapa el consumo de alimento no fue afectado, mientras que la ganancia de peso disminuyó al incrementar los niveles de pulpa en la dieta, de la misma forma la conversión alimenticia fue afectada negativamente, cabe mencionar que durante esta primera etapa se presentó una alta mortalidad de individuos sobre todo en los tratamientos con 9 y 12 % de pulpa de café. En cambio, en la etapa de desarrollo, el consumo de alimento y ganancia diaria de peso de las pollitas no se modificaron, aunque la conversión de alimento aumentó al utilizar 12% de inclusión de pulpa de café en la dieta.

En otro estudio realizado por Acosta *et al.* (1997) evaluaron la digestibilidad de materia seca, del nitrógeno y energía metabolizable de raciones a base de maíz con

diferentes niveles de inclusión de pulpa de café ensilada con 5% de melaza y sin melaza (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35%) en gallos Hy Line de 32 semanas de edad; encontrando que al incrementar la inclusión a más de 5% tanto de pulpa de café ensilada con o sin melaza disminuyó la digestibilidad de MS, N y EM.

4.7.3. Cerdos

La utilización de pulpa de café en cerdos ha sido reportada por Parra *et al.* (2008), quienes evaluaron la digestibilidad de dietas con niveles de 25 % de pulpa de café fresca con diferentes tamaños de partícula, en 15 cerdos macho en crecimiento con un peso de 45.7 ± 4.12 Kg y 15 cerdos en etapa de finalización con un peso de 77.5 ± 6.28 Kg; en donde el tamaño de partícula no influyó en la digestibilidad de MS de la dieta, aunque la pulpa fresca presentó mayor digestibilidad en comparación a la pulpa seca, cabe mencionar, que los cerdos en etapa de crecimiento presentaron un mejor coeficiente de digestibilidad en comparación a los cerdos en finalización. En una segunda fase del experimento se evaluó el efecto de 0, 5, 10, 15 y 20 % pulpa fresca de café en la dieta, sobre el rendimiento de 40 cerdos en crecimiento y 40 cerdos en finalización, de los cuales la mitad eran machos y el resto hembras. No se observaron diferencias en el consumo de alimento de los cerdos en crecimiento incorporando hasta un 15% de pulpa en la dieta, pero con un nivel del 20% este disminuyó, mientras que la ganancia diaria de peso, la conversión alimenticia y niveles de urea plasmática no fueron afectados; en cuanto al espesor de la grasa dorsal, disminuyó al incorporar la pulpa de café en la dieta. En relación a los cerdos en fase de finalización, no hubo diferencia en el consumo de alimento ni en la urea plasmática entre tratamientos, aunque la ganancia de peso se vio mermada al utilizar 20% de pulpa de café en la dieta, también la conversión alimenticia fue afectada con este nivel y al igual que en cerdos en crecimiento, la grasa dorsal disminuyó al incorporar pulpa de café en la dieta, también el rendimiento de la canal disminuyó al incrementar los niveles de pulpa de café.

Carvalo *et al.* (2011) también evaluaron la digestibilidad de una dieta con un nivel de 25% de pulpa de café ensilada y sin ensilar, en un grupo de 15 cerdos machos castrados con un peso promedio inicial de 43.06 ± 4.12 Kg, sin encontrar diferencia en la digestibilidad de la pulpa de café al someterla al proceso de ensilado. Dichos

autores también evaluaron el desempeño productivo de 30 cerdos macho castrados y 30 hembras con peso promedio de 35.52 ± 3.21 Kg (fase de crecimiento), y 55 cerdos en fase de finalización con peso promedio 61.7 ± 3.56 Kg. Las dietas evaluadas contenían 0, 2, 8, 12 y 16 % de pulpa de café ensilada, en ambas fases, la ingesta de alimento, la ganancia de peso, la conversión alimenticia y rendimiento de canal no se afectaron.

4.8. Meta-análisis

El uso de esta técnica se remonta al año 1976 en el ámbito de la psicología, cuando Gene V. Glass definió el meta-análisis como: “el análisis estadístico de una gran colección de resultados de trabajos individuales con el propósito de integrar los hallazgos obtenidos” (Marín *et al.*, 2009), posteriormente el uso de dicha metodología se aplicó a distintas ciencias, destacando la medicina, las ciencias de la educación y la economía.

El término hace referencia a una metodología utilizada para el análisis cuantitativo o cualitativo de un conjunto de datos extraídos de estudios sobre un tema en particular y que, además incluye técnicas estadísticas que permiten la agrupación de dichos datos (Botella y Zamora, 2017; Molinero, 2002; León y Aguilera, 2001), dando cabida a conclusiones más precisas que las presentadas en las investigaciones primarias (Hunt, 1997). Esto es posible gracias a que se identifican los estudios sobre el tema de interés de manera sistemática apoyado de un protocolo establecido (Molinero, 2002; Marín *et al.*, 2009); cabe mencionar que la importancia del uso del meta-análisis radica en el análisis estadístico de los resultados, generalmente evaluados como tamaño de efecto (Botella y Zamora, 2017; Marín *et al.*, 2009).

Existen dos tipos de meta-análisis, que dependen de la escala de medición de sus datos, cuando los valores son reportados en una escala nominal el meta-análisis será cuantitativo, es decir se comparan promedios ponderados, mientras que en un meta-análisis cualitativo, donde los datos son categóricos, las variables cualitativas se comparan mediante riesgo relativo (RR), razón de momios o de oportunidades (RM) o diferencia de riesgos (Villasís-Keever *et al.*, 2020).

Al abordar distintos trabajos enfocados al mismo tema, es muy común que existan variaciones en los resultados de estos, que pueden estar asociados al tamaño de muestra y la influencia de factores de riesgo principalmente; mediante el uso del meta-análisis es posible agrupar toda la información disponible aumentando la potencia estadística de los resultados procedentes de los estudios abordados, gracias a que se incrementa el tamaño muestral (Sos *et al.*, 2021). En consecuencia, se mejora la precisión de la estimación del efecto estudiado, así como, la magnitud del factor o factores de riesgo (Botella y Zamora, 2017; Marín *et al.*, 2009; Conejero, 2001).

4.8.1 Fases del Meta-análisis

El éxito de esta metodología radica en la elaboración de un protocolo de investigación que justifique la realización del meta-análisis, la formulación de los objetivos e hipótesis, el campo de estudio y los criterios de selección de los trabajos a incluir en el análisis (Botella y Zamora, 2017; Marín *et al.*, 2009; Molinero, 2002; Conejero, 2001). Las fases por considerar son las siguientes:

- a)** Planteamiento del problema: mediante la formulación de una pregunta o preguntas se definen y relacionan las variables, y mediante la respuesta a dicha interrogante se determina la relación entre dichas variables y la magnitud de la asociación.
- b)** Búsqueda de literatura: se deben considerar criterios de selección que permitan reunir una base de datos homogénea que permita generalizar, esto se puede realizar fijando fechas de publicación, número de tratamientos, tamaño de la muestra, diseño metodológico del estudio, etc.
- c)** Codificación de los estudios: debido a que los estudios integrados en el meta-análisis difieren en cuanto a resultados, resulta conveniente categorizar los estudios en función a variables de los tratamientos, unidades experimentales, factores ambientales, metodologías, etc.

- d) Análisis estadístico e interpretación: es necesario evaluar la heterogeneidad de los resultados mediante el cálculo de un índice cuantitativo, además de la combinación de los efectos primarios (tamaño de efecto) para determinar una medida de efecto global y finalmente graficar.
- e) Conclusiones y recomendaciones: es necesario en este punto dar respuesta a las preguntas planteadas el inicio y sustentar las respuestas con la información disponible.

4.8.2. Puntos clave del meta-análisis

El meta-análisis se sustenta en dos modelos estadísticos, de efectos fijos o de efectos aleatorios (Bolaños y Calderon, 2014). El primero asume que el grupo de estudios analizados comparten un tamaño de efecto común verdadero, es decir, no hay variabilidad entre estos, aunque esto suele ser casi imposible; el último, asume que los estudios incluidos son una muestra de un conjunto mayor y que sus resultados se encuentran aleatoriamente alrededor de un valor central, el modelo matemático más utilizado es el de momentos o método de DerSimonian y Laird (Villasís-Keever *et al.*, 2020; Riffenburgh y Gillen, 2020).

La heterogeneidad es también de suma importancia en el meta-análisis, se refiere al grado de diferencia existente entre los estudios incluidos (Sos *et al.*, 2021) y permite determinar hasta qué punto es posible agrupar los datos obtenidos en una única medida o variable (Molinero, 2002), puede estar determinada por el tipo de tratamiento, por la metodología y/o por la estadística utilizada (Oliveros, 2015).

Por otro lado, los sesgos también representan un riesgo para la validación del meta-análisis, el más común es el sesgo de publicación, el cual consiste en incluir o excluir ciertos estudios por sus resultados concluyentes o estadísticamente significativos, por lo tanto, es necesario realizar un análisis de sesgo, el más común es mediante graficas de embudo o funnel plot (Sos *et al.*, 2021; Villasís-Keever *et al.*, 2020; Bolaños y Calderon, 2014).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión sistemática de la información disponible del uso de cascarilla y pulpa de café como ingrediente alternativo en la producción pecuaria, así como la caracterización de estos subproductos. Posteriormente, se reunió la información necesaria y se realizó con un meta-análisis de efectos aleatorios, de acuerdo con las etapas descritas en la Figura 3.

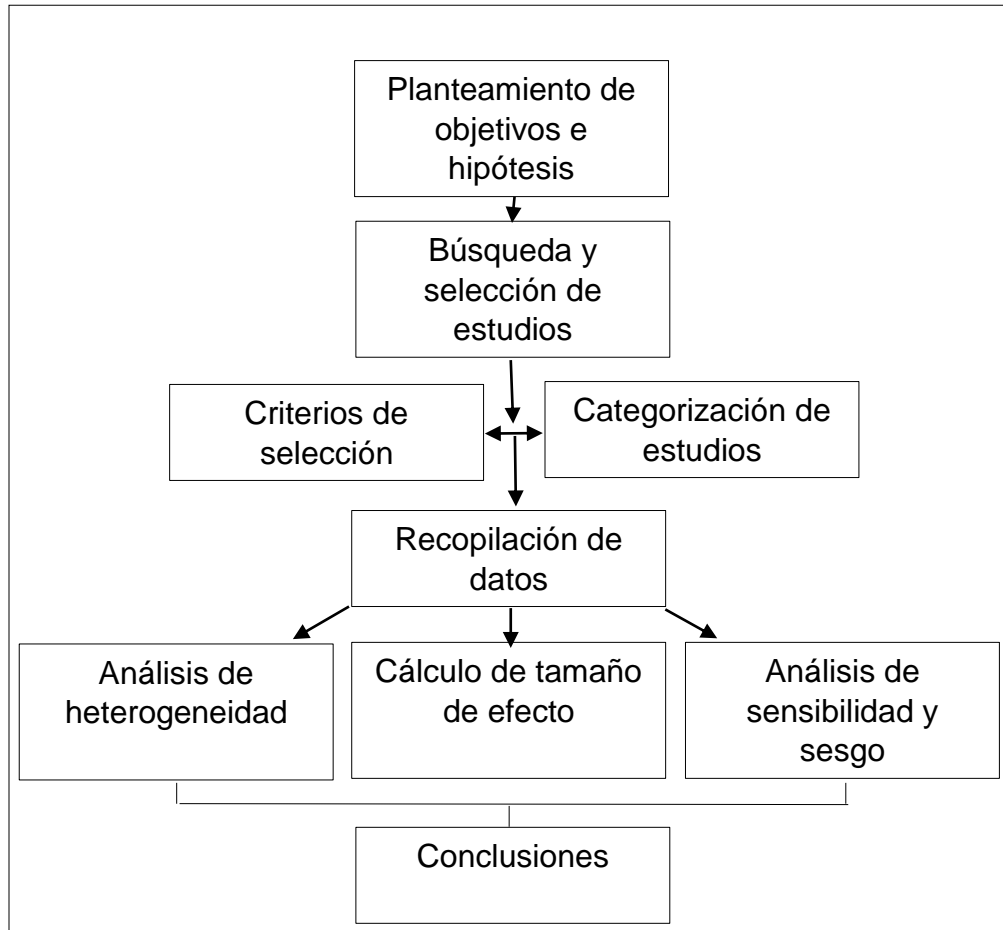


Figura 3. Etapas del meta-análisis.

5.1. Revisión sistemática

Se realizó una búsqueda exhaustiva para la obtención de artículos potencialmente relevantes, mediante criterios de inclusión y exclusión que permitieran analizar los resultados de dichos estudios en conjunto. Posteriormente, se sintetizaron los datos obtenidos. Todo esto, basado en los principios de calidad establecidos por

QUORUM (Quality of Reporting of Meta-analysis), (Moraga y Cartes-Velásquez, 2015).

La declaración QUORUM establece un conjunto de criterios para mejorar la calidad de los meta-análisis clínicos (Cuadro 8), pero no limita su uso en esta área; está compuesto por 18 términos, estructurados en 6 dominios y está limitado a estudios aleatorizados (González *et al.*, 2011; Urrutia *et al.*, 2005).

La pregunta a responder con esta revisión sistemática fue: ¿la cascarilla y pulpa de café pueden mejorar las variables productivas, como consumo y digestibilidad de la MS, ganancia de peso, conversión alimenticia, producción y composición de leche en ovinos y bovinos?

Cuadro 8. Lista de comprobación en QUORUM¹.

Dominio	Término	Descripción
Título	Título	Identificar como una revisión sistemática o meta-análisis.
Resumen	Resumen	Describir introducción, objetivos, metodología, resultados y conclusión.
	Objetivos	Especificar preguntas a responder.
	Fuente de datos	Indicar base de datos y fuentes de información.
	Métodos de revisión	Criterios de selección, métodos para evaluar validez, extracción de datos y características de los estudios.
Introducción	Resultados	Descripción de estudios incluidos, resultados cuantitativos incluyendo estimadores e intervalos de confianza.
	Conclusión	Conclusiones de resultados principales
	Introducción	Problema a resolver, fundamentos biológicos de la intervención y justificación de la revisión.
Métodos	Búsquedas	Fuentes de información detallada y descripción de restricciones de búsqueda.
	Selección	Criterios de inclusión y/o exclusión.
	Valoración de la validez	Criterios y procesos o métodos empleados.
	Extracción de datos	Proceso utilizado para la extracción de información de los estudios primarios.
	Características de los estudios	Describir estudios primarios (diseño, características de la muestra estudiada, variables de los resultados, valoración de heterogeneidad).
Resultados	Síntesis cuantitativa de datos	Proceso para obtener medidas del efecto, método de combinación de resultados indicando análisis estadístico, intervalos de confianza, valoración de heterogeneidad y valoración de sesgos.
	Diagrama de flujo	Ilustrar el proceso de la revisión sistemática para la obtención de los estudios primarios.
	Características de los estudios	Datos descriptivos de cada estudio primario.
	Síntesis cuantitativa de datos	Presentar la magnitud del efecto estudiado, así como, sus intervalos de confianza y análisis de heterogeneidad. Puede apoyarse de gráficos (<i>forest plot</i> y <i>funnel plot</i>)
Discusión	Discusión	Resumir hallazgos clave, discutir inferencias, interpretación de resultados, describir sesgos.

¹Urrutia *et al.*, 2005

5.2. Identificación de estudios primarios relevantes para el meta-análisis

Al igual que en cualquier investigación, la extracción de datos resulta ser un punto clave para la validez de esta, tratándose del meta-análisis, la obtención de un gran

número de estudios primarios es de gran importancia para reducir el error aleatorio y el sesgo (González *et al.*, 2011).

El primer paso fue la selección de fuentes para realizar la búsqueda (González *et al.*, 2011; Marín *et al.*, 2009; León y Aguilera, 2001) con enfoque en estudios publicados en revistas de divulgación científica del sector agropecuario y biotecnológico. Se consultaron *Scientia Agricola*, *Revista Brasileira de Zootecnia*, *Ciência Rural*, *Animal Feed Science and Technology*, *Austral Journal of Veterinary Sciences*, *Tropical Animal Health and Production*, *Small Ruminant Research*, *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, *Animal Production Science*, *Meat Science*, *Food Technology and Biotechnology*.

También se utilizaron buscadores como: Google Académico, Sciondirect, SpringerLink, Redalyc, Scielo y Dialnet. En estos buscadores se establecieron ciertos filtros para delimitar el área de estudio; se contemplaron estudios a partir del año 2000 a la fecha, artículos de investigación, áreas de estudio asociadas a ciencias ambientales, ciencias veterinarias, bioquímica, ciencias agrícolas y biológicas. Por otra parte, no se consideró el idioma como un filtro. Las palabras de búsqueda utilizadas en un inicio se limitaron a: “coffee pulp”, “coffee hulls”, “coffee byproducts”, “coffee-fed ruminants”, “coffee-cattle”, “lambs-coffee”, “dairy cows-coffee”. Al obtener pocos resultados específicos, se decidió utilizar los mismos términos, pero en español y portugués, puesto que la mayoría de estudios obtenidos en un inicio apuntaron a la región de Sudamérica.

5.3. Criterios de selección

Para tal efecto se definieron ciertos criterios de inclusión y exclusión, como fue que a partir de los estudios encontrados en las fuentes definidas y obtenidos de los buscadores, se revisaron los resúmenes y se consideraron aquellos que utilizaron rumiantes, que las unidades experimentales fueran homogéneas, que se tuviera un tratamiento control y que se utilizara en las dietas cascarilla o pulpa de café. Así como que, las unidades experimentales por tratamiento fueran mayores a cuatro, además, que hubieran sido asignadas al azar a cada tratamiento. Es importante señalar que las variables evaluadas en los estudios primarios fueron determinantes

para incluirlos, las cuales se definieron en la pregunta formulada al inicio de esta revisión (consumo y digestibilidad de la MS, ganancia de peso, conversión alimenticia, producción y composición de leche en ovinos y bovinos).

Los criterios de exclusión fueron:

- Estudios duplicados.
- Estudios realizados previo al año 2000.
- Que no incluyeran rumiantes.
- Que las variables evaluadas no coincidieran con las establecidas en la revisión.

5.3. Valoración de la validez

Una vez que los estudios primarios fueron obtenidos, se procedió a revisar a detalle cada uno, asegurando que se cumpliera con los criterios detallados en el segmento anterior. Para tal efecto, se agruparon los estudios de acuerdo con el tratamiento (cascarilla o pulpa de café) y enseguida según las características de las unidades experimentales, tales como especie y estado fisiológico. También se consideró la unidad de medida utilizada para medir las variables y en los casos que fuera posible se realizaron conversiones para igualar la unidad de medida. Lo anterior fue para evitar una alteración en el análisis de heterogeneidad (Conejero, 2001).

5.4. Selección de estudios para meta-análisis

De las búsquedas mencionadas, se identificaron 95 estudios primarios. Posteriormente se revisaron los títulos de los estudios y se excluyeron 49 al no tener relación con la pregunta de interés y/o estar duplicados. De los restantes se revisó el resumen de 46 y se eliminaron de nueva cuenta 13 al no cumplir con los criterios de inclusión establecidos, quedando 33 estudios para revisión detallada y puesto que las variables de interés solo fueron evaluadas en 18 estudios, se excluyeron 15 estudios más. En la Figura 4 se detalla el diagrama de análisis de estudios primarios, de acuerdo a la declaración QUORUM.

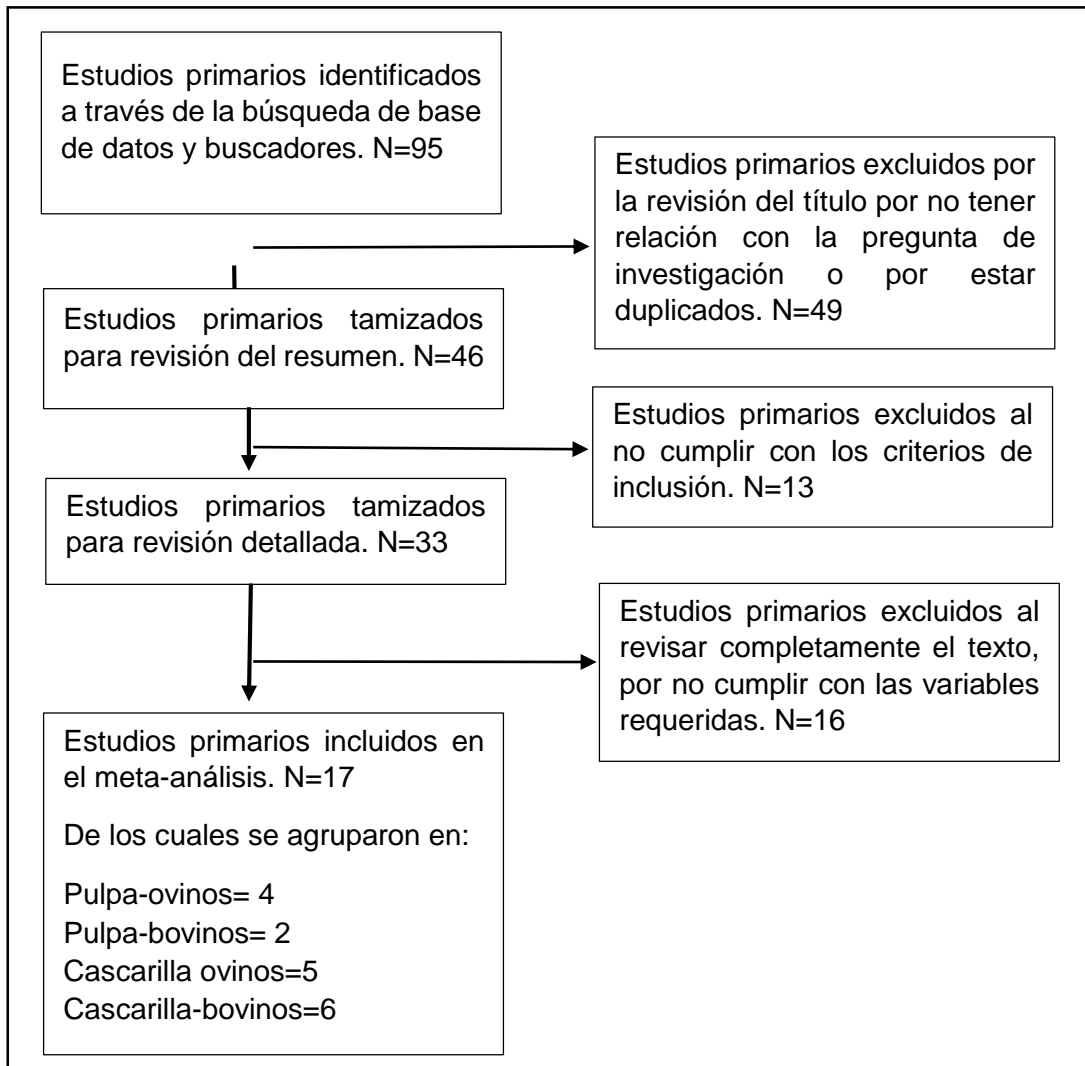


Figura 4. Diagrama de análisis de estudios primarios (adaptado de Bolaños y Calderón, 2014; González et al., 2011).

5.5. Características de los estudios para meta-análisis

Las principales características de los estudios primarios se presentan a continuación, haciendo énfasis en el efecto del tratamiento sobre las variables evaluadas.

Souza *et al.* (2005) evaluaron el efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en sustitución de harina de maíz en la dieta de 12 vacas Holstein en producción, las cuales fueron distribuidas al azar en 3 cuadros latinos 4 x 4. El estudio duró 15 días, en los cuales los primeros 7, fueron de adaptación a la dieta y el resto para recolección de muestras y medición de la producción de leche. No hubo diferencia

en el consumo entre los diferentes tratamientos; sin embargo, la digestibilidad de la MS presentó una reducción de 0.376 % por cada unidad de cascarilla añadida en la dieta; mientras que la producción de leche, al igual que su composición no presentaron cambios entre tratamientos.

En cuanto a estudios realizados en vaquillas, Souza *et al.* (2006a) evaluaron 3.5, 7.0 y 10.5 % de cascarilla de café en sustitución parcial a maíz molido en la dieta, utilizando 24 vaquillas Holstein-cebú, distribuidas al azar en 6 bloques formados por 4 animales. Cada vaquilla fue alojada en una jaula individual de 8 m² con acceso al agua y alimento *ad libitum*, la administración de alimento se realizaba dos veces al día. El experimento comprendió 10 días de adaptación y 84 días de recolección de datos. Los autores reportaron que no hubo diferencia en el consumo de MS entre los tratamientos, aunque la digestibilidad de la MS presentó una disminución porcentual de 0.395 por cada unidad de cascarilla de café añadida en la dieta, la GDP y la CA en los tratamientos con 3.5 y 10.5% de cascarilla presentaron una disminución en comparación al testigo, mientras que el tratamiento con 7% de inclusión de cascarilla no presentó diferencias.

Teixeira *et al.* (2007) por su parte evaluaron el efecto de la inclusión de 7.0, 14.0 y 21.0 % de cascarilla de café en sustitución a ensilado de maíz en la dieta de 24 vaquillas Holstein distribuidas al azar en un diseño de bloques con 6 repeticiones. Las vaquillas fueron alojadas en jaulas individuales de 8 m² con agua y alimento *ad libitum*, el experimento tuvo un periodo de 21 días de adaptación a la dieta y 84 días de recolección de datos. El consumo de la MS tuvo un aumento de aproximadamente 20 g por cada unidad de cascarilla de café añadida en la dieta, sin embargo, la digestibilidad de la MS se redujo 0.158 unidades porcentuales por cada unidad de cascarilla en la dieta. La GDP y CA también se vieron afectadas, al encontrarse una reducción de 5.51 g y un aumento de 56.58 g por unidad de cascarilla agregada respectivamente.

Rocha *et al.* (2006a) estudiaron el efecto de la sustitución del ensilado de maíz por diferentes niveles (6.0, 12.0 y 18.0%) de cascarilla de café en la dieta de 12 vacas Holstein distribuidas al azar en 3 cuadros latinos 4 x 4. El periodo experimental

comprendió 8 días de adaptación y 7 días de recolección de datos. En este estudio, el consumo y digestibilidad de la MS presentó una reducción de 0.159 y 0.605% por cada unidad porcentual de cascarilla añadida en la dieta, respectivamente. Sin embargo, la producción de leche presentó un incremento con los tratamientos con la inclusión de 6 y 12% de cascarilla de café y una disminución al incrementar el nivel de inclusión de cascarilla a 18%, mientras que la composición de la leche no presentó diferencias.

En otro estudio realizado por Rocha *et al.* (2006b) en donde evaluaron el efecto de reemplazar parcialmente maíz por diferentes niveles de cascarilla de café (5.0, 10.0 y 15.0 %) en la dieta de vacas Holstein. 12 animales fueron distribuidos en 3 cuadros latinos 4 x 4. El periodo experimental duró 15 días, en los cuales los primeros 7 fueron de adaptación y el resto de recolección de datos. El consumo de la MS y la digestibilidad disminuyeron aproximadamente 60 g y 0.375% por cada unidad porcentual de cascarilla de café, respectivamente.

En tanto que Oliveira *et al.* (2007) también evaluaron el efecto de la sustitución parcial de maíz molido por cascarilla de café (10%) o cascarilla de soya (20%) en la dieta de 12 vacas Holstein en producción sobre el consumo y digestibilidad de MS, así como la producción y composición de leche. Las unidades experimentales, fueron distribuidas al azar en 3 cuadros latinos 4 x 4. El estudio se desarrolló durante 19 días, de los cuales 12 fueron de adaptación a la dieta y 7 para la recolección de datos. Se observó que el consumo, digestibilidad de la MS, la producción y composición de leche no presentaron diferencias entre tratamientos.

Dentro de los estudios realizados en ovinos en crecimiento se encuentra el realizado por Souza *et al.* (2004) quienes evaluaron el consumo y digestibilidad de dietas con diferentes niveles de cascarilla de café (2.5, 5.0, 7.5 y 10.0%) en sustitución parcial de maíz, en 20 carneros adultos, distribuidos en bloques al azar. Durante el experimento los animales fueron alojados en jaulas metabólicas, recibieron un periodo de adaptación de 12 días y 7 días de recolección de datos. Los autores no reportaron diferencia en el consumo ni digestibilidad de la MS entre tratamientos.

Carvalho Junior *et al.* (2009) estudiaron el efecto sobre el consumo y desempeño productivo de 20 corderos santa Inés al añadir cascarilla de café, harina de cacao y harina de yuca como aditivos en ensilado de pasto elefante (*Pennisetum purpureum Schum*). Los animales fueron distribuidos al azar a 4 tratamientos y alojados en jaulas individuales de 0.84 m² con agua y alimento *ad libitum*, recibieron una dieta a base de ensilado de pasto equivalente al 60% de la ración y un concentrado equivalente a 40% de la ración; el nivel de inclusión de cascarilla de café en la dieta fue de 6.3%. El estudio comprendió un periodo de 14 días de adaptación y 63 días de recolección de datos. Se observó que, el consumo de la MS, GDP y CA no presentaron diferencias entre el tratamiento con cascarilla de café y el testigo.

En tanto, Rego *et al.* (2019) estudiaron el consumo y digestibilidad en corderos Texel alimentados con dietas con diferentes niveles de cascarilla de café (7.5, 15.0 y 22.5 %) en sustitución parcial al heno de avena; utilizando un cuadro latino 4 x 4. El estudio comprendió 14 días de adaptación y 48 días de recolección de datos. El consumo de la MS presentó un incremento en relación al nivel de cascarilla en la dieta, mientras que la digestibilidad no presentó diferencias entre tratamientos.

Se han utilizado aditivos para mejorar la digestibilidad de la cascarilla, tal es el caso de García *et al.* (2000) quienes evaluaron el desempeño de corderos destetados de raza Texel x Bergamácia, Texel x Santa Inés y Santa Inés, alimentados con ensilado de maíz y un concentrado con cascarilla de café (15.23%) y cascarilla tratada con urea al 4% (15.27%), en sustitución parcial a mazorca de maíz molida. El estudio comprendió un periodo de 10 días de adaptación a la dieta y 50 días de recolección de datos, en el que 36 animales fueron alojados en jaulas individuales de 1.3 m² con alimento y agua *ad libitum*; distribuidos en bloques al azar. En este estudio no se reportaron diferencias en el consumo de la MS, GDP ni CA entre los tratamientos.

Nunes *et al.* (2020) utilizaron óxido de calcio (CaO) al 5% para mejorar la digestibilidad de la cascarilla de café y evaluaron su efecto en el consumo, digestibilidad de la MS y desempeño productivo de corderos Santa Inés x Dorper, distribuidos en un diseño completamente al azar, proporcionando diferentes niveles de esta (8, 16 y 24%) en sustitución parcial de ensilado de maíz. 28 animales fueron

alojados en jaulas individuales de 3 m² con agua y alimento *ad libitum*, durante 76 días, de los cuales 10 fueron de adaptación y el resto para la recolección de datos. El consumo de la MS disminuyó al utilizar 24% de cascarilla de café en la dieta, en tanto que la digestibilidad disminuyó a partir de la inclusión de 16% de cascarilla. La GDP y CA, se vio afectada únicamente con el tratamiento con 24% de cascarilla en la dieta.

En cuanto a los trabajos relacionados al uso de la pulpa de café en rumiantes, se encuentra el realizado por Nurfeta (2010) quien evaluó el comportamiento productivo de corderos alimentados con heno más diferentes concentrados, los cuales estaban compuestos por granos de destilería, granos de destilería más pulpa de café (16.6%), granos de destilería más pollinaza, granos de destilería más pulpa de café (12.7%) más pollinaza y un concentrado comercial. Se utilizaron 30 corderos distribuidos al azar en 5 tratamientos con 6 repeticiones, los cuales fueron alojados en jaulas individuales con agua y alimento *ad libitum*, durante 14 días de adaptación más 112 días de recolección de datos. El consumo de la MS no presentó diferencia entre tratamientos, en tanto que la digestibilidad disminuyó al incorporar pulpa de café en el concentrado. Sin embargo, la GDP no presentó diferencia entre tratamientos.

Salinas *et al.* (2015) evaluaron el comportamiento productivo y rendimiento de la canal de corderos Blackbelly alimentados con dietas con diferentes niveles de pulpa de café (8 y 16%) ensilada con melaza al 5% en sustitución parcial de sorgo molido y alfalfa. Fueron utilizados 34 corderos distribuidos al azar en tres tratamientos; los cuales fueron alojados en jaulas individuales de 1.32 m², el estudio tuvo un periodo de 12 días de adaptación a la dieta y 56 días de recolección de datos. El consumo de la MS, así como la GDP no presentaron diferencias entre tratamientos; sin embargo, la digestibilidad de la fibra ácido detergente disminuyó en los tratamientos con inclusión de pulpa de café, mientras que el rendimiento de la canal mejoró en los tratamientos con inclusión de pulpa, en tanto que, el pH no presentó variaciones entre tratamientos. En las evaluaciones de la carne, no se observaron diferencias

entre tratamientos en la capacidad antioxidante y oxidación lipídica (Salinas *et al.*, 2014).

Munguía (2015) también evaluó el desempeño productivo y características de la canal de corderos alimentados con dietas con diferentes niveles de inclusión de pulpa de café ensilada (10 y 20%); utilizando 36 corderos distribuidos al azar en tres tratamientos, los cuales fueron alojados en jaulas individuales con agua y alimento *ad libitum*. El estudio comprendió un periodo de 20 días de adaptación a la dieta y 60 días de recolección de datos, sin que se observaran diferencias en el consumo de la MS, GDP y CA entre tratamientos. De igual manera tampoco se encontraron diferencias en el rendimiento de la canal y el pH entre tratamientos, así como en la capacidad antioxidante, color, textura y capacidad de retención de agua de la carne.

Hernández *et al.* (2018) estudiaron la productividad de corderos alimentados con diferentes niveles de pulpa de café (0, 7, 14, 21 y 28%). Treinta y cinco corderos fueron asignados al azar a 5 tratamientos, los que se alojaron en jaulas individuales con agua y alimento *ad libitum*. El estudio se desarrolló durante 56 días, con 14 fueron de adaptación y 42 para toma de datos. En este estudio el consumo de la MS, la GDP y CA no presentaron variaciones entre tratamientos.

En relación a estudios realizados en bovinos, se limitan a vacas lecheras en producción. Pedraza *et al.* (2012) evaluaron la producción y composición de leche en 4 vacas Holstein-Pardo Suizo-Zebú en pastoreo, las que fueron suplementadas con concentrados formulados con inclusión de 10, 15 y 20% de pulpa de café. Los animales fueron distribuidos al azar en un cuadro latino 4 x 4. El estudio comprendió 4 periodos de 21 días, en los cuales 15 días fueron de adaptación y 6 para toma de datos. La producción y composición de leche no se vio afectada al utilizar hasta 20.0% de pulpa de café en el concentrado.

Estrada *et al.* (2021) también observaron el comportamiento productivo de vacas Holstein-zebú en pastoreo al incluir concentrados compuestos por diferentes niveles de pulpa de café (10, 15 y 20%). Cuatro vacas con similar peso y producción de leche, se distribuyeron en un cuadro latino 4 x 4. El estudio tuvo una duración de

104 días, dividido en 4 periodos de 26 días, de los cuales se utilizaron 20 para adaptación y 6 para toma de datos. No se observaron diferencias en la producción ni la composición de la leche entre tratamientos.

5.6. Extracción de datos

Una vez agrupados los estudios de acuerdo con el tratamiento (cascarilla o pulpa de café) y especie (ovinos o bovinos), se elaboró una tabla en una hoja de Excel para cada agrupación, en donde se resumió la información de cada estudio primario, ordenada en columnas:

- Identificador.
- Nombre del artículo o estudio.
- Autor o autores.
- Nombre de la revista.
- Año de publicación.
- Nombre del buscador.
- País.
- Especie.
- Características de las unidades experimentales (grupo control y experimental).
- Subproducto utilizado (cascarilla o pulpa de café).
- Descripción del tratamiento.
- Diseño experimental.
- Variable evaluada.
- Tamaño del grupo control y del grupo experimental.

- Media de la variable del grupo control y del grupo experimental.
- Desviación estándar de la media del grupo control y del grupo experimental.

En los estudios primarios que no reportaron directamente la desviación estándar de la media, se procedió a calcularla a partir del coeficiente de variación o del error estándar de la media según fuera el caso.

5.7. Medidas y combinación

Puesto que el meta-análisis desarrollado fue cuantitativo, las medidas fijadas y utilizadas para cuantificar el tamaño de efecto fueron las medias de cada variable establecida (consumo y digestibilidad de MS, ganancia diaria de peso, producción y composición de leche y conversión alimenticia). En los estudios primarios que evaluaron más de un nivel de inclusión de cascarilla, se consideró cada tratamiento como un estudio individual.

5.8. Modelo estadístico

Se aplicó un modelo de efectos aleatorios de DerSimonian y Laird (1986), el cual permite combinar los efectos del tratamiento estimados a partir de K estudios, donde los datos de cada estudio consisten en el número de individuos por tratamiento (nT_i) y control (nC_i) y la proporción de individuos con algún evento en cada uno de los dos grupos (rT_i y rC_i). Considerando que un modelo de efectos aleatorios para un meta-análisis, establece:

$$y_i = \theta_i + e_i$$

Donde

y_i =efecto del tratamiento observado del i -ésimo estudio ($i=1 \dots k$).

θ_i = verdadero efecto del tratamiento para el i -ésimo estudio ($i=1 \dots k$).

e_i = error de muestreo en el i -ésimo estudio ($i=1 \dots k$).

DerSimonian y Kacker (2007), mencionan que la varianza de e_i y del parámetro σ^2_i , se define como la varianza muestral y representa la varianza dentro del estudio y el

tamaño de la muestra del estudio, dicho parámetro es desconocido y se estima mediante los datos del i-ésimo estudio observado; considerando una diferencia de proporciones:

$$S^2 = \frac{rTi(1 - rTi)}{nTi} + \frac{rCi(1 - rCi)}{nCi}$$

Además de e_i , el modelo de efectos aleatorios considera que el verdadero efecto del tratamiento en cada estudio estará influenciado por una posible heterogeneidad asociada a las características de los individuos, el diseño experimental del estudio y la ejecución de este.

$$\theta_i = \mu + \delta_i$$

En donde:

θ_i = verdadero efecto del tratamiento en el i-ésimo estudio.

μ = efecto general del tratamiento para una población de posibles evaluaciones.

$\delta_i = \theta_i - \mu$, es la desviación del efecto del i-ésimo estudio del efecto general μ .

La varianza de δ_i (T^2), $T^2 > 0$, es la varianza entre estudio y representa la variación de los verdaderos efectos de tratamientos entre estudios, así como el grado en que los estudios individuales dan evaluaciones sesgadas de los efectos de tratamiento. Si el valor de $T^2 = 0$, indica la ausencia de heterogeneidad entre los verdaderos efectos del tratamiento.

5.9. Análisis de heterogeneidad

La prueba utilizada fue la Q de Cochran, que permite comprobar la hipótesis nula que todos los estudios primarios evalúan el mismo efecto, o que, verifica hasta qué punto los resultados provenientes de diferentes estudios primarios pueden resumirse en una sola media (Higgins *et al.*; 2003).

La ecuación se muestra a continuación:

$$Q = \sum_{k=1}^K w_k \left\{ \hat{\theta}_k - \frac{\sum_{k=1}^K w_k \hat{\theta}_k}{\sum_{k=1}^K w_k} \right\}^2$$

Donde

K= número de estudios en el meta-análisis.

$\hat{\theta}_k$ = efecto del tratamiento estimado.

$\hat{\sigma}_k^2$ = varianza estimada.

$w_k = 1/\hat{\sigma}_k^2$, peso para cada estudio k, k=1,..., K.

El primer parámetro estimado fue T^2 , que indica la heterogeneidad total entre los estudios primarios en el meta-análisis; basado en momentos (DerSimonian y Laird, 1986), calculado como sigue:

$$T^2 = \max \left\{ 0, Q - \frac{K - 1}{\sum_{k=1}^K w_k - \frac{\sum_{k=1}^K (w_k^2)}{\sum_{k=1}^K (w_k)}} \right\}$$

Además de estimar el valor de Q, se evaluó el índice de inconsistencia o de variabilidad I^2 , propuesto por Higgins y Thomson (2004); que describe el porcentaje de variación total entre los estudios utilizados en el meta-análisis, asociada a la heterogeneidad más que al azar.

$$I^2 = \max \left\{ 0, \frac{Q - (K - 1)}{Q} \right\}$$

Considerando el porcentaje de heterogeneidad obtenido mediante este procedimiento se consideró bajo al presentar valores menores a 25%, moderado hasta 50% y alto si superaba este último.

También se estimó el parámetro H^2 , el cual evalúa el valor de Q respecto al valor que se esperaría en caso de que la heterogeneidad fuese igual a 0. Si el valor de

H^2 fuera 1, se entendería que no existe heterogeneidad. Sin embargo, si el valor se incrementa, se podría inferir que existe heterogeneidad entre los estudios primarios (Molina, 2018).

$$H^2 = \frac{Q}{K - 1}$$

5.10. Análisis de sensibilidad

Para evaluar la influencia de cada estudio primario en el resultado obtenido, se utilizó dicho análisis, el cual permite determinar si los resultados pueden verse sesgados por los estudios primarios que pueden carecer de calidad metodológica principalmente. Si al identificar y excluir un posible estudio que puede alterar el resultado final del meta-análisis y repetir el meta-análisis, se obtienen resultados similares en magnitud del efecto y significancia estadística, se deduce que el meta-análisis es robusto (Sandoya, 2008).

5.11. Análisis de sesgo de publicación

Mediante el test de Egger (Egger *et al.*, 1997), que realiza una regresión de los tamaños del efecto estandarizados en sus precisiones, en caso de no existir sesgo de publicación, se espera que la intersección de la regresión sea cero (Lin y Chu, 2018). Además, dicho análisis se reiteró mediante graficas *funnel plot* o graficas de embudo, descritas como graficas de dispersión, en las cuales los efectos del tratamiento estimados a partir de los estudios primarios se trazan en el eje de horizontal y la medida de precisión en el eje vertical, en este último se pueden representar el tamaño de la muestra de los estudios primarios, el valor inverso de la varianza o bien, el error estándar de la medición. La asimetría de la dispersión de los efectos del tratamiento en el embudo, puede indicar sesgo de publicación (Sterne y Egger, 2001; Egger *et al.*, 1997).

5.12. Presentación de resultados

Para cada especie, tratamiento y variable, se utilizó un gráfico de efectos o también conocido como *forest plot*, por ser un elemento básico y de fácil interpretación para los resultados de un meta-análisis. En dicho gráfico el resultado en el eje de las

abscisas representa la medida del efecto global y en el eje de las ordenadas los diferentes estudios analizados, con su valor medio e intervalo de confianza.

6.13. Software utilizado

Para la captura de los datos de los estudios primarios se utilizó una hoja de cálculo de Excel (2016), organizando los estudios en tratamiento, especie y variable. Mientras que para el análisis estadístico se utilizó el programa R versión 4.1.1 (2021), además, de los paquetes “Metafor” y “Esc” del software RStudio versión 1.4.1717 (2021).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Revisión sistemática

El resumen de los estudios primarios relacionados a la utilización de cascarilla y pulpa de café en dietas para bovinos y ovinos, seleccionados en la revisión sistemática y descritos en el apartado anterior; se presentan en los cuadros -14 (ver anexo).

6.2. Meta-análisis

Como se definió previamente, se realizó un meta-análisis de efectos aleatorios para cada variable, especie y subproducto del procesamiento del café.

6.2.1. Efecto de la cascarilla de café en dietas para bovinos

El efecto de la utilización de diferentes niveles de cascarilla en la alimentación de vacas lecheras, la heterogeneidad y posibilidad de sesgo de publicación se observa en el Cuadro 15. El tamaño de efecto fue positivo ($P < 0.05$) para consumo y digestibilidad de la MS, mientras que en la producción de leche tuvo un efecto negativo ($P < 0.05$). El porcentaje de sólidos totales, de proteína y grasa en leche no presentaron un efecto significativo ($P > 0.05$). La heterogeneidad fue significativa ($P < 0.05$) en todas las variables, con excepción del porcentaje de grasa en leche. El índice de variabilidad fue alto para consumo y digestibilidad de la MS, sólidos totales y proteína en la leche; mientras que en la producción de leche y porcentaje de grasa fue moderado y bajo respectivamente (Higgins y Thomson, 2004). En tanto que la posibilidad de sesgo de publicación fue positiva en todas las variables.

La heterogeneidad evaluada por la prueba de Q de Cochran, mide en una escala absoluta y está estrechamente relacionada con el número de estudios (k), por lo que su confiabilidad es cuestionable, puesto que un número de estudios pequeño o grande puede influir en el resultado (Higgins *et al.*, 2003). En tanto que el índice de variabilidad o inconsistencia (I^2), describe el porcentaje de variación total entre los estudios, asociada a la heterogeneidad entre estos y no al azar, además que no está asociado al número de estudios (k) (Schwarzer, *et al.* 2015), por lo tanto, la alta variabilidad entre las comparaciones puede estar asociada a factores relacionados con las unidades experimentales de los estudios primarios (Vesterinen *et al.*, 2014).

La prueba de Egger, evalúa la posibilidad de sesgo publicitario, es decir, la elección de estudios que favorecen o no el resultado final del meta-análisis. Esta posibilidad está asociada además de la oportunidad, a características propias de los estudios, como la verdadera heterogeneidad o a un número reducidos de estudios primarios (Egger *et al.*, 1997). Por lo tanto, el resultado positivo en los cuadros 9, 10 y 13, puede asociarse a la variabilidad de los estudios y al reducido número de comparaciones.

Cuadro 9. Tamaño de efecto y heterogeneidad de la utilización de cascarilla de café en vacas Holstein en producción.

Variable	NC	TE	IC	P-valor	Q	P-valor	I ²	Test de Egger
Consumo de la MS (g/d).	10	0.546	0.135, 0.956	0.009	21.749	0.010	58.62%	0.001
Digestibilidad de la MS (%).	10	1.764	0.976, 2.552	0.001	59.683	0.001	84.92%	0.001
Producción de leche (Kg/d).	10	-0.493	-0.829, -0.156	0.004	14.963	0.092	39.85%	0.001
Sólidos totales en leche (%).	10	0.008	-0.565, 0.580	0.979	41.167	<0.001	78.14%	0.001
% proteína en leche.	10	0.741	-0.155, 1.637	0.105	87.457	<0.001	89.71%	0.001
% grasa en leche.	10	0.023	-0.270, 0.316	0.878	11.744	0.228	23.36%	0.031

NC: número de comparaciones; TE: tamaño de efecto; IC: Intervalo de confianza; Q: heterogeneidad; I²: índice de variabilidad.

El consumo de MS (Figura 5) se puede incrementar al incorporar cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein ($P < 0.05$). De las 10 comparaciones, los estudios realizados por Rocha *et al.* (2006) con 18% de inclusión, así como, el realizado por Souza *et al.* (2005) con 7% de inclusión, tienen un tamaño de efecto mayor en comparación con el resto de estudios primarios.

Este incremento en el consumo de MS, puede estar asociado a la tasa de pasaje que está regulada por factores como el tamaño de partícula y la composición de la dieta entre otros (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016). En este caso, la cascarilla de café, al ser un ingrediente fibroso (Gemechu, 2020), y de un tamaño de partícula relativamente pequeño, reemplazó en parte el forraje en la dieta, pudiendo aumentar la tasa de pasaje y en consecuencia el consumo de MS. Aunque también se puede relacionar a una disminución de nutrientes en la dieta, ocasionando un mayor consumo para compensar el desbalance (NRC, 2001).

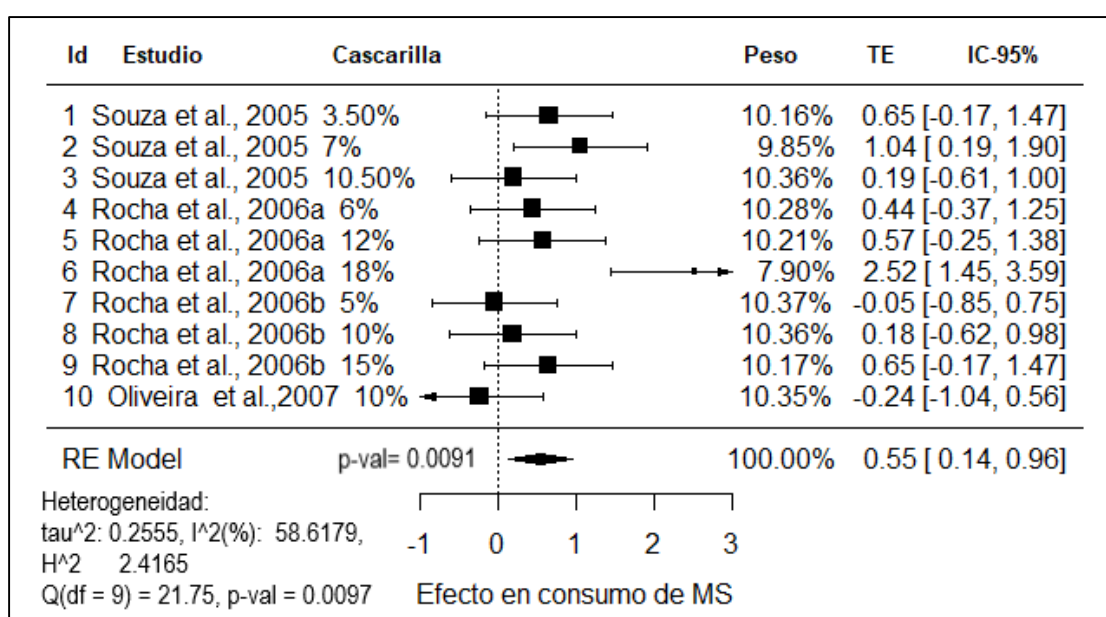


Figura 5. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre el consumo de la MS. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

La digestibilidad de la MS (Figura 6) de acuerdo con el meta-análisis, puede mejorar ($P < 0.05$) al incorporar cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein. En dicha prueba se compararon 10 estudios. También se puede observar una alta variabilidad entre los estudios ($I^2 = 84.92\%$).

Este fenómeno contradice la naturaleza de la digestión de la FDN y FDA presentes en la cascarilla de café (Gouvea *et al.*, 2009; Rego *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2004); consideradas como fracciones de baja digestibilidad aún para los rumiantes (Shimada, 2003). Por lo tanto, al incorporar niveles de cascarilla de café en las dietas, se esperaría un efecto nulo como el que se observa en los Figuras 13,18 y 23. Los estudios primarios utilizados en el meta-análisis, reportaron una disminución de la digestibilidad de la MS al incluir la cascarilla de café en la dieta de las vacas.

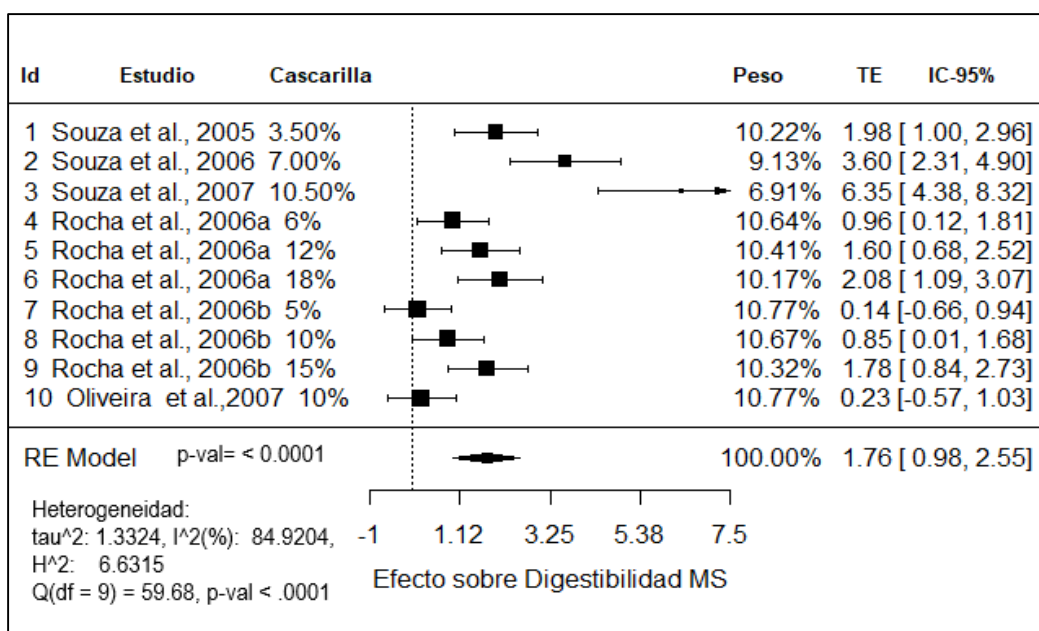


Figura 6. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre digestibilidad de la MS. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

Por otra parte, la producción de leche (Figura 7), de acuerdo con los resultados al comparar 10 estudios, puede disminuir ($P < 0.05$) al incorporar cascarilla de café en la dieta de vacas lecheras. Sin embargo, el tamaño de efecto es bajo y la mayoría de estudios primarios se encuentran interceptados por la línea del “no efecto”, con la excepción del estudio realizado por Rocha *et al.* (2006a) con 6 y 12% de inclusión de cascarilla en la dieta. Además, este meta-análisis, presentó una variabilidad moderada entre los estudios ($I^2 = 39.85\%$).

Esta disminución en la producción de leche puede estar relacionada a la tasa de pasaje, que pudo ser alterada por el tamaño de partícula del alimento, lo que limitaría cubrir la demanda de proteína total requerida (2.74 Kg), así como la energía neta (28.45 Mcal) para vacas lecheras en producción, sugeridos por el NRC (2001). Aunque en los estudios primarios no se encontraron afectaciones en la producción de leche al incluir niveles de cascarilla en la dieta de vacas lecheras.

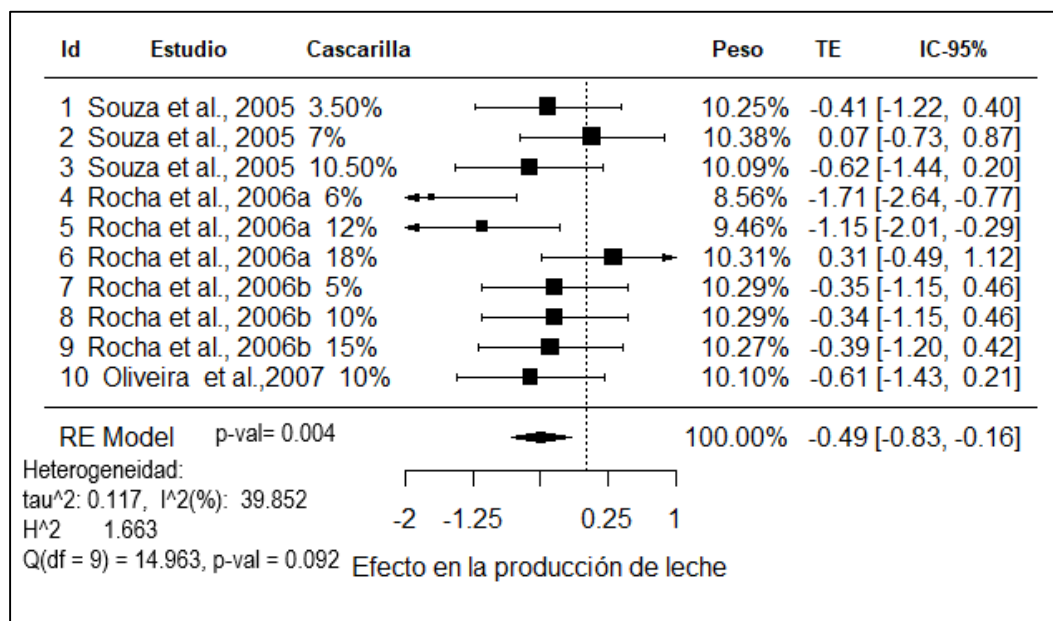


Figura 7. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre la producción de leche. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

En tanto que el meta-análisis para las variables porcentaje de sólidos totales (Figura 8), proteína (Figura 9) y grasa en leche (Figura 10) no puede demostrar un aumento o reducción de las medias ($P > 0.05$) al utilizar diferentes niveles de cascarilla en la dieta de vacas lecheras. Cabe mencionar que en estas pruebas se realizaron 10 comparaciones y se encontró alta variabilidad entre estudios en las variables porcentaje de sólidos totales y proteína en leche, mientras que en porcentaje de grasa fue baja. La alta variabilidad en los estudios puede asociarse a las

características de las unidades experimentales utilizadas, así como por el manejo recibido (Vesterinen *et al.*, 2014).

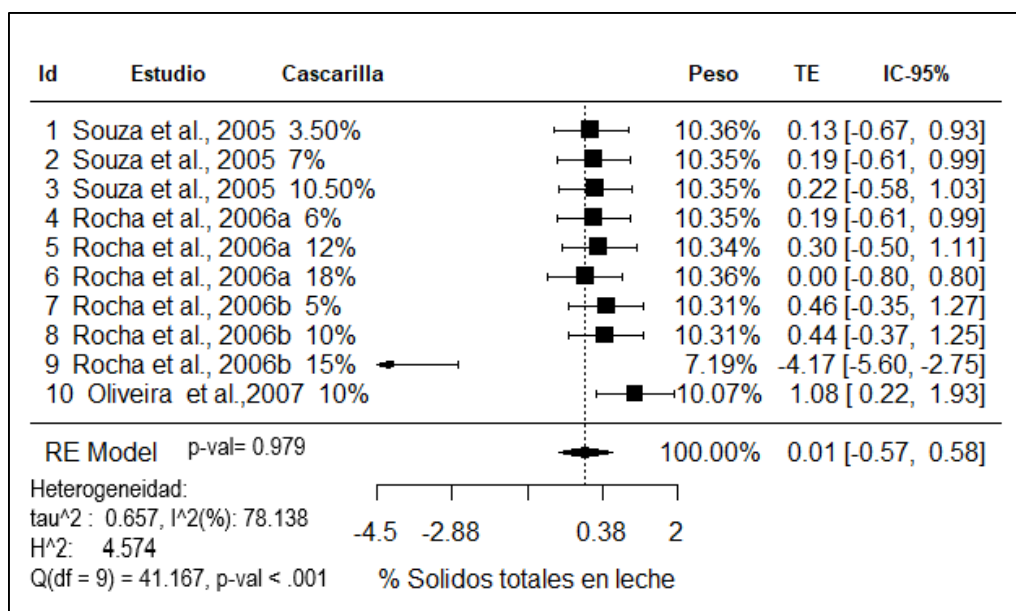


Figura 8. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre el porcentaje de sólidos totales en leche. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

El uso de subproductos de la agroindustria como fuentes de fibra no forrajera en la alimentación de vacas lecheras permite el reemplazo parcial de forrajes en la dieta, convirtiéndose en una alternativa para cubrir las necesidades de fibra efectiva (Bradford y Mullins, 2012), necesaria para mejorar la proporción de grasa en la leche (Weiss, 2012). En este sentido la utilización de cascarilla de café puede mantener la proporción de grasa al ser un ingrediente con alto contenido de fibra (Gouvea *et al.*, 2009; Rego *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2004). No obstante, es importante considerar ingredientes que permitan mantener cantidades adecuadas de proteína degradable en rumen y proteína no degradable en rumen, para obtener una productividad deseable (NRC, 2001), aunque los subproductos de la agroindustria también pueden cubrir parcialmente los requerimientos de proteína (Nudda, 2019).

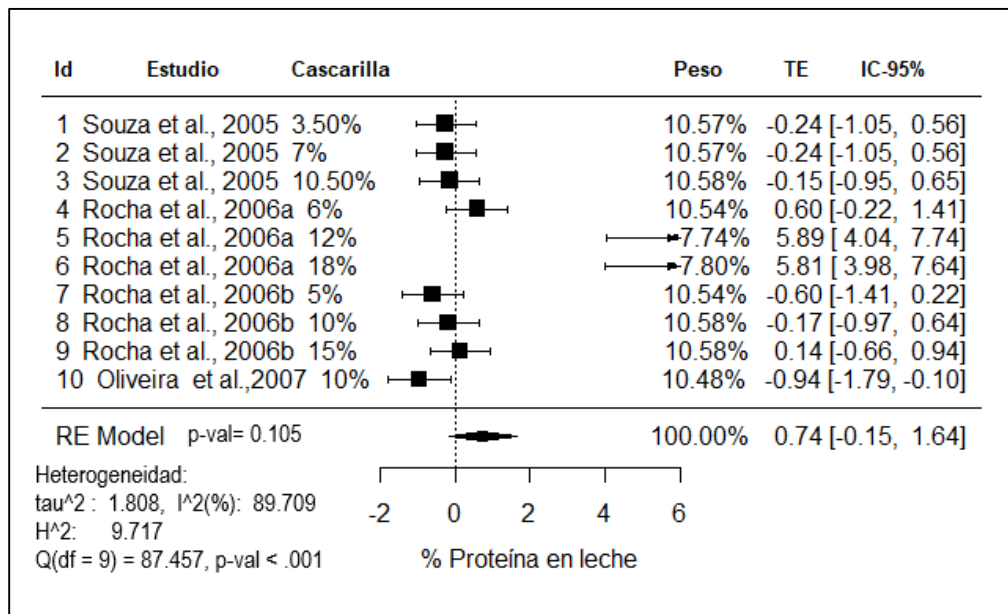


Figura 9. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre el porcentaje de proteína en leche. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

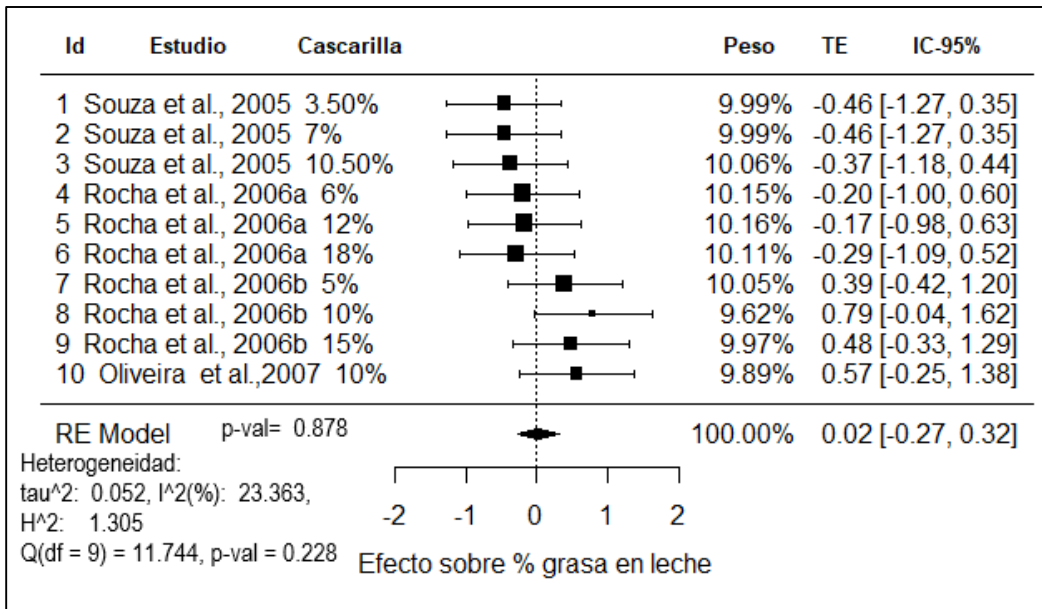


Figura 10. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre el porcentaje de grasa en leche. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

Las gráficas de embudo (Figura 11), que evalúan el sesgo de publicación (Egger *et al.*, 1997); a pesar del bajo número de estudios incorporados al meta-análisis demuestran asimetría en las variables analizadas, es decir, un posible sesgo de publicación, excepto en el porcentaje de grasa en leche.

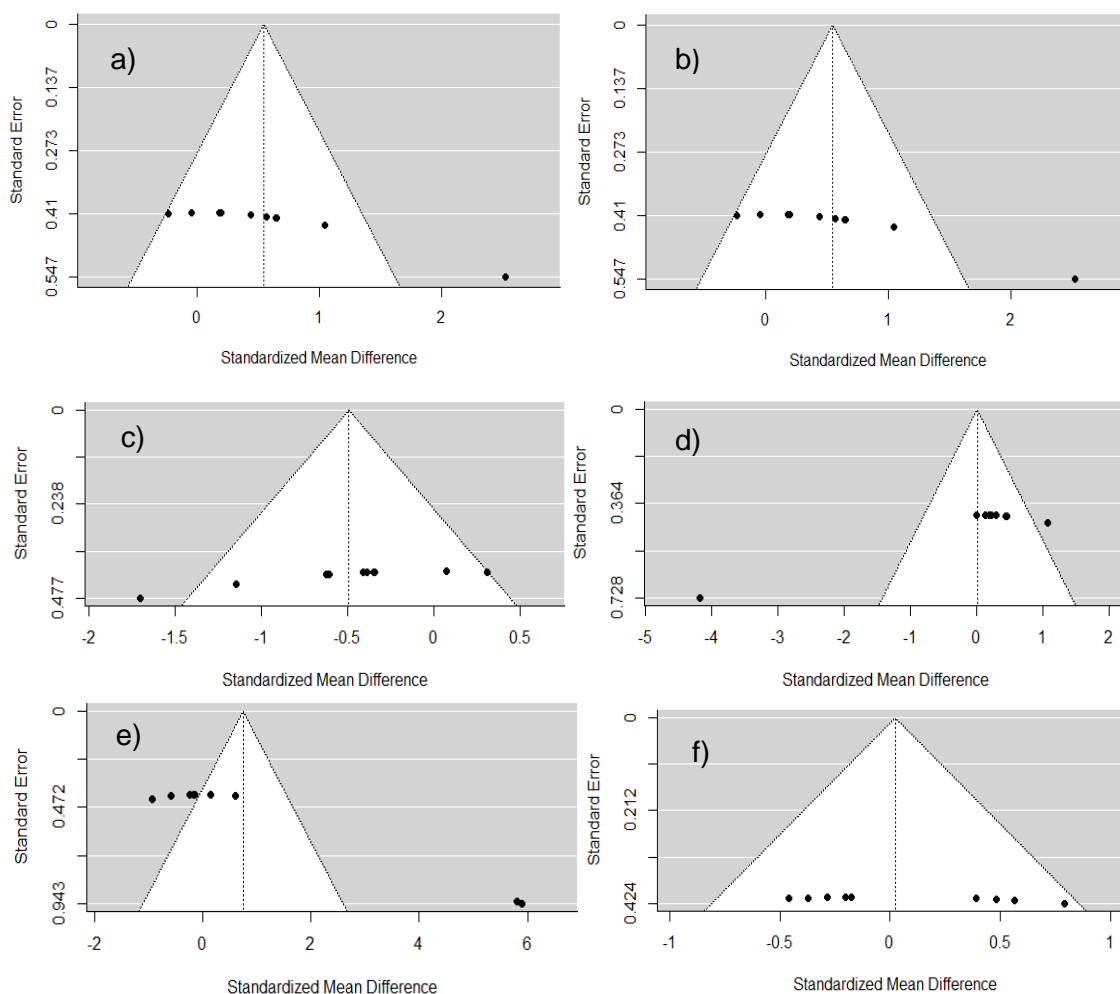


Figura 11. Gráficos de embudo del efecto de la utilización de cascarilla de café en dietas para vacas Holstein. a) consumo de MS; b) digestibilidad de MS; c) producción de leche; d) % de sólidos totales en leche; e) % de proteína en leche; f) % de grasa en leche. El eje Y, representa el error estándar de los estudios y el eje X, el tamaño de efecto. Cada punto representa un estudio primario.

En cuanto a la incorporación de cascarilla en dietas para vaquillas (Cuadro 10), no se encontró efecto en el consumo y digestibilidad de la MS ($P>0.05$), mientras que la GDP presentó un efecto positivo ($P<0.05$), contrario a la CA ($P<0.05$). No se encontró heterogeneidad en ninguna variable y el índice de variabilidad fue bajo para digestibilidad de MS y GDP, mientras que para consumo de MS y CA se presentó una variabilidad moderada (Higgins y Thomson, 2004). La posibilidad de sesgo de publicación, fue positiva para digestibilidad de MS, GDP y CA ($P<0.05$). En los gráficos de embudo (Figura 18) se puede observar que en la variable consumo de MS, no hay una dispersión asimétrica de los estudios primarios.

Cuadro 10. Tamaño de efecto y heterogeneidad de la utilización de cascarilla de café en vaquillas.

Variable	NC	TE	IC	P-valor	Q	P-valor	I ²	Test de Egger
Consumo de la MS (g/d)	6	0.073	-0.587, 0.733	0.828	9.519	0.090	47.47%	0.146
Digestibilidad de la MS (%)	6	0.493	-0.289, 1.276	0.217	0.446	0.994	0.0%	0.014
GDP (g)	6	0.793	0.290, 1.297	0.002	5.303	0.380	5.72%	0.002
CA	6	-0.710	-1.383, -0.038	0.038	9.321	0.097	46.36%	0.002

NC: número de comparaciones; TE: Tamaño de efecto; IC: Intervalo de confianza; Q: heterogeneidad; I²: Índice de variabilidad; GDP: ganancia diaria de peso; CA: conversión alimenticia.

La incorporación de diferentes niveles de cascarilla de café no tiene efecto en el consumo (Figura 12) ni digestibilidad de la MS (Figura 13) en vaquillas, por lo que una inclusión de hasta 21% en la dieta puede ser utilizada. Mientras que la GDP, puede ser favorecida al utilizar este subproducto ($P<0.05$), destacando una inclusión de 10.5% de inclusión (Figura 14) con un tamaño de efecto de 2.02. Sin embargo, la CA (Figura 15), es afectada ($P<0.05$) al utilizar niveles mayores al 10.5% de cascarilla en la dieta. En las 4 variables se utilizaron 6 comparaciones para el meta-análisis, de las cuales el consumo de MS y CA presentaron una variabilidad

moderada, mientras que la GDP destacó una baja variabilidad y la digestibilidad de la MS una variabilidad nula.

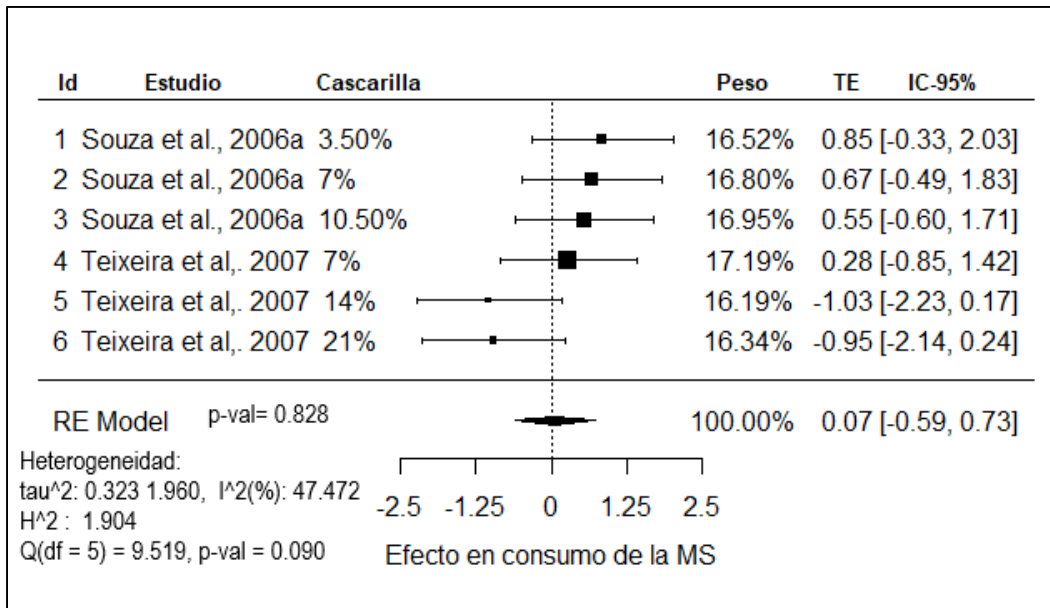


Figura 12. *Forest plot* del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vaquillas, sobre consumo de la MS. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

La crianza de novillas tiene un alto costo de producción asociado a la alimentación, controlar su impacto a medida que la vaquilla se acerca a la etapa de producción es de vital importancia, puesto que los requerimientos nutricionales se enfocan al mantenimiento en lugar de crecimiento (Zanton y Heinrichs, 2008). Sin embargo, la elección de la dieta es crítica en el aprovechamiento de los nutrientes, puesto que dietas altas en fibra pueden disminuir la digestibilidad (Manthey y Anderson, 2018), afectando principalmente el aprovechamiento de la proteína (Zanton y Heinrichs, 2009). Por lo tanto, la utilización de la cascarilla de café como ingrediente en la dieta de vaquillas, de acuerdo a los resultados de este meta-análisis es adecuado, puesto que no tiene un efecto en la digestibilidad de la dieta (Figura 13).

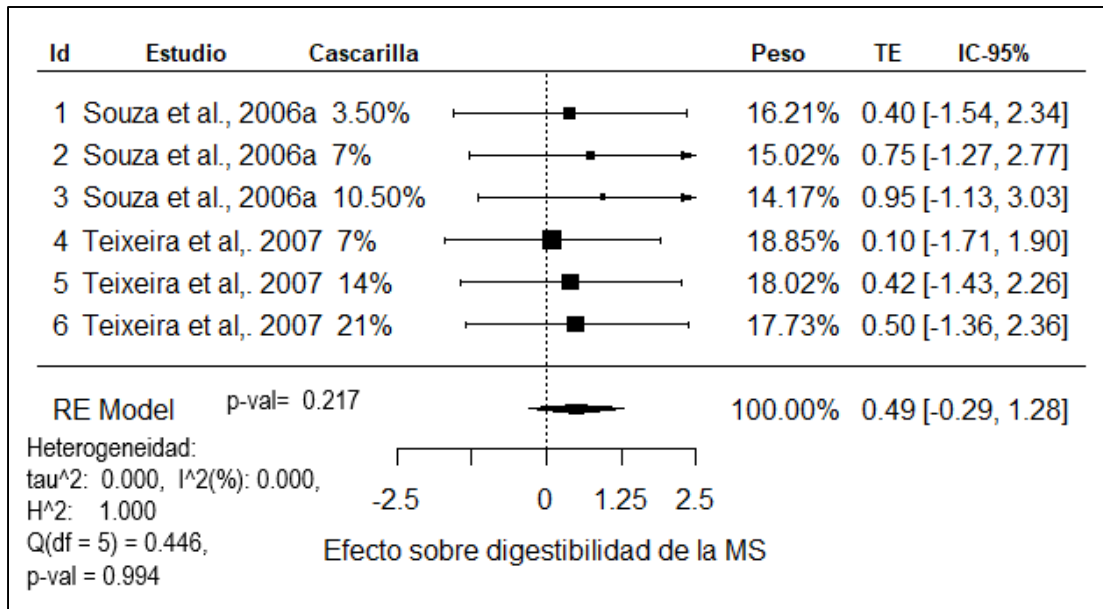


Figura 13. *Forest plot* del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vaquillas, sobre digestibilidad de la MS. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

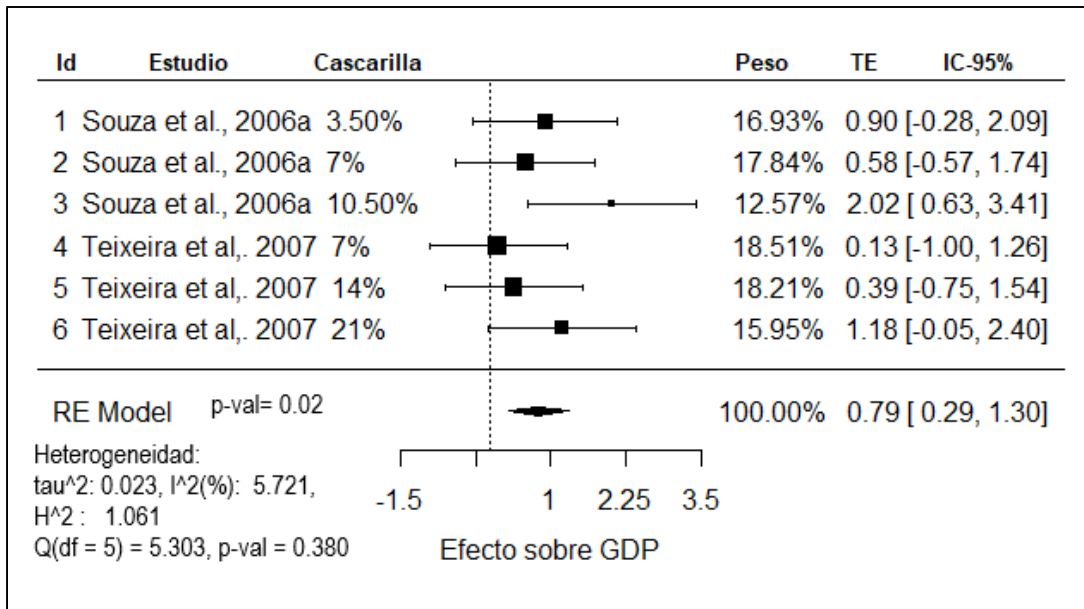


Figura 14. *Forest plot* del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vaquillas, sobre GDP. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

Un mayor consumo de alimento puede favorecer el incremento en la GDP (Shimada, 2003), aunado a esto, niveles adecuados de fibra en la dieta promueven el óptimo aprovechamiento de los nutrientes (Manthey y Anderson, 2018). El meta-análisis en relación a consumo y digestibilidad MS, presentó un efecto positivo, aunque no significativo. Por lo que es posible que un ligero incremento de consumo de MS pueda aumentar la GDP (Figura 14). Sin embargo, al no presentarse un aumento en el consumo de alimento, la conversión alimenticia no tuvo un efecto al incluir cascarilla en la dieta de las vaquillas (Figura 15).

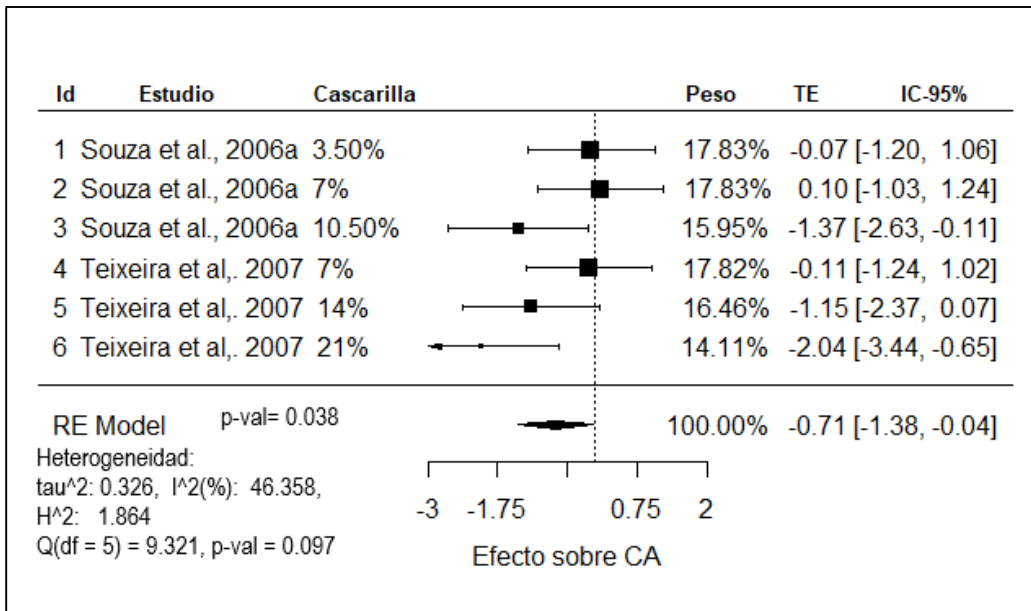


Figura 15. *Forest plot* del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de vacas Holstein, sobre CA. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

Las gráficas de embudo (Figura 16); a pesar del bajo número de estudios incorporados al meta-análisis demuestran asimetría en las variables analizadas, es decir, un posible sesgo de publicación, sin embargo, la confiabilidad de los gráficos puede ser cuestionable por el número de estudios (Egger *et al.*, 1997).

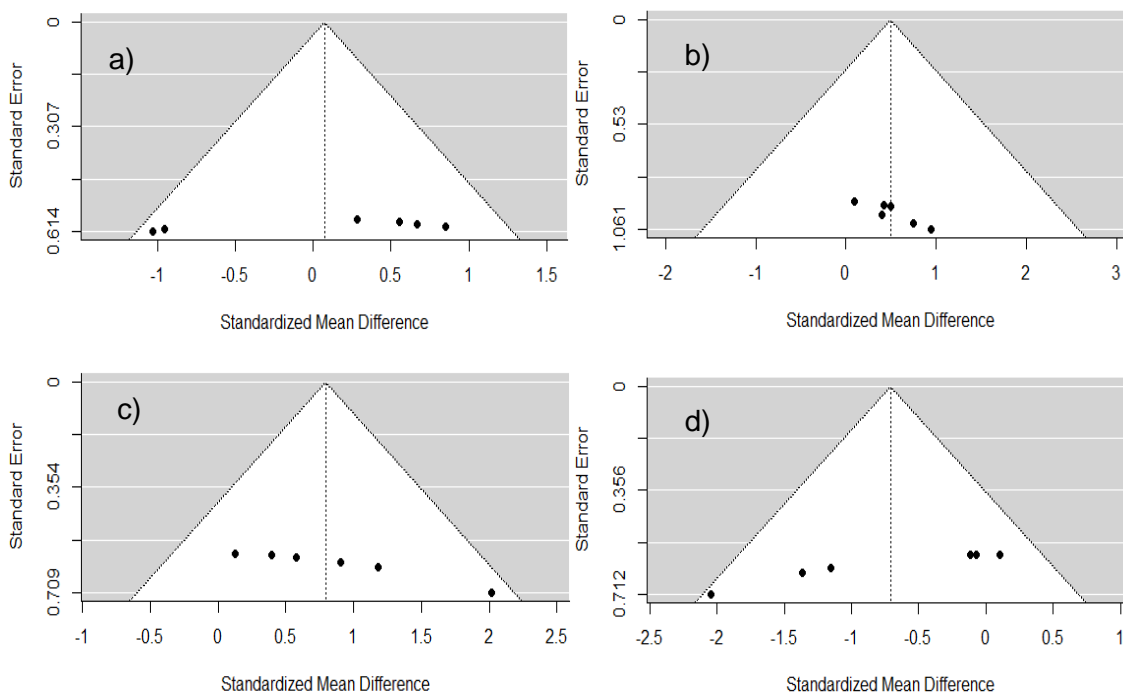


Figura 16. Gráficos de embudo del efecto de la utilización de cascarilla de café en dietas para vaquillas. a) consumo de MS; b) digestibilidad de MS; c) GDP; d) CA. El eje Y, representa el error estándar de los estudios y el eje X, el tamaño de efecto. Cada punto representa un estudio primario.

6.2.2. Efecto de la cascarilla de café en dietas para ovinos

A pesar de que se seleccionaron 6 estudios primarios para el meta-análisis, de los cuales se obtuvieron 8 posibles comparaciones para las variables consumo y digestibilidad de MS, se decidió omitir las medias presentadas por Rego *et al.* (2019), puesto que elevaban el índice de variabilidad a 100%, además de que al realizar el análisis de sensibilidad este resultaba verdadero. En el Cuadro 11 se observa que la utilización de cascarilla en la dieta de corderos en engorda, no tiene efecto en el consumo y digestibilidad de la MS, GDP ni CA ($P > 0.05$). Aunque todas

las variables presentaron heterogeneidad, así como un alto índice de variabilidad (Higgins y Thomson, 2004). Sin embargo, no existe sesgo de publicación en este análisis, a pesar de que los gráficos de embudo presentan una dispersión asimétrica en las variables analizadas (Figura 21).

Cuadro 11. Tamaño de efecto y heterogeneidad de la utilización de cascarilla de café en corderos.

Variable	NC	TE	IC	P-valor	Q	P-valor	I ²	Test de Egger
Consumo de la MS (g/d)	5	-0.250	-1.209, 0.709	0.610	15.373	0.004	73.98%	0.420
Digestibilidad de la MS (%)	3	0.755	-0.466, 1.976	0.225	6.989	0.030	71.38%	0.259
GDP (g)	6	0.506	-3.321, 4.333	0.796	124.584	< .001	95.99%	0.614
CA	6	-1.606	-5.102, 1.890	0.368	124.935	< .001	96.00%	0.642

NC: número de comparaciones; TE: tamaño de efecto; IC: Intervalo de confianza; Q: heterogeneidad; I²: índice de inconsistencia.

Debido a la ausencia de un efecto real en el consumo (Figura 17) y digestibilidad de MS (Figura 18) la utilización de aditivos como urea o CaO para mejorar la digestibilidad de la cascarilla; es posible la utilización de 15.27 y hasta 24% de inclusión de cascarilla tratada con urea al 4% y CaO 5% respectivamente. Además, la GDP (Figura 19) y CA (Figura 20) no se ven afectadas al utilizar cascarilla tratada o cascarilla al natural, en estas variables se realizaron 6 comparaciones resultando en presencia de heterogeneidad y una alta variabilidad.

La utilización de tratamientos alcalinos permite la solubilización de la hemicelulosa contenida en alimentos fibrosos. Además, mejora la disponibilidad de minerales como el Ca (Shi *et al.*, 2015), permitiendo un mejor aprovechamiento de los nutrientes disponibles (Chaudhry, 2000).

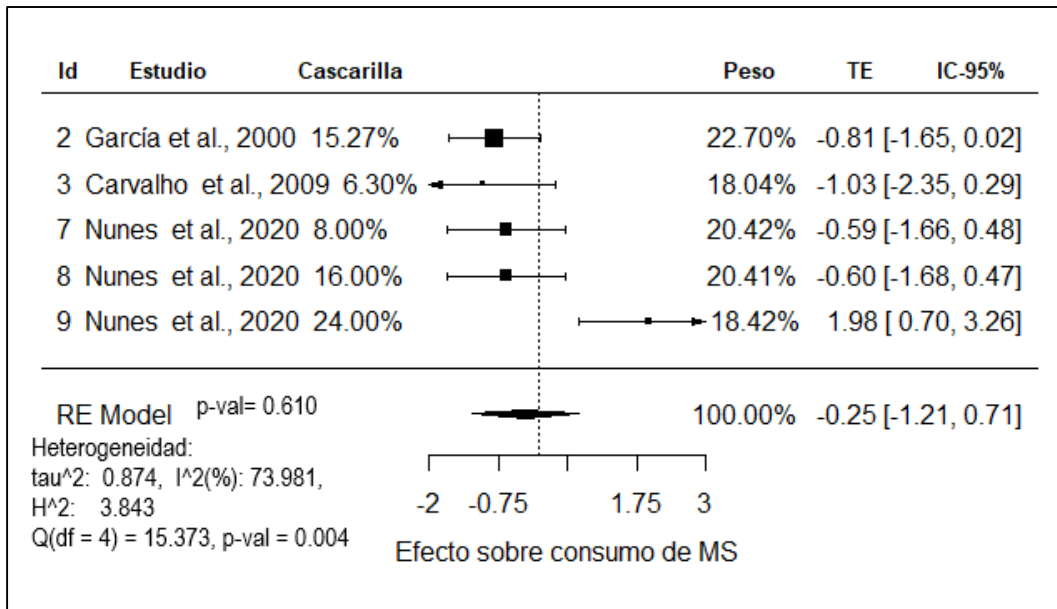


Figura 17. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de corderos, sobre consumo de MS. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

La digestibilidad de la MS en rumiantes, como se mencionó anteriormente, está relacionada con el tamaño de partícula del alimento y el tipo de alimento, a mayor tamaño de partícula y en alimentos fibrosos se reduce la velocidad de paso del alimento a través de los compartimentos del tracto gastrointestinal, lo cual favorece la acción de enzimas digestivas del rumen (de Paula Carlis *et al.*, 2021), aunado a esto, con la utilización de tratamientos químicos para mejorar la digestibilidad de ciertos alimentos con alto contenido de fibra se potencia la digestibilidad de la MS (Nunes *et al.*, 2020). En este caso el meta-análisis de la utilización de cascarilla de café en dietas para corderos no presentó efecto sobre la digestibilidad de la MS (Figura 18).

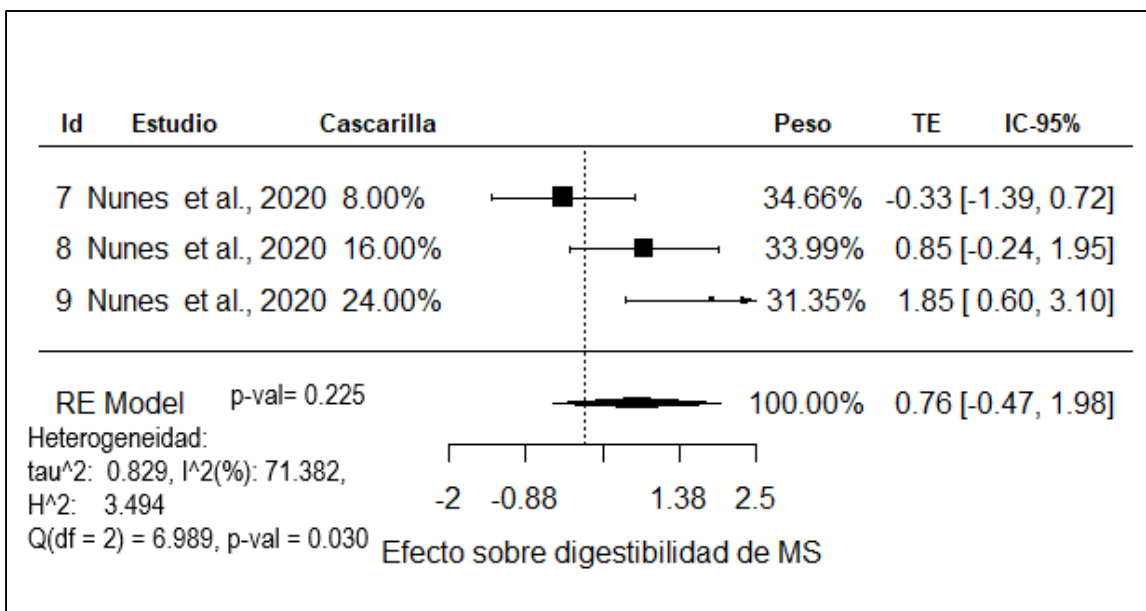


Figura 18. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de corderos, sobre digestibilidad de MS. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

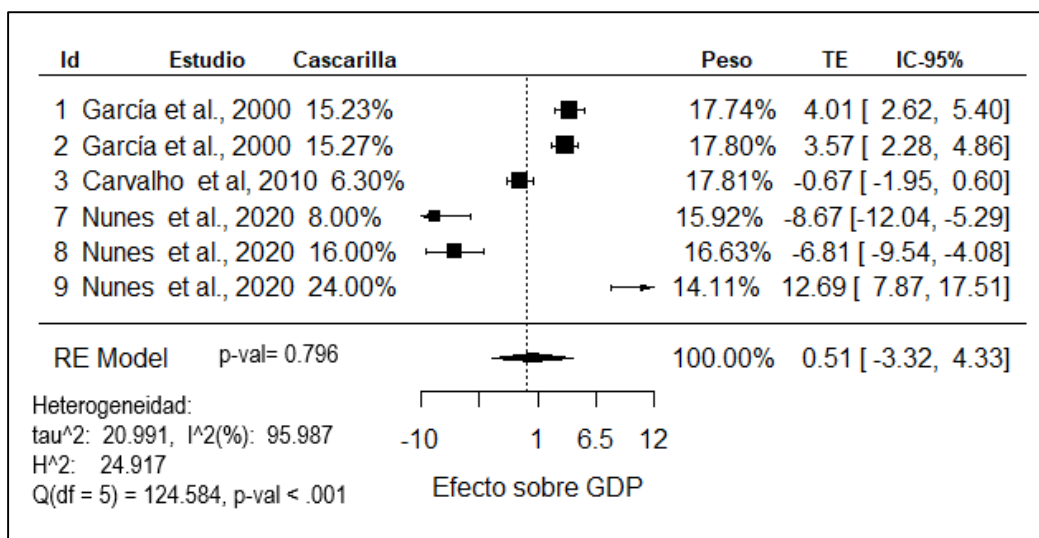


Figura 19. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de corderos, sobre GDP. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

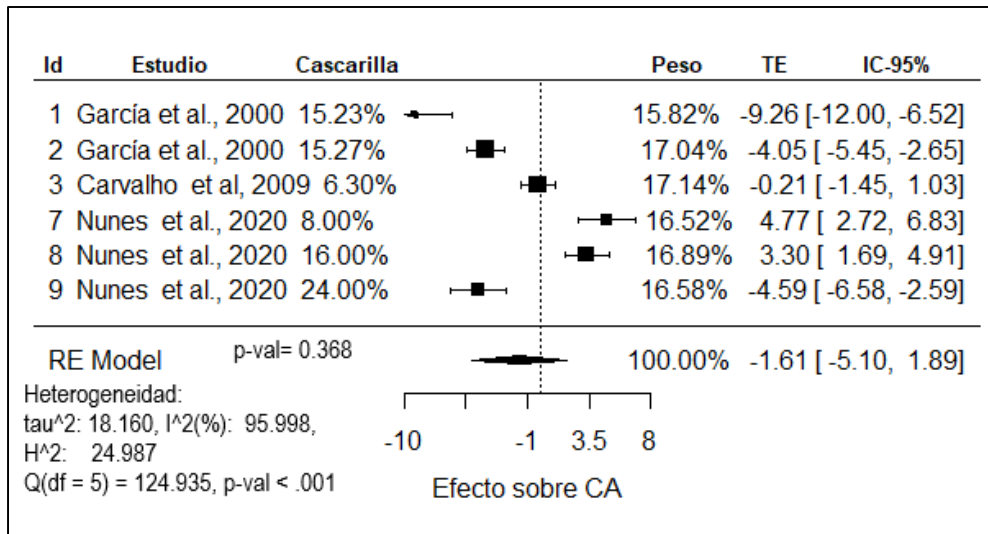


Figura 20. *Forest plot* del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de corderos, sobre CA. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

Los gráficos de embudo (Figura 21), para las variables consumo y digestibilidad de MS, GDP y CA; presentan una dispersión asimétrica de los estudios primarios, lo cual puede asociarse a un posible sesgo de publicación, sin embargo, por el número reducido de estudios, esta prueba es poco confiable (Egger *et al.*, 1997).

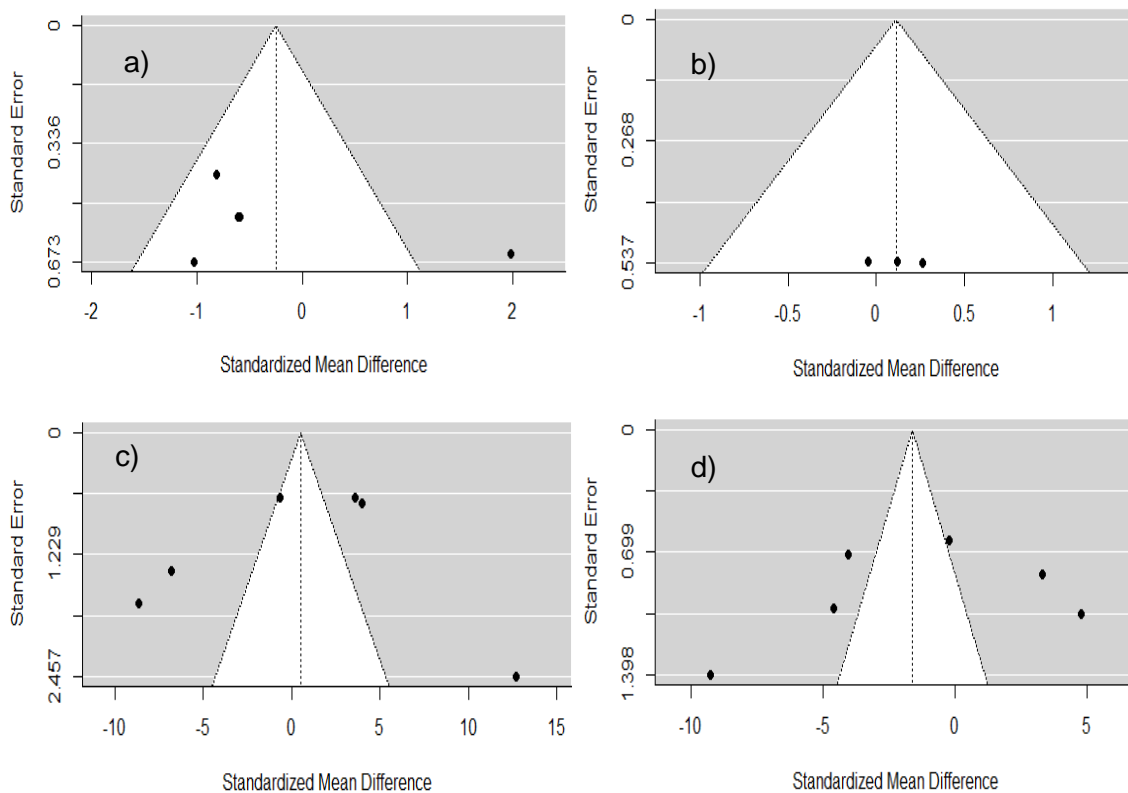


Figura 21. Gráficos de embudo del efecto de la utilización de cascarilla de café en dietas para corderos. a) consumo de MS; b) digestibilidad de MS; c) GDP; d) CA. El eje y, representa el error estándar de los estudios y el eje x, el tamaño de efecto. Cada punto representa un estudio primario.

En cuanto a los análisis realizados en carneros adultos (Cuadro 12), no se encontró efecto ($P > 0.05$) por la inclusión de distintos niveles de cascarilla en la dieta sobre el consumo y digestibilidad de MS. Tampoco se encontró heterogeneidad ni sesgo de publicación ($P > 0.05$).

Al encontrar valores de cero en la variabilidad de las comparaciones, asegura que los estudios comparados son homogéneos (Higgins *et al.*, 2003).

Cuadro 12. Tamaño de efecto y heterogeneidad de la utilización de cascarilla de café en carneros.

Variable	NC	TE	IC	P-valor	Q	P-valor	I ²	Test de Egger
Consumo de la MS	4	0.119	-0.503, 0.742	0.707	0.568	0.904	0.00%	0.924
Digestibilidad de la MS	4	0.271	-0.359 0.901	0.399	1.847	0.605	0.00%	0.052

NC: número de comparaciones; TE: tamaño de efecto; IC: Intervalo de confianza; Q: heterogeneidad; I²: índice de inconsistencia.

El meta-análisis del consumo (Figura 22) y digestibilidad de MS (Figura 23), no puede demostrar un aumento o disminución en las medias. En ambas pruebas se realizaron 4 comparaciones y no se encontró heterogeneidad ni variabilidad entre las comparaciones.

En animales adultos en mantenimiento, la demanda de energía y proteína es baja (Shimada, 2003), por lo que la alimentación de animales con ingredientes alternativos, permite reducir costos, a la vez que se suministran los nutrientes necesarios.

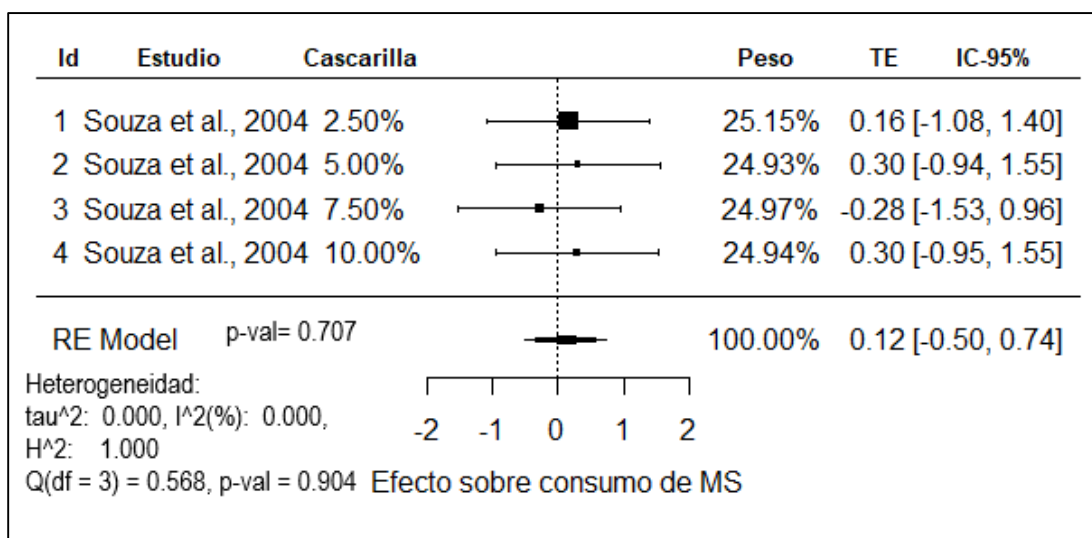


Figura 22. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de carneros, sobre consumo de MS. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la

derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

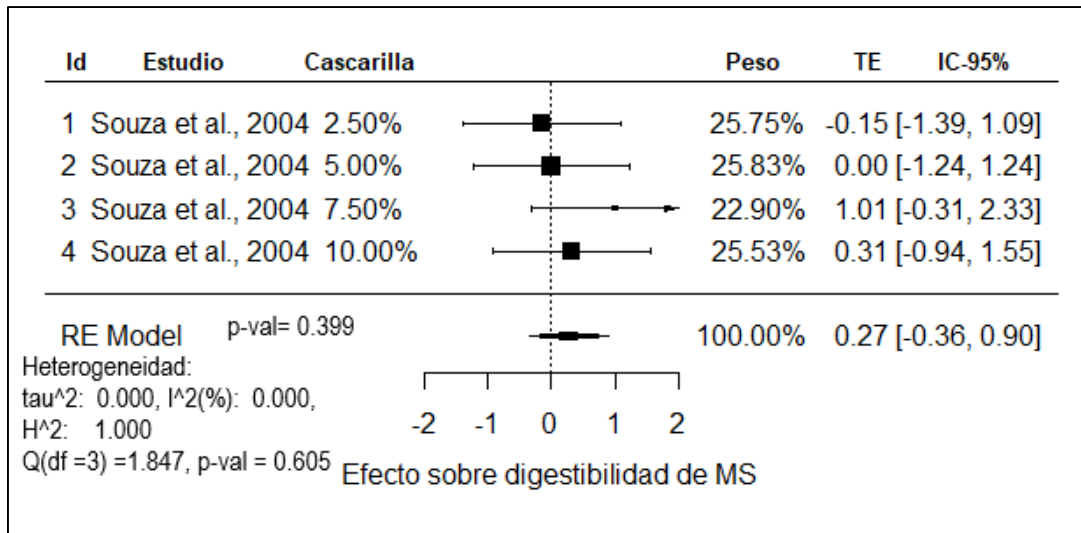


Figura 23. Forest plot del efecto de diferentes niveles de cascarilla de café en la dieta de carneros, sobre Digestibilidad la de MS. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

Los gráficos de embudo (Figura 24), muestran una dispersión asimétrica por lo que, también en estos meta-análisis son poco confiables, puesto que el número de estudios comparados es reducido.

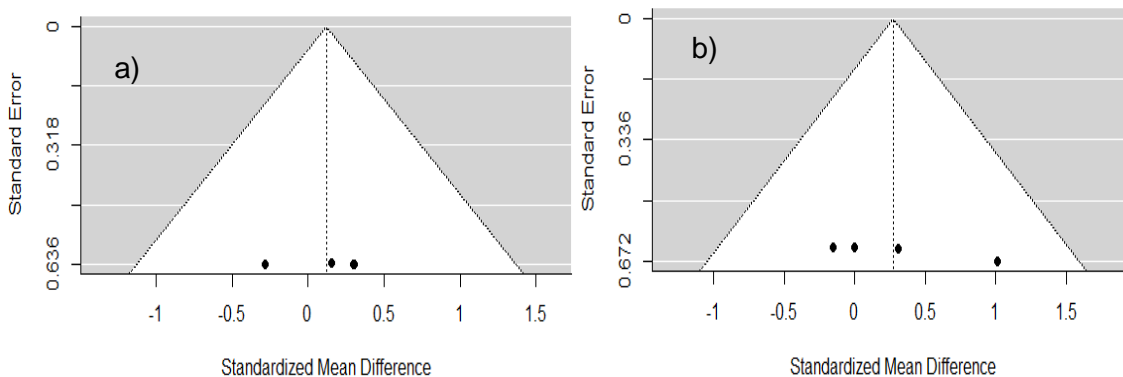


Figura 24. Gráficos de embudo del efecto de la utilización de cascarilla de café en dietas para carneros. a) consumo de MS; b) digestibilidad de MS. El eje Y, representa el error estándar de los estudios y el eje X, el tamaño de efecto. Cada punto representa un estudio primario.

6.2.3. Efecto de la pulpa de café en dietas para ovinos

El meta-análisis de la inclusión de diferentes niveles de pulpa de café en dietas de corderos en engorda (Cuadro 13), no demostró un aumento o disminución en las medias de las variables consumo de MS, digestibilidad de MO ni CA, mientras que la GDP puede verse afectada ($P < 0.05$) por la utilización de pulpa en las dietas. En todas las variables se presentó heterogeneidad, así como una alta variabilidad. La posibilidad de sesgo de publicación solo fue positiva para la variable GDP ($P < 0.05$).

Cuadro 13. Tamaño de efecto y heterogeneidad de la utilización de pulpa de café en dietas para corderos.

Variable	NC	TE	IC	P-valor	Q	P-valor	I ²	Test de Egger
Consumo de la MS (g/d)	9	-0.165	-0.631, 0.301	0.488	16.964	0.030	52.84%	0.672
Digestibilidad de la MO (%)	5	-0.273	-1.794, 1.249	0.726	20.379	< .001	80.37%	0.106
GDP (g)	9	-2.296	-3.972, -0.619	0.007	125.133	< .001	93.61%	0.003
CA	8	-0.798	-4.907, 3.311	0.703	230.969	< .001	96.97%	0.678

NC: número de comparaciones; TE: tamaño de efecto; IC: Intervalo de confianza; Q: heterogeneidad; I²: índice de variabilidad; GDP: ganancia diaria de peso; CA: conversión alimenticia.

El meta-análisis de consumo de MS (Figura 25), se realizó utilizando 9 comparaciones con diferentes niveles de inclusión de pulpa de café en la dieta de corderos, resultando un efecto nulo y una alta variabilidad entre los estudios.

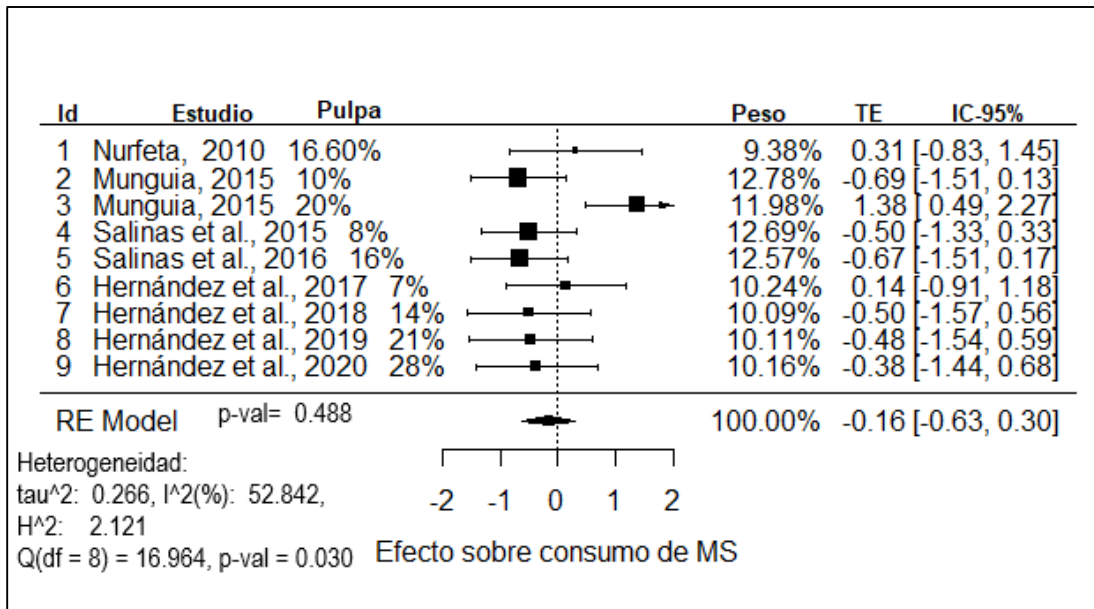


Figura 25. *Forest plot* del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de corderos, sobre consumo de MS. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

En tanto que para la digestibilidad de MO (Figura 25), el meta-análisis no pudo demostrar un aumento en la media. En esta prueba se realizaron 5 comparaciones, las cuales presentaron heterogeneidad y una alta variabilidad.

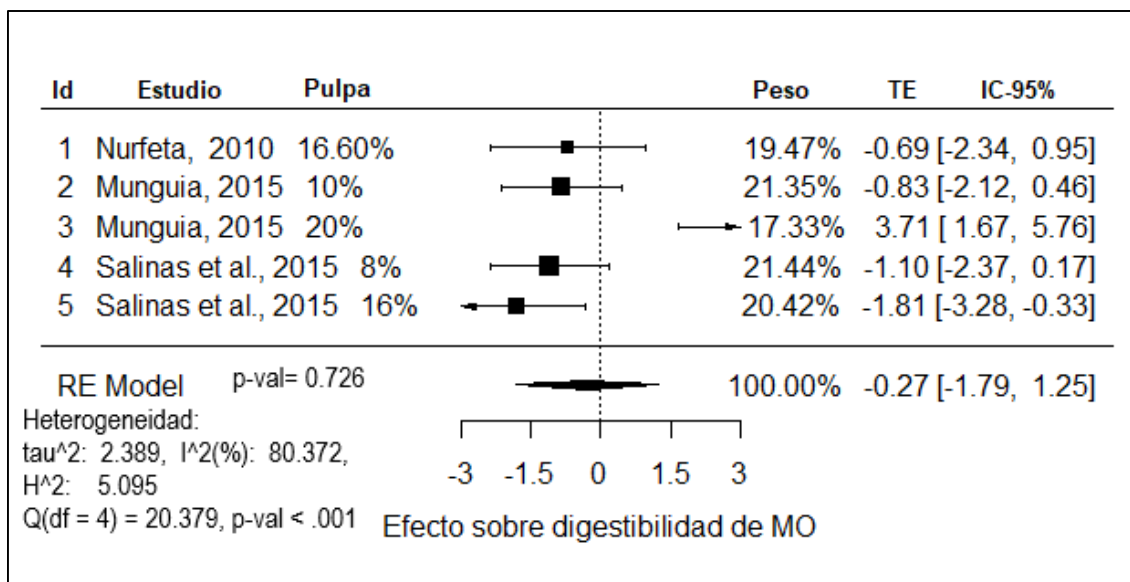


Figura 26. *Forest plot* del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de corderos, sobre digestibilidad de MO. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

La GDP (Figura 27) se puede ver afectada al incorporar pulpa de café en las dietas de corderos, en este meta-análisis se realizaron 9 comparaciones, de las cuales 4 presentaron un efecto negativo, destacando los niveles de inclusión de pulpa superiores a 20%; aunque en el gráfico se puede observar que el estudio realizado por Salinas *et al.* (2015) tiene fuertes efectos negativos, el peso dentro del efecto global es relativamente bajo en comparación al resto, lo cual se ve reflejado en una alta variabilidad entre estudios.

La disminución en la GDP, puede estar asociada al efecto estimulante de la cafeína presente en la pulpa de café (Hejna, 2021; Gemechu, 2020), así como el efecto diurético que facilita la pérdida de nitrógeno en la orina (Flórez y Rosales, 2018).

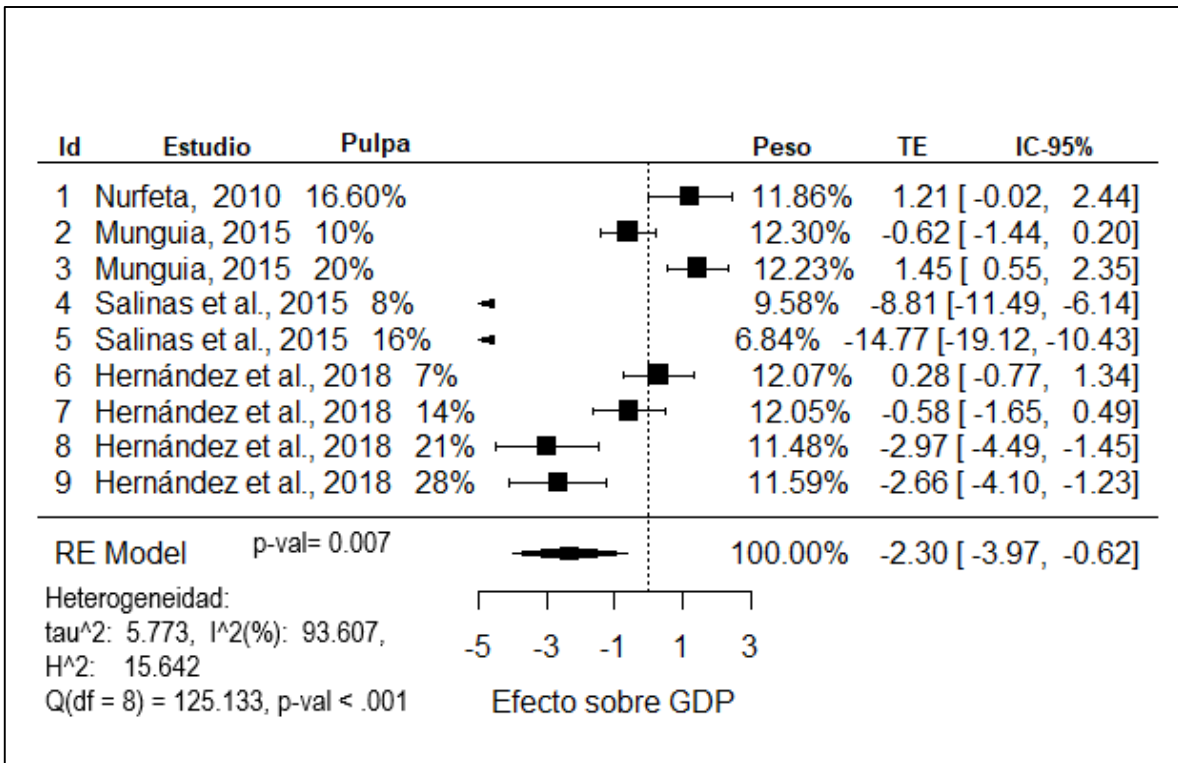


Figura 27. *Forest plot* del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de corderos, sobre GDP. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

En cuanto al meta-análisis del uso de pulpa de café en dietas de corderos sobre la CA, no pudo probar un aumento o disminución en las medias ($P > 0.05$). En esta prueba se realizaron 8 comparaciones y se observa una alta heterogeneidad, así como variabilidad entre los estudios.

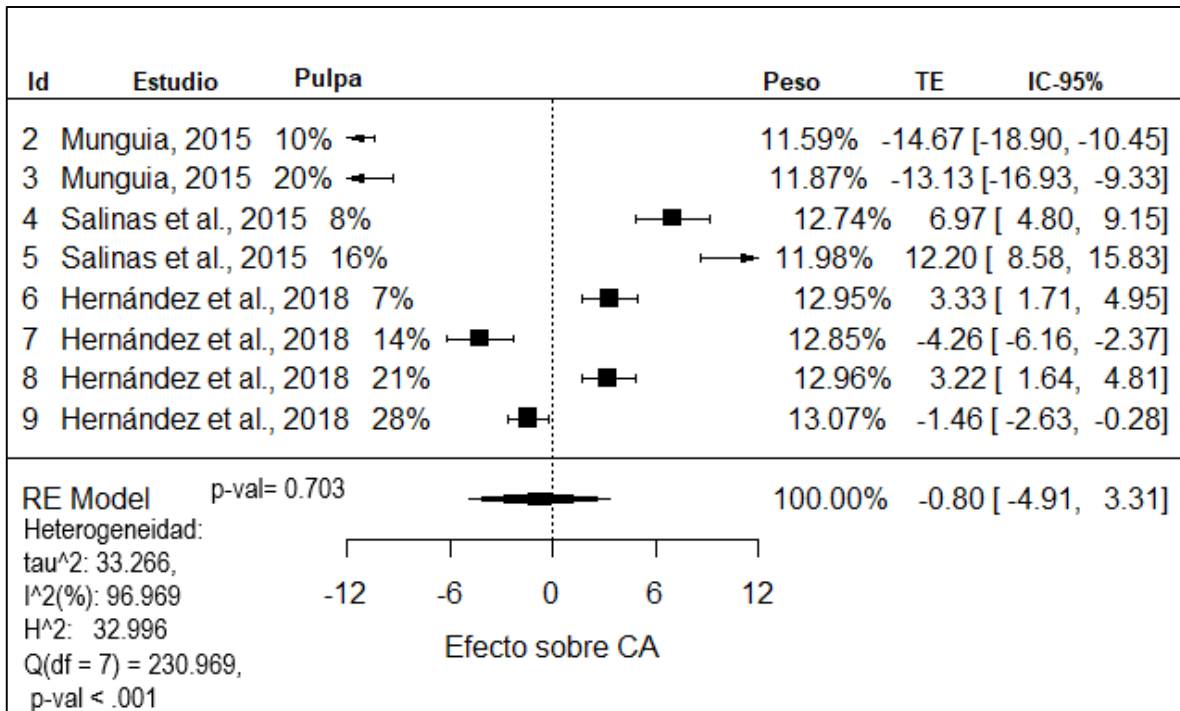


Figura 28. *Forest plot* del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de corderos, sobre CA. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

El gráfico de embudo (Figura 29) muestra una distribución de los estudios asimétrica en la mayoría de los meta-análisis, excepto en el correspondiente al consumo de MS, sin embargo, al igual que en los casos anteriores, debido al número reducido de estudios no se considera una prueba confiable.

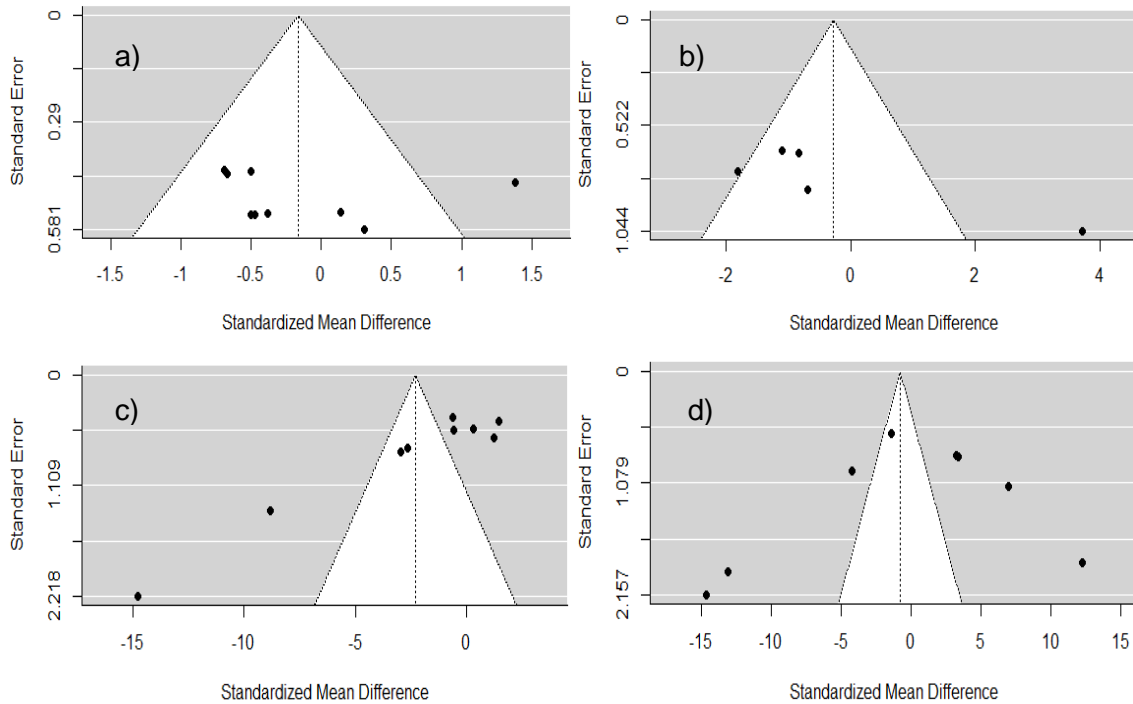


Figura 29. Gráficos de embudo del efecto de la utilización de pulpa de café en dietas para corderos. a) consumo de MS; b) digestibilidad de MS; c) GDP; d) CA. El eje y, representa el error estándar de los estudios y el eje x, el tamaño de efecto. Cada punto representa un estudio primario.

6.2.4. Efecto de la pulpa de café en dietas para bovinos

En relación a la utilización de diferentes niveles de pulpa de café en el concentrado de vacas lecheras (Cuadro 14), se obtuvo un efecto negativo para la variable producción de leche ($P < 0.05$), en esta misma se encontró heterogeneidad y una alta variabilidad entre los estudios primarios. La posibilidad de sesgo publicitario fue negativa únicamente en el porcentaje de sólidos en la leche.

Cuadro 14. Tamaño de efecto y heterogeneidad de la utilización de pulpa de café en dietas para vacas lecheras.

Variable	NC	TE	IC	P-valor	Q	P-valor	I ²	Test de Egger
Producción de leche (Kg/d).	6	-1.234	-2.440, -0.029	0.045	16.307	0.006	69.34%	0.002
Sólidos totales en leche (%).	6	0.071	-0.496, 0.639	0.805	0.621	0.987	0.00%	0.091
% proteína en leche.	6	0.380	-0.194, 0.954	0.194	0.966	0.965	0.00%	0.024
% grasa en leche.	6	0.097	-0.471, 0.664	0.739	0.469	0.993	0.00%	0.026

NC: número de comparaciones; TE: tamaño de efecto; IC: Intervalo de confianza; Q: heterogeneidad; I²: índice de variabilidad.

El meta-análisis de la inclusión de niveles de pulpa de café en el concentrado de vacas lecheras demostró una reducción en la producción de leche ($P < 0.05$), se realizaron 6 comparaciones, de las cuales los efectos negativos se encontraron en estudios con una inclusión de pulpa menor al 15% y el peso de estos, es relativamente menor al resto de estudios que no presentaron un efecto (Figura 30). Además, los estudios presentaron heterogeneidad y una alta variabilidad.

La reducción en la producción de leche en vacas lecheras alimentadas con concentrados con pulpa de café, puede estar asociada a una baja palatabilidad del alimento (Pinto *et al.*, 2017), y en consecuencia una reducción en la ingesta. Aunado a esto, la presencia de compuestos fenólicos y taninos en la pulpa de café (Hejna, 2021; Gemechu, 2020), puede formar complejos insolubles con proteínas reduciendo la digestibilidad (Negesse *et al.*, 2019).

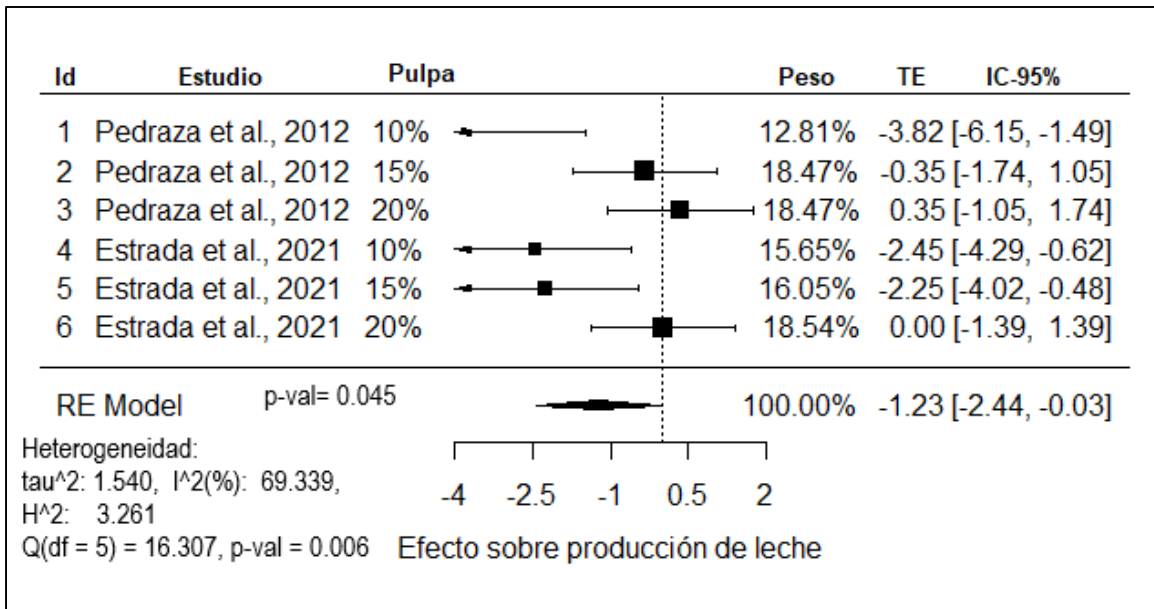


Figura 30. *Forest plot* del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de vacas lecheras, sobre producción de leche. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

En cuanto al porcentaje de sólidos totales en leche (Figura 31), mediante el meta-análisis no se pudo probar un efecto en esta variable, al incluir niveles de pulpa de café en el concentrado de vacas lecheras. Se realizaron 6 comparaciones y no se observó heterogeneidad ni variabilidad.

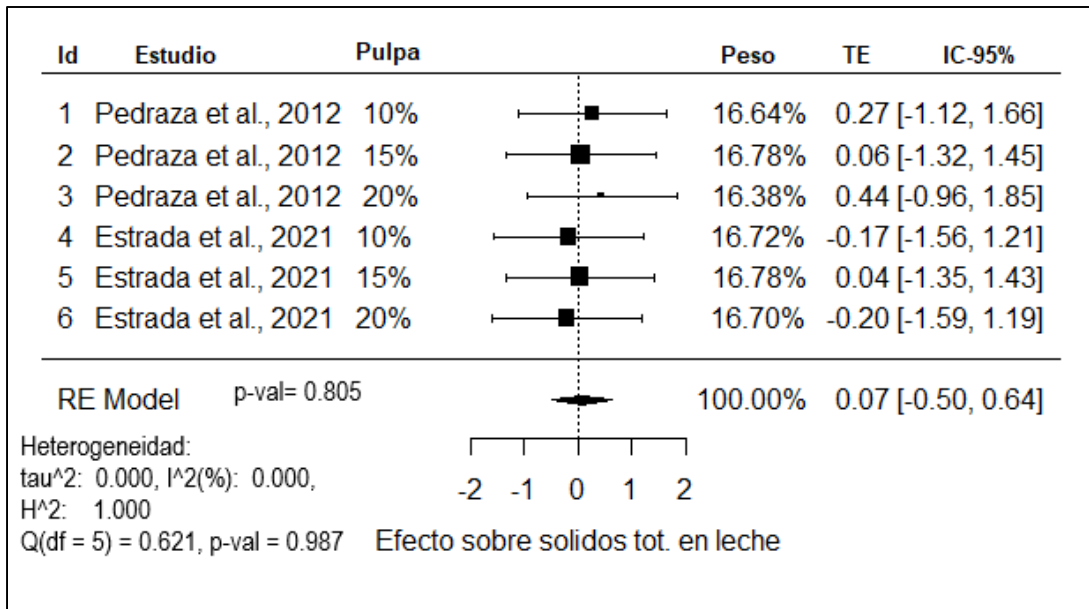


Figura 31. *Forest plot* del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de vacas lecheras, sobre porcentaje de sólidos totales en leche. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

Para el caso del porcentaje de proteína en la leche (Figura 32), tampoco pudo probarse mediante este meta-análisis un incremento o disminución de la media al incorporar diferentes niveles de pulpa de café en el concentrado de vacas lecheras. Se realizaron 6 comparaciones y no se encontró heterogeneidad ni variabilidad entre estas.

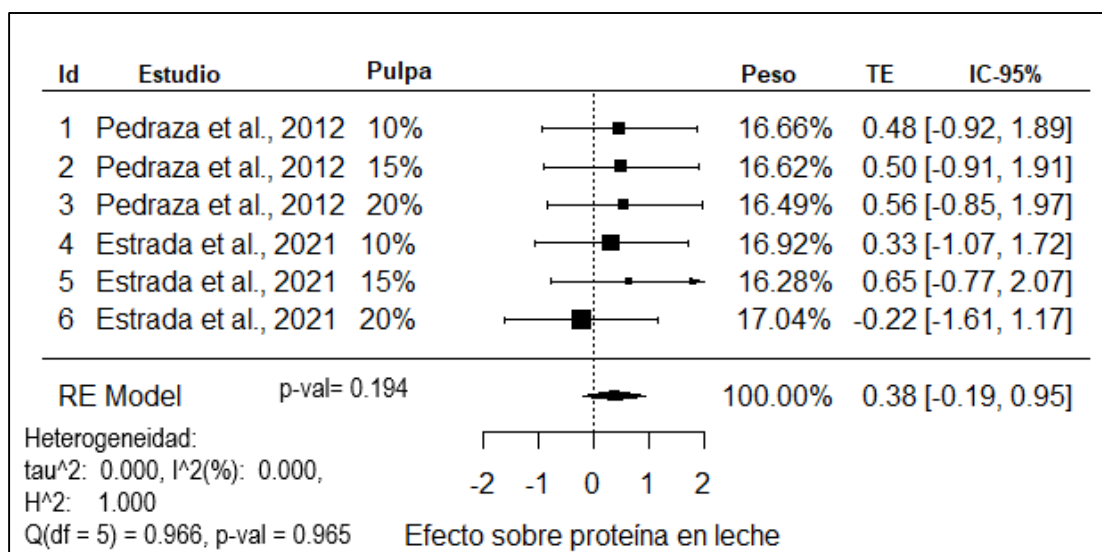


Figura 32. Forest plot del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de vacas lecheras, sobre porcentaje de proteína en leche. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

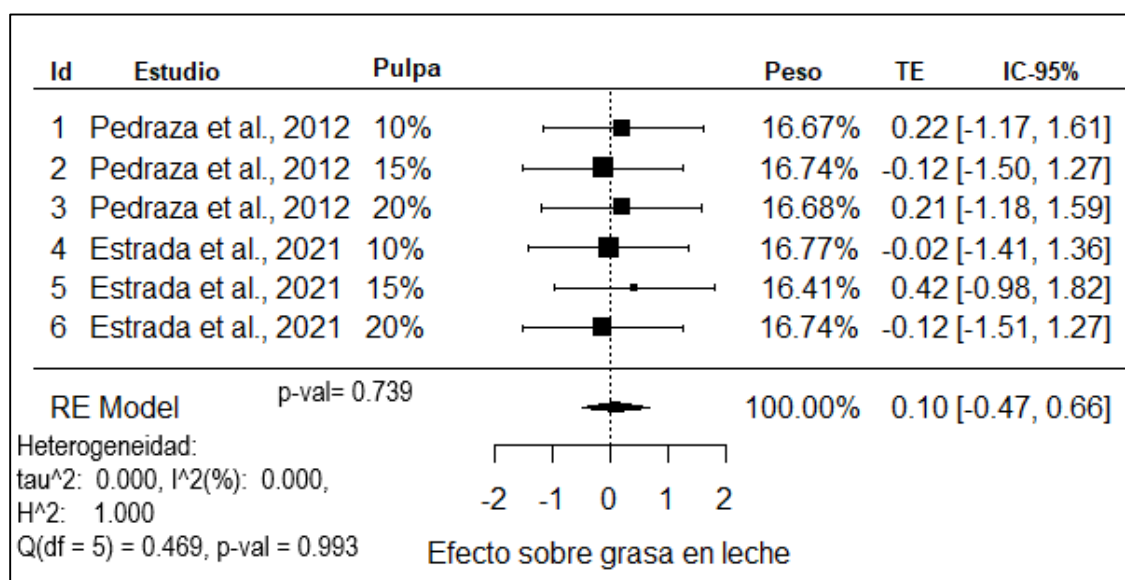


Figura 33. Forest plot del efecto de diferentes niveles de pulpa de café en la dieta de vacas Holstein, sobre porcentaje de grasa en leche. El eje X, representa la diferencia media significativa entre los estudios primarios. Los valores a la izquierda del cero representan una reducción y a la derecha un incremento. Cada cuadrado representa el peso relativo del estudio con respecto al efecto global y la línea horizontal que lo atraviesa representa el intervalo de confianza. El rombo representa el tamaño de efecto global.

El efecto de la incorporación de pulpa de café en el concentrado de vacas lecheras sobre el porcentaje de grasa en leche (Figura 33), no pudo comprobarse mediante el meta-análisis. Se compararon 6 niveles y no se encontró heterogeneidad ni variabilidad entre estos.

Los gráficos de embudo (Figura 34), presentan una distribución de estudios primarios asimétrica, a pesar del número reducido de estudios en el meta-análisis de producción de leche se observa una gran dispersión; sin embargo, como en el caso de las variables anteriores, esta prueba no es confiable por el número de comparaciones.

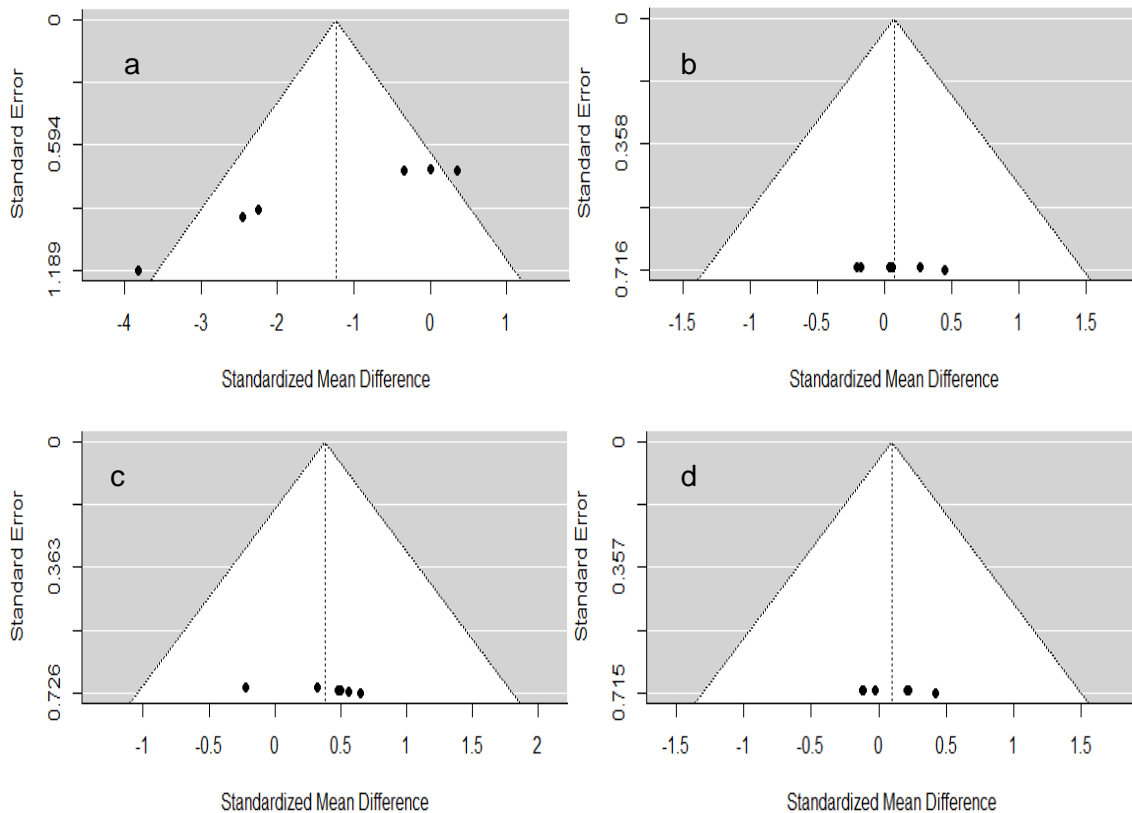


Figura 34. Gráficos de embudo del efecto de la utilización de pulpa de café en dietas para vacas Holstein. a) Producción de leche; b) % Sólidos totales en leche; c) % proteína en leche; d) % de grasa en leche. El eje y, representa el error estándar de los estudios y el eje x, el tamaño de efecto. Cada punto representa un estudio primario.

VII. CONCLUSIONES

El meta-análisis es una herramienta que permite obtener resultados más precisos al combinar diferentes estudios, sin embargo, un número limitado de estudios puede reducir su confiabilidad

Los resultados de este meta-análisis mostraron que la utilización de cascarilla de café en dietas para vacas lecheras en producción, puede mejorar el consumo de la MS, además de su digestibilidad; sin embargo, la producción de leche puede reducirse, no obstante, la composición de esta no se ve afectada. Mientras que en vaquillas puede mejorar la GDP, la CA puede afectarse negativamente, sin que se afecten el consumo ni digestibilidad de MS. En ovinos, no se observaron efectos de ningún tipo.

En tanto que la inclusión de pulpa de café en la dieta de vacas lecheras también puede reducir la producción de leche sin alterar su composición. En contraste, en ovinos la GDP puede reducirse, sin afectar el consumo y digestibilidad de la MS ni la CA.

Por los resultados encontrados en este estudio se concluye que los subproductos de café, como la cascarilla y pulpa, pueden ser mejor aprovechados cuando se incluyen en dietas para rumiantes en mantenimiento que en animales en crecimiento o producción.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acosta, I., Márquez A., Huérfano T., y Chacón I. 1997. Evaluación de la pulpa de café en aves: digestibilidad y energía metabolizable. Arch. Latin. Prod. Anim, 5(1), 311-312.
- Alves, R. C., Rodrigues F., Nunes M. A. Vinha A. F. y Oliveira M. B. P. P. 2017. State of the art in coffee processing by-products. In: Handbook of Coffee Processing By-Products, 1–26. Academic Press.
- Arellano G., M. A., M. A. C. Ramírez, M. T. M. Torres., G. G. M. Pérez y G. Saucedo. 2011. Antioxidant activity of fermented and nonfermented coffee (*Coffea arabica*) pulp extracts. Food Technology and Biotechnology, 49(3), 374.
- Baroni L., Cenci L., Tettamanti M. y Berati, M. 2007. Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems. European journal of clinical nutrition, 61(2), 279-286.
- Bautista, E. O., Pernía J., Barrueta D. y Useche M. 2005. Pulpa ecológica de café ensilada en la alimentación de alevines del híbrido Cachamay (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*). Revista Científica, XV(1),33-40.
- Berecha G.; Lemessa F. and Wakjira M. 2011. Exploring the Suitability of Coffee Pulp Compost as Growth Media Substitute in Greenhouse Production. International Journal of Agricultural Research, 6(3), 255-267.
- Bolaños Díaz, R., y Calderón Cahua, M. 2014. Introducción al meta-análisis tradicional. Revista de Gastroenterología del Perú, 34(1), 45-51.
- Bolaños, D. R., y Calderón, C. M. 2014. Introducción al meta-análisis tradicional. Revista de Gastroenterología del Perú, 34(1), 45-51.
- Botella, J. y Zamora A. 2017. El meta-análisis: una metodología para la investigación en educación. Educación XX1, 20(2),17-38.
- Bradford, B. J. and Mullins, C. R. 2012. Invited review: Strategies for promoting productivity and health of dairy cattle by feeding nonforage fiber sources. Journal of dairy science, 95(9), 4735-4746.
- Brahan, E. J. 1979. Coffee pulp in other species. In: Coffee Pulp Composition, Technology, and Utilization. International Development Research Centre. Ottawa, Canada. pp. 51-54.
- Carvalho, P. L. D. O., Moreira, I., Furlan, A. C., Paiano, D., Piano, L. M., y Sierra, L. M. P. 2011. Sticky coffee hull silage on the feeding of growing and finishing pigs. Revista Brasileira de Zootecnia, 40, 343-351.
- Castillo E., Y. Acosta, N. Betancourt, E. Castellanos, A. Matos, V. Téllez y M. Cerdá. 2002. Utilización de la pulpa de café en la alimentación de alevines de tilapia roja. Revista AquaTIC, 16.

- Celada, J. D., y Fuertes J. B. 2016. Evaluation of pea protein concentrate as partial replacement of fish meal in practical diets for juvenile tench (*Tinca tinca* L.). *Aquaculture research*.
- Chaudhry, A. 2000. Rumen degradation in sacco in sheep of wheat straw treated with calcium oxide, sodium hydroxide and sodium hydroxide plus hydrogen peroxide. *Animal Feed Science and Technology*, 83(3-4), 313–323.
- Chaves, U.; E. Carolina y Esquivel-Rodríguez P. 2019. Ácidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 299-311
- Christensen, M. S. 1981. Preliminary tests on the suitability of coffee pulp in the diets of common carp (*Cyprinus carpio* L.) and catfish (*Clarias mossambicus* Peters). *Aquaculture*, 25(2-3), 235-242.
- Cipriano R. F., R. Garcia, A.W. P. Freitas, A. Lima de Souza, K.F. Gobbi, S. C. Valadares F., R. Gonçalves T. y G. Cipriano R. 2006a. Casca de café em dietas para vacas em lactação: consumo, digestibilidade, produção e composição de leite. *Rev. Bras. Zoot.* 35 (5), 2163-2171
- Cipriano R. F., R. Garcia, A.W. P. Freitas, A. Lima de Souza, K.F. Gobbi, S. C. Valadares F., O. Gomes P., J. P. Sampaio R., R. Gonçalves T. y G. Cipriano R. 2006b. Consumo e digestibilidade de dietas formuladas com diferentes níveis de casca de café para vacas em lactação. *Rev. Bras. Zoot.* 35 (5), 2154-2162.
- Conejero, C. J. A. 2001. Meta-análisis. *Rehabilitación*, 35(6), 373–382.
- de Paula C., M. S.; Sturion, T. U.; da Silva, A. L. A.; Eckermann, N. R.; Polizel, D. M.; de Assis, R. G.; de Souza, T. T.; Dias Junior, G. P.C.; Silva, V. A. C.; dos Santos, J. I.; Haddad, C. J.; Socolovski, B. J.; Vaz, P. A. y Ferreira, E. M. 2021. Whole corn grain-based diet and levels of physically effective neutral detergent fiber from forage (pefNDF) for feedlot lambs: digestibility, ruminal fermentation, nitrogen balance and ruminal pH. *Small Ruminant Research*, 106567.
- DerSimonian, R. y Laird, N. 1986. Meta-analysis in clinical trials. *Controlled clinical trials*, 7(3), 177-188.
- DerSimonian, R., y Kacker, R. 2007. Random-effects model for meta-analysis of clinical trials: an update. *Contemporary clinical trials*, 28(2), 105-114.
- Donkoh, A., Atuahene C. C., Kese A. G., y Mensah-Asante B. 1988. The nutritional value of dried coffee pulp (DCP) in broiler chickens' diets. *Animal feed Science and technology*, 22(1-2), 139-146.
- Dorsey, B M. y M. A. Jones. 2017. Chapter 2 - Healthy components of coffee processing by-products. In *Handbook of Coffee Processing By-Products*. Academic Press. 2017. pp 27-62.

- dos Santos, É. M., de Macedo L. M., Tundisi L. L., Ataíde J. A., Camargo G. A., Alves R. C., Oliveira P. M. B. y Mazzola P. G. 2021. Coffee by-products in topical formulations: A review. *Trends in Food Science & Technology*.
- Egger, M.; Smith, G. D.; Schneider, M. y Minder, C. 1997. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *Bmj*, 315(7109), 629-634.
- Esquivel, P., y Jiménez V. M. 2012. Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2), 488–495.
- Fagbenro, O. A., y Arowosoge I. A. 1991. Growth response and nutrient digestibility by *Clarias isheriensis* (Sydenham, 1980) fed varying levels of dietary coffee pulp as replacement for maize in low-cost diets. *Bioresource technology*, 37(3), 253-258.
- FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Building Climate Resilience for Food Security and Nutrition; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy, 2018; pp. 1–181.
- Farah, A. 2009. Coffee as a speciality and functional beverage. In *Functional and Speciality Beverage Technology*. Woodhead Publishing Limited, pp 370–395.
- Federici, F., Fava F., Kalogerakis N., y Mantzavinos D. 2009. Valorisation of agro-industrial by-products, effluents and waste: concept, opportunities and the case of olive mill wastewaters. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 84(6), 895-900.
- Ferrão, L.F.V., E.T. Caixeta, G. Pena, E.M. Zambolim, C.D. Cruz, L. Zambolim, M. A. G. Ferrão y N.S. Sakiyama. 2015. New EST–SSR markers of *Coffea arabica*: Transferability and application to studies of molecular characterization and genetic mapping. *Mol Breeding* 35, 31.
- Flores, D. D. F. y Rosales, A. E. 2018. Uso del ensilaje de pulpa de café en alimentación animal. *Mundo Fesc.* (15) 1. 73-82.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. 2019. FAOSTAT: Crops and livestock products. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Fecha de acceso septiembre 2021.
- Franca A. S. y Oliveira L. S. 2009 Coffee processing solid wastes: current uses and future perspectives. In: *Agricultural wastes*, Nova Science Publishers, New York. pp. 155-189.
- Funes, C. A., Rodríguez, J., Arroyo, R., Ch, C. S., y Blanco, F. 1986. Evaluación de la pulpa de café deshidratada en pollos de engorde durante los periodos de iniciación y engorde (0-7 semanas). *Uniciencia*, 3(1), 11-18.
- Galvão L. T. O., Reis G. C., Silva C. C., Pinto A. S., Santos D. M., Lima E. M., Gomes D. I., Oliveira L. R. S., Alves K. S., Santos P. M. y Mezzomo R. 2020.

Performance of lactating buffaloes in pasture supplemented with palm-kernel cake. *Animal Production Science*, 61(1), 47-54.

Garcia, I. F. F.; Olalquiaga, J. R. P. J. y Morais, M. V. O. 2003a. Componentes Corporais e Órgãos Internos de Cordeiros Texel x Bergamácia, Texel x Santa Inês e Santa Inês Puros, Terminados em Confinamento, com Casca de Café como Parte da Dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(6) supl. 2, 1992-1998.

Garcia, I. F. F.; Olalquiaga, J. R. P. J. y Teixeira J. C. 2003b. Componentes de Carcaça e Composição de Alguns Cortes de Cordeiros Texel x Bergamácia, Texel x Santa Inês e Santa Inês Puros, Terminados em Confinamento, com Casca de Café como Parte da Dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(6) supl. 2, 1999-2006.

Garcia, I. F. F.; Olalquiaga, J. R. P. J.; Teixeira J. C. y Barbosa, C. P. 2000. Desempenho de cordeiros Texel x Bergamácia, Texel x Santa Inês e Santa Inês puros, terminados em confinamento, alimentados com casca de café como parte da dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(2), 564-572.

Gemechu, F.G. 2020. Embracing nutritional qualities, biological activities, and technological properties of coffee byproducts in functional food formulation. *Trends in Food Science & Technology*.

Gill, M. 2013. Converting feed into human food: the multiple dimensions of efficiency. In: *Optimization of feed use efficiency in ruminant production systems. Proceedings of the FAO Symposium, 27 November 2012, Bangkok, Thailand. FAO Animal Production and Health Proceedings, No. 16. Rome, FAO and Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. pp: 1-13.*

González, I. F.; Urrútia, G. y Alonso-Coello, P. 2011. Revisión sistemática y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. *Revista española de cardiología*, 64(8), 688-696.

Gouvea, B.M., Torres C., Franca A.S., Oliveira L.S. y Oliveira E.S. 2009. Feasibility of ethanol production from coffee husks. *Biotechnology Letters*. 31,1315–1319

Govoni, C., Chiarelli, D. D., Luciano, A., Ottoboni, M., Perpelek, S. N., Pinotti, L., y Rulli, M. C. 2021. Global assessment of natural resources for chicken production. *Advances in Water Resources*, 103987.

Gutiérrez, P. L. K.; Sánchez, T. E. M. T.; Salinas, R. T.; Figueroa, V. J. L.; Martínez, A. J. A.; Contreras, C.C.D. A.; Cárdenas, L. M.; Nava, C. C.; Cordero, M. J. L. y García C. J. L. 2019. Coffee pulp supplementation prior to breeding improves oxidative status without affecting fertility of primiparous ewes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 32(4), 261-273.

- Hejna, A. 2021. Potential applications of by-products from the coffee industry in polymer technology – Current state and perspectives. *Waste Management*, 121, 296-330.
- Hernández S. M.I. y Nava Tablada M.E. 2018. Cafeticultura en áreas naturales protegidas. El caso del sitio Ramsar "cascadas de Texolo y su entorno" en Veracruz, México. *AGRO PRODUCTIVIDAD*, 11(4), 3-8.
- Hernández, B. J.; Rodríguez, M. H. M.; Villegas, S. J. A.; Salinas, R. T.; Ortiz, M. I. Y.; Aquino C. M. y Lozano, T. S. 2018. Health status and productivity of sheep fed coffee pulp during fattening. *Austral journal of veterinary sciences*, 50(2), 95-99.
- Higgins, J. P.; Thompson, S. G.; Deeks, J. J. y Altman, D. G. 2003. Measuring inconsistency in meta-analyses. *Bmj*, 327(7414), 557-560.
- Higgins, J.P.T. y Thompson, S.G. 2004. Controlling the risk of spurious findings from metaregression. *Stat. Med.* 23, 1663–1682.
- Hoseini, Marziyeh, Cocco S., Casucci C., Cardelli V. y Corti G. 2021. Coffee by-products derived resources. A review. *Biomass and Bioenergy*. 148, 106009.
- Hunt, M. 1999. Making Order of Scientific Chaos. In *How Science Takes Stock: The Story of Meta-Analysis* (1-19). New York: Russell Sage Foundation.
- International Coffee Organization (ICO). Historical data on the global coffee trade. 2020. Revisado mayo 2021.
- Jurgilevich, A., Birge T., Kentala-Lehtonen J., Korhonen-Kurki K., Pietikäinen J., Saikku L., y Schösler H. 2016. Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability*, 8(1), 69.
- Kebede, Y. K., Kebede T., Assefa F. y Amsalu A. 2010. Environmental impact of coffee processing effluent on the ecological integrity of rivers found in Gomma woreda of Jimma zone, Ethiopia. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 10(2-4), pp 259–269.
- Kieu Tran, T. M., T. Kirkman, M. Nguyen y Q. Van Vuong. 2020. Effects of drying on physical properties, phenolic compounds and antioxidant capacity of Robusta wet coffee pulp (*Coffea canephora*). *Heliyon*, 6(7), e04498.
- Kohen, R., y Nyska, A. (2002). Invited Review: Oxidation of Biological Systems: Oxidative Stress Phenomena, Antioxidants, Redox Reactions, and Methods for Their Quantification. *Toxicologic Pathology*, 30(6), 620–650.
- León, H. S. y Aguilera Z. J.M. 2001. Metodología de los estudios de meta-análisis en la investigación clínica. *Rev. Mex. Ortop. Traum*, 15(2), 86-91.
- Lin, L., y Chu, H. 2018. Quantifying publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 74(3), 785-794.

- Luciano, A., Tretola M., Ottoboni M., Baldi A., Cattaneo D., y Pinotti L. 2020. Potentials and challenges of former food products (food leftover) as alternative feed ingredients. *Animals*, 10(1), 125.
- Lunsin R., Duanyai S. y Pilajun R. 2020. Oil palm meal and urea pellet can partially replace soybean meal in the rations of lactating dairy cows. *Animal Production Science* 61(1), 38-46.
- Magoni, C., I. Bruni, L. Guzzetti, M. Dell'Agli, E. Sangiovanni, S. Piazza, M. E. Regonesi, Maldini, R. Spezzano, D. Caruso y M. Labra. 2018. Valorizing coffee pulp by-products as anti-inflammatory ingredient of food supplements acting on IL-8 release. *Food Research International*. 112, 129–135.
- Makkar H. P. S. 2016. Animal nutrition in a 360-degree view and a framework for future R&D work: towards sustainable livestock production. *Animal Production Science*, 56, 1561-1568
- Manthey, A. K. y Anderson, J. L. 2018. Growth performance, rumen fermentation, nutrient utilization, and metabolic profile of dairy heifers limit-fed distillers dried grains with ad libitum forage. *Journal of dairy science*, 101(1), 365-375.
- Marín, M. F., Sánchez M. J. M. y López L. J.A. 2009. El metaanálisis en el ámbito de las Ciencias de la Salud: una metodología imprescindible para la eficiente acumulación del conocimiento. *Fisioterapia*, 31(3), 107–114.
- Martínez, A. S. R., Hernández C. F. D. y Aguilar G. C. N., Rodríguez H. R. 2019a. Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana. *Investigación y Ciencia*. 27(77), 73-79
- Martínez, C. L. M., Rocha E. P. A., Carneiro A. D. C. O., Gomes F. J. B., Batalha L. A. R., Vakkilainen E., y Cardoso M. 2019b. Characterization of residual biomasses from the coffee production chain and assessment the potential for energy purposes. *Biomass and Bioenergy*, 120, 68-76.
- McNeill, David M. 2013. Forages for ruminants, cereals for human food and fuel. In: Optimization of feed use efficiency in ruminant production systems. Proceedings of the FAO Symposium, 27 November 2012, Bangkok, Thailand. FAO Animal Production and Health Proceedings, No. 16. Rome, FAO and Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. pp: 1-13.
- Molina, A. M. 2018. Aspectos metodológicos del metaanálisis (1). *Pediatría Atención Primaria*, 20(79), 297-302.
- Molina, M., Lechuga, O. R., y Bressani, R. 1990. Valor nutritivo de la pulpa de café sometida a fermentación sólida usando *Aspergillus niger* en pollos y cerdos. *Agronomía Mesoamericana*, 79-82.
- Molinero, L.M. 2002. Hablemos de... Interpretación, utilidad y limitaciones del metaanálisis. *GH continuada*, 1(6), 57-64.

- Moraczewski K., Stepczyńska M., Malinowski R., Budner B., Karasiewicz T. y Jagodziński B. 2018. Propiedades seleccionadas de la policaprolactona que contiene compuestos anti-envejecimiento naturales *Adv. Polym. Tech.*, 37 (8), 3499 - 3510
- Moraga, J. y Cartes-Velásquez, R. 2015. Pautas de chequeo, parte II: QUOROM y PRISMA. *Revista chilena de cirugía*, 67(3), 325-330.
- Moreau, Y., Arredondo J. L., Perraud-Gaime I., y Roussos S. 2003. Dietary utilisation of protein and energy from fresh and ensiled coffee pulp by the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 46(2), 223-231.
- Mottet, A., y Tempio, G. 2017. Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*, 73(02), 245–256.
- Murthy, P. S., y Madhava Naidu, M. 2012. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling*. 66, 45–58.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. Anatomy, digestion and nutrient utilization. In: *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition*. 25-47. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. 2001. Dry matter intake. In: *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition*. (3-10). Washington, DC: The National Academies Press.
- Negesse T, Makkar H.P.S. y Becker K. 2009. Nutritive value of some non-conventional feed resources of Ethiopia determined by chemical analyses and an in vitro gas method. *Animal Feed Science and Technology*, 154, 204–217.
- Nudda, A., Buffa G., Atzori A. S., Cappai M. G., Caboni P., Fais G., y Pulina G. 2019. Small amounts of agro-industrial byproducts in dairy ewes diets affects milk production traits and hematological parameters. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 76-85.
- Nunes, C. L. C., Garcia, R., Chizzotti, M. L., Roseira, J. P. S., Ribeiro, E. T., y Veloso, C. M. 2020. Performance, carcass traits and meat quality of lambs fed coffee hulls treated with calcium oxide. *Animal Feed Science and Technology*, 264, 114471.
- Nurfeta, A. 2010. Feed intake, digestibility, nitrogen utilization, and body weight change of sheep consuming wheat straw supplemented with local agricultural and agro-industrial by-products. *Tropical animal health and production*, 42(5), 815-824.

- Oliveira, A. S., J. M. Souza C., S. C. Valadares F., A. J. Assis., R. M. Araújo T., F. Diniz V., D. Santos P. y G. Soares O. 2007a. Substituição do milho por casca de café ou de soja em dietas para vacas leiteiras: consumo, digestibilidade dos nutrientes, produção e composição do leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(4, Suppl.), 1172-1182.
- Oliveira, A. S., J. M. Souza C., S. C. Valadares F., A. J. Assis, R. M. Araújo T., L. Navajas R., D. Santos P. y G. Soares O. 2007b. Substituição do milho pela casca de café ou de soja em dietas para vacas leiteiras: comportamento ingestivo, concentração de nitrogênio uréico no plasma e no leite, balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(1.), 205-215.
- Oliveira, J. Beserra, A. J. Vieira P., G.G. Pinto C., L. S. Oliveira R., J. Ferreira C. y F. Ferreira S. 2010. Subprodutos industriais na ensilagem de capim-elefante para cabras leiteiras: consumo, digestibilidade de nutrientes e produção de leite. *Rev. Bras. Zootec.* 39(2), 411-418.
- Oliveros, H. 2015. La heterogeneidad en los metaanálisis, ¿es nuestra mejor aliada?. *Rev. Colomb. de Anestesiología*, 43(3),176-178.
- Oltjen J. y Beckett, J., 1996. Role of ruminant livestock in sustainable agricultural systems. *J. Anim. Sci.* 74, 1406–1409.
- Pandey, A., C. R. Soccol, P. Nigam, D. Brand, R. Mohan y S. Roussos. 2000. Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*. 6(2), 153–162.
- Pardo G., Martin-Garcia I., Arco A., Yañez-Ruiz D. R., Moral R. y del Prado A. 2016. Greenhouse-gas mitigation potential of agro-industrial by-products in the diet of dairy goats in Spain: a life-cycle perspective. *Animal Production Science*, 56 (3), 646-654.
- Parra, Â. R. P., Moreira, I., Furlan, A. C., Paiano, D., Scherer, C., y Carvalho, P. L. D. O. 2008. Utilização da casca de café na alimentação de suínos nas fases de crescimento e terminação. *Revista Brasileira de zootecnia*, 37, 433-442.
- Pedraza, B. P.; Estrada, F. J. G.; Martínez, C. A. R.; Estrada, L. I.; Rayas, A. A. A.; Yong, A. G.; Figueroa, M. M.; Áviles, N. F. y Castelán, O. O. A. 2012. On-farm evaluation of the effect of coffee pulp supplementation on milk yield and dry matter intake of dairy cows grazing tropical grasses in central Mexico. *Tropical animal health and production*, 44(2), 329-336.
- Pereira, G. V. M., Carvalho Neto, D. P. de, Magalhães Júnior, A. I., Vásquez, Z. S., Medeiros, A. B. P., Vandenberghe, L. P. S., y Soccol, C. R. 2019. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. *Food Chemistry*. Vol. 272. pp 441-452.

- Pereira, G. V. M., D. P. Carvalho Neto, A. I. Magalhães Júnior, F. G. do Prado, M. G. B. Pagnoncelli, S. G. Karp y C. R. Soccol. 2020. Chemical composition and health properties of coffee and coffee by-products. In *Advances in Food and Nutrition Research*. Academic Press. Vol. 91. pp 65-96.
- Pereira, G.V.M., V.T. Soccol, S.K. Brar, E. Neto y C.R. Soccol. 2017. Microbial ecology and starter culture technology in coffee processing *Critical Reviews. Food Science and Nutrition*. Vol. 57. pp 2775-2788.
- Pinto, R. R.; Guevara, H. F.; Medina, J. A.; Hernández, S. D., Ley de Coss, A. y Guerra, M. E. 2017. Conducta ingestiva y preferencia bovina por el ensilaje de Pennisetum y pulpa de café. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 59-67.
- Pires Filho., I. C., Broch J., Eyng C., Silva I. M., Souza C., Avila A. S., Castilha L. D., Cirilo E. H., Tesser G. L. S. y Nunes, R. V. 2021. Effects of feeding dried brewers grains to slow-growing broiler chickens. *Livestock Science*, 250, 104561.
- Pires, A. J. V., Carvalho G. G. P., García R., Carvalho J. J. N., Ribeiro L. S. O. y Chagas D. M. T. 2009. Comportamento ingestivo de ovinos alimentados com silagens de capim-elefante contendo casca de café, farelo de cacau ou farelo de mandioca. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(8), 1620-1626.
- Ponnampalam, E. N., Bekhit, A. E. D., Bruce, H., Scollan, N. D., Muchenje, V., Silva, P., y Jacobs, J. L. 2019. Production Strategies and Processing Systems of Meat. *Sustainable Meat Production and Processing*, 17–44.
- Post, P., Hogerwerf L., Bokkers E., de Boer I. J. M. y Lebret E. 2019. Impacts of Dutch livestock production on human health. In *Animal Farming for a healthy world*. pp. 194-199.
- Ramírez, C. Avilés, Blanco F. Peña, Ibáñez A. Horcada, Sánchez N. Núñez, Domenech F. Requena, Medina P. Guzmán y Martínez Marín A. L. 2018. Effects of concentrates rich in by-products on growth performance, carcass characteristics and meat quality traits of light lambs. *Animal Production Science*, 59(3), 593-599.
- Rego, A. F. C., Belan L., Pertile S. F. N., Lima L. D., Ludovico A., Zundt M., Lopes F. G. y Porto P. P. 2019. Nutrient intake and apparent digestibility coefficient of lambs fed with coffee husk in replacement of oat hay. *Ciência Rural*, 49(1): 1-5.
- Riffenburgh, R. H., y Gillen, D. L. 2020. Meta-analyses. In: *Statistics in Medicine*. Fourth Edition Academic Press, Elsevier Inc. pp. 601–608.
- Roseira, João PS, Garcia R., da-Silveira T.C., Veloso C.M., da-Silva T.C., da-Silva L.D. y Ribeiro E.T. 2021. Rumen degradation kinetics of coffee hulls treated with calcium oxide under aerobic or anaerobic conditions. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.*; 34(1): 51–62.

- Salami, S. A., Luciano G., O'Grady M. N., Biondi L., Newbold C. J., Kerry J. P., y Priolo A. 2019. Sustainability of feeding plant by-products: a review of the implications for ruminant meat production. *Animal Feed Science and Technology*. 251 (2019), 37-51.
- Salinas, R. T.; Ortega, C. M. E.; Sánchez, T. E. M. T.; Hernández, B. J.; Díaz, C. A.; Figueroa V. J. L.; Guinzberg, P. R. y Cordero, M. J. L. 2015. Productive performance and oxidative status of sheep fed diets supplemented with coffee pulp. *Small Ruminant Research*, 123(1), 17-21.
- Salinas, R. T.; Sánchez, T. E. M. T.; Hernández, B. J.; Díaz, C. A.; Nava, C. C.; Ortega, C. M. E.; Cordero, M. J. L.; Vaquera, H. H. y Velasco, J. L. F. 2014. Carcass characteristics, physicochemical changes and oxidative stress indicators of meat from sheep fed diets with coffee pulp. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 66, 1901-1908.
- Salinas, R. T.; Sánchez, T. E. M. T.; Díaz, C. A.; Cordero, M. J. L.; Cárdenas, L. M.; Hernández, B. J.; Nava, C. C. y Nieto, A. R. 2016. Oxidative status and fertility of ewes supplemented coffee pulp during estrous synchronization and early pregnancy. *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias*, 29(4), 255-263.
- Sánchez, Meca, J. y Botella, Juan. 2010. Revisiones sistemáticas y meta-análisis: herramientas para la práctica profesional. *Papeles del Psicólogo*, 31(1), 7-17.
- Sandoya, E. 2008. Metaanálisis: fortalezas y debilidades. *Revista Uruguaya de Cardiología*, 23(3), 263-275.
- Schwarzer, G., Carpenter, J. R. y Rücker, G. 2015. Heterogeneity and Meta-Regression. In: *Meta-Analysis with R, Use R!* (85–104). Springer International Publishing Switzerland.
- Shi, H. T.; Cao, Z. J.; Wang, Y. J.; Li, S. L.; Yang, H. J.; Bi, Y. L. y Doane, P. H. 2015. Effects of calcium oxide treatment at varying moisture concentrations on the chemical composition, in situ degradability, in vitro digestibility and gas production kinetics of anaerobically stored corn stover. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(4), 748–757.
- Shimada M. A. 2003. Digestión en animales rumiantes. En *Nutrición Animal*. México: Trillas. pp 96-121.
- Skibba W. A. 2016. Available information on the feeding value of coffee waste and ways to improve coffee waste for animal feed. *African Journal of Biology*, 3 (6), 243-257.
- Sos, V. J. E., Abella, J. A. L., Villach, L. G., y Oliver, M. B. 2021. Metaanálisis: una forma básica de entender e interpretar su evidencia. *Revista de Senología y Patología Mamaria*, 34(1), 44-51.
- Souza, Alexandre L., Garcia R., Bernardino F. S., Campos J. M. de S., Valadares Filho S. de C., Cabral L. da S. y Gobbi, K. F. 2006a. Casca de café em dietas

- para novilhas leiteiras: consumo, digestibilidade e desempenho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(3), 921-927.
- Souza, A. L., Garcia R., Bernardino F. S., Diniz V. F. R., Albuquerque P. M. L., Cabral L. da S., y Valadares Filho S. de C. 2006b. Casca de café em dietas para vacas em lactação: balanço de compostos nitrogenados e síntese de proteína microbiana. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(4 supl.), 1860-1865.
- Souza, A. L., Garcia R., Bernardino F. S., Rocha F. C., Valadares Filho S. de C., Pereira O. G. y Pires A. J. V. 2004. Casca de café em dietas de carneiros: consumo e digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(6, Suppl. 2), 2170-2176.
- Souza, A. L., Garcia R., Valadares Filho S. de C., Cipriano R. F., Campos J. M. de S., Cabral L. da S. y Gobbi K. F. 2005. Casca de café em dietas para vacas em lactação: consumo, digestibilidade, e produção de Leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(5), 2163-2171.
- Sterne, J. A. y Egger, M. 2001. Funnel plots for detecting bias in meta-analysis. *Journal of Clinical Epidemiology*, 54(10), 1046–1055.
- Tegebu F.N., Mathijs E., Deckers J. Haile M., Nyssen J. y Tollens E. 2012. Rural livestock asset portfolio in northern Ethiopia: a microeconomic analysis of choice and accumulation. *Trop. Anim. Health Prod.* 44, 133–144.
- Ulloa, R. J.B. y J. A. J. Verreth. 2003. Growth of *Oreochromis aureus* fed with diets containing graded levels of coffee pulp and reared in two culture systems. *Aquaculture*, 217(1-4), 275-283.
- Urrutia, G.; Torta, S. y Bonfill, X. 2005. Metaanálisis (QUOROM). *Medicina Clínica*, 125, 32–37.
- Vesterinen, H. M.; Sena, E. S.; Egan, K. J.; Hirst, T. C.; Churolov, L.; Currie, G. L.; Antonic, A.; Howells, D. W. y Macleod, M. R. 2014. Meta-analysis of data from animal studies: a practical guide. *Journal of neuroscience methods*, 221, 92-102.
- Villasís-Keever, M. Á., Rendón-Macías, M. E., García, H., Miranda-Novales, M. G., y Escamilla-Núñez, A. 2020. La revisión sistemática y el metaanálisis como herramientas de apoyo para la clínica y la investigación. *Revista alergia México*, 67(1), 62-72.
- Weiss, W. P. 2012. Use of a corn milling product in diets for dairy cows to alleviate milk fat depression. *Journal of dairy science*, 95(4), 2081-2090.
- Yoshihara, Y., y Yokoyama, S. 2021. Effects of soybean curd residue and rice bran on lamb performance, health, and meat quality. *Veterinary and Animal Science*, 11, 100166.

- Yu, G., Liu C., Zheng Y., Chen Y., Li D., y Qin W. 2021. Meta-analysis in the production chain of aquaculture: A review. *Information Processing in Agriculture*.
- Yue, K., y Shen, Y. 2021. An overview of disruptive technologies for aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*.
- Zanton, G. I. y Heinrichs, A. J. 2008. Rumen digestion and nutritional efficiency of dairy heifers limit-fed a high forage ration to four levels of dry matter intake. *Journal of dairy science*, 91(9), 3579-3588.
- Zanton, G. I., y Heinrichs, A. J. 2009. Digestion and nitrogen utilization in dairy heifers limit-fed a low or high forage ration at four levels of nitrogen intake. *Journal of dairy Science*, 92(5), 2078-2094.
- Zelaya, J. R., Rosales, D. A., y Riverra, O. B. 1994. Efecto de cuatro niveles de pulpa de café en alimentación de gallinas ponedoras (iniciación-desarrollo). *Uniciencia*, 11(1), 27-35.

APÉNDICE

Cuadro A1. Características de estudios primarios sobre la utilización de cascarilla de café en dietas para vacas en producción.

ID	Autor	n	Característica de los individuos	% de cascarilla en dieta (MS)	Control	Variables evaluadas
1	Souza <i>et al.</i> , 2005	12	Vacas Holstein con	3.5	Maíz molido.	Consumo y digestibilidad de la MS, producción y composición de leche.
2			peso medio de 550 Kg en producción	7.0		
3			(24 Kg de leche/d)	10.5		
4	Rocha <i>et al.</i> , 2006a	12	Vacas Holstein con	6.0	Ensilado de maíz.	Consumo y digestibilidad de la MS, producción y composición de leche.
5			peso medio 574 Kg en producción (25	12.0		
6			kg de leche/d)	18.0		
7	Rocha <i>et al.</i> , 2006b	12	Vacas Holstein con	5.0	Maíz.	Consumo y digestibilidad de la MS, producción y composición de leche.
8			peso medio de 570.75 Kg en	10.0		
9			producción (22 kg de leche/d)	15.0		
10	Oliveira <i>et al.</i> , 2007	12	Vacas Holstein con peso medio de 580 Kg en producción (20 Kg de leche*d)	10	Maíz en grano	Consumo y digestibilidad de la MS, producción y composición de leche.

MS: materia seca.

Cuadro A29. Características de estudios primarios sobre la utilización de cascarilla de café en dietas para vaquillas.

ID	Autor	n	Característica de los individuos	% de cascarilla en dieta (MS)	Control	Variables evaluadas
1	Souza <i>et al.</i> , 2006a	24	Novillas Holstein x Cebú con peso 201,21 ± 60,13 Kg	3.5	Maíz molido.	Consumo y digestibilidad de la MS, GDP y CA.
2				7.0		
3				10.5		
4	Teixeira <i>et al.</i> , 2007	24	Novillas Holstein con peso medio de 180 Kg	7.0	.Ensilado de maíz	Consumo y digestibilidad de la MS, GDP y CA.
5				14.0		
6				21.0		

GDP: ganancia diaria de peso; CA: conversión alimenticia; MS: materia seca.

Cuadro A3. Características de estudios primarios sobre la utilización de cascarilla de café en dietas para corderos.

ID	Autor	n	Característica de los individuos	% de cascarilla en dieta (MS)	Control	Variables evaluadas
1	García <i>et al.</i> , 2000	36	Corderos de diferentes cruza de 130 días de edad.	15.23	Mazorca molida	Consumo de MS, GDP y CA.
2				15.27 ¹		
3	Carvalho Junior <i>et al.</i> , 2009	20	Corderos Santa Inés no castrados de 5 meses y peso de 22.27 ± 3.24 Kg.	6.3	Ensilado de pasto elefante	Consumo de MS, GDP y CA.
4	Rego <i>et al.</i> , 2019	4	Corderos Texel con peso de 15.3±3.48 Kg.	7.5	Heno de avena	Consumo y digestibilidad de MS.
5				15.0		
6				22.5		
7	Nunes <i>et al.</i> , 2020	28	Corderos machos Dorper x Santa Inés de 20.2 ± 2.40 Kg.	8.0 ²	Ensilado de maíz	Consumo y digestibilidad de MS, GDP y CA.
8				16.0 ²		
9				24.0 ²		

GDP: ganancia diaria de peso; CA: conversión alimenticia; MS: materia seca; ¹cascarilla tratada con urea al 4%; ²cascarilla tratada con 5% CaO.

Cuadro A4. Características de estudios primarios sobre la utilización de cascarilla de café en dietas para carneros.

ID	Autor	n	Característica de los individuos	% de cascarilla en dieta (MS)	Control	Variables evaluadas
1				2.5		
2	Souza <i>et al.</i> , 2004	20	Carneros adultos castrados	5.0	Maíz	Consumo y digestibilidad de MS.
3				7.5		
4				10.0		

MS: materia seca

Cuadro A5. Características de estudios primarios sobre la utilización de pulpa de café en dietas para corderos.

ID	Autor	n	Característica de los individuos	% de cascarilla en dieta (MS)	Control	Variables evaluadas
1	Nurfeta, 2010	18	Corderos con peso promedio de 19.8 ±1.06 Kg	16.60	Heno de trigo y concentrado	Consumo y digestibilidad MS, GDP y CA.
2	Munguia, 2015	36	Corderos pelibuey con peso promedio de 20.4 ±2.59 Kg	10.0	Rastrojo	Consumo y digestibilidad de MS, GDP y CA.
3				20.0		
4	Salinas <i>et al.</i> , 2015	34	Corderos Blackbelly de 6 meses de edad con peso de 22.86±0.60 Kg	8.0	Sorgo molido	Consumo y digestibilidad, GDP y CA.
5				16.0		
6				7.0		
7	Hernández <i>et al.</i> , 2018	35	Corderos pelibuey con peso promedio de 21.8 Kg.	14.0	Maíz.	Consumo de MS, GDP y CA.
8				21.0		
9				28		

GDP: ganancia diaria de peso; CA: conversión alimenticia; MS: materia seca

Cuadro A6. Características de estudios primarios sobre la utilización de pulpa de café en dietas de vacas lecheras.

ID	Autor	n	Característica de los individuos	% de cascarilla en concentrado (6 Kg)	Control	Variables evaluadas
1	Pedraza <i>et al.</i> , 2012	4	Vacas multiparas Holstein-Pardo	10.0	Maíz	Producción y composición de leche.
2			Suizo-Cebú con peso de 435 ± 27 Kg en producción (12.6 ± 1.9 Kg de leche/d)	15.0		
3				20.0		
4	Estrada <i>et al.</i> , 2021	4	Vacas Holstein-Cebú con peso de 477 ± 7 Kg en producción (12 ± 2.7 Kg de leche/d)	10.0	Concentrado sin pulpa de café	Producción y composición de leche.
5				15.0		
6				20.0		