

03

Sistemas pecuarios y aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo

José Guillermo Velásquez Penagos
Édgar Fernando Almansa Manrique
Editores

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria

ecoPETROL

03

Sistemas pecuarios y aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo

José Guillermo Velásquez Penagos
Édgar Fernando Almansa Manrique
Editores

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria

**ecopETROL**

Sistemas pecuarios y aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo / José Guillermo Velásquez Penagos [y otros ocho] editado por: José Guillermo Velásquez Penagos y Édgar Fernando Almansa Manrique -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2020.

92 páginas -- (Colección Transformación del agro)
Incluye referencias bibliográficas, tablas y fotos
ISBN obra impresa: 978-958-5461-65-9
ISBN e-Book: 978-958-5461-66-6

1. Producción animal 2. Ganado bovino 3. Aves de corral 4. Sanidad animal 5. Absorción de agua 6. Uso del agua 7. Meta (Colombia) I. Velásquez Penagos, José Guillermo (editor) II. Almansa Manrique, Édgar Fernando (editor).

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA, Centro de Investigación La Libertad. Kilómetro 17, vía Villavicencio-Puerto López, Meta. Código postal 502007, Colombia.

Ecopetrol S.A. Cl. 40 #24A-71, Villavicencio, Meta, Colombia

Esta publicación es resultado del proyecto convenio 5211320 Agrosavia-Ecopetrol titulado “Aunar esfuerzos técnicos, científicos, operativos y financieros para el desarrollo de la investigación del uso y manejo integral de las aguas asociadas a la producción de hidrocarburos en sistemas agropecuarios del área de influencia de Ecopetrol”.

Autores

José Guillermo Velásquez Penagos
Édgar Fernando Almansa Manrique
José Henry Velásquez Penagos
Jorge Luis Parra Arango
Diana Patricia Barajas Pardo
Hernando Flórez Díaz
Diego Ortiz Ortega
Sonia Lucía Gutiérrez Parrado
Hugo Humberto Ballesteros Chavarro

Editores

José Guillermo Velásquez Penagos
Édgar Fernando Almansa Manrique

Ecopetrol S.A.

Felipe Bayón Pardo

Presidente

Santiago Martínez Ochoa

Gerente de Desempeño Ambiental

Rubén Darío Collazos Lamilla

Gerente de Desarrollo y Producción Castilla

Sandra Yamile Álvarez Aceros

Líder Palanca de Agua

Juanita de la Hoz Herrera

Gerente de Prosperidad Social

Edwinder Bolaños Rodríguez

Ingeniero de Producción Gerencia Castilla

Yalitza Margarita Sierra Gutiérrez

Líder Ambiental Regional Orinoquia

Agrosavia

Jorge Mario Díaz Luengas

Director Ejecutivo

Mauricio Torres Munevar

Director CI La Libertad

Ariel Hurtado Rodríguez

Director Administrativo y Financiero

Sandra Tatiana Rivero Espitia

Directora de Planeación y Cooperación Institucional

ISBN: 978-958-5461-65-9

Primera edición: 500 ejemplares, Bogotá, Colombia, junio de 2020



Coordinación editorial

Astrid Verónica Bermúdez
Juan Mikán
Andrés Barragán

Corrección de estilo

Juan Mikán

Diseño y diagramación

.Puntoaparte

Impresión: DGP editores

Citación sugerida: Velásquez-Penagos, J. G., & Almansa-Manrique, E. F. (2020). *Sistemas pecuarios y aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo*. Agrosavia; Ecopetrol.

Cláusula de responsabilidad

Agrosavia y Ecopetrol no son responsables de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente:
018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co/

Agradecimientos

Esta publicación es el esfuerzo conjunto de muchas personas, a quienes agradecemos por su apoyo. En Agrosavia a Jaime José Triana Restrepo†, Julián Londoño, Camilo Sánchez, Jaime Cardozo, Guillermo Bueno, Ciro Ortiz, Gustavo Alfonso Quijano, Harold Casas, Guillermo González, Óscar Rondón, Álvaro Cárdenas, Eduardo Gil, Alejandro Cruz, Nelson Baquero, Guillermo Onofre, Miguel Peña, Otoniel Pérez, Elizabeth Casslett, Óscar Pardo, César Jaramillo, Nora Cubillos, Alejandro Murcia, Erlinda Nieto, Adonái Rojas, Tito Martínez, Franklin Robayo, David Rangel, William Correal, Ruth Marín y Xiomara Pulido. En Ecopetrol a Lupe Estupiñán, Mauricio Herrera, Wilson De Lacruz, Giovanni Annicharico, Andrés Zárate, Juan Burgos, Daniel Torregrosa, Yalitza Sierra, Javier Genaro Gutiérrez, Héctor Castaño, Héctor Manosalva, Omar Armando Baquero, José Cotello.

Así mismo, extendemos nuestro reconocimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en este proyecto.



Contenido



01

Procedimientos, métodos, indicadores, diseño y análisis de evaluación experimental del efecto del agua de producción tratada en la producción, reproducción y salud animal

P. 8



02

Conceptualización de la calidad de agua asociada a la extracción del petróleo

P. 24



03

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la producción animal de bovinos y aves de corral

P. 38



04

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la reproducción animal de bovinos

P. 54



05

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la salud animal (bovinos y aves)

P. 64



06

Conclusiones

P. 82

Resumen

En su interés sobre el efecto del consumo de las Aguas Tratadas Asociadas a la Extracción de Petróleo (ATAEP) en la producción, la reproducción y la salud de grandes y pequeñas especies animales, Agrosavia, en asocio con Ecopetrol, adelantó actividades de monitoreo y evaluación en los centros de investigación Área de Sostenibilidad en Agroenergía (ASA) y La Libertad, de Agrosavia.

Para el estudio de grandes animales, tanto en el ASA como en La Libertad se seleccionaron vacas gestantes del sistema doble propósito. Ellas fueron distribuidas en cuatro grupos, definidos como tratamientos así:

- **100% de consumo de ATAEP**
- **50% de consumo ATAEP mezcladas con 50% de agua de pozo profundo (APP)**
- **25% de consumo de ATAEP y 75% APP**
- **Testigo 100% APP**

De igual forma, en pequeñas especies (aves de corral) se utilizó el mismo diseño. Como parte de la investigación, se realizó un análisis estadístico con un diseño de modelos mixtos con medidas repetidas en el tiempo, apoyado en evaluaciones descriptivas. Donde no se permitía este análisis, se aplicó estadística no paramétrica.

Los resultados de los experimentos llevados a cabo no reflejan evidencia consistente de que haya un efecto de las ATAEP en la producción (bovinos y aves) y reproducción de las especies evaluadas (bovinos). Asimismo, en el factor salud no se evidenciaron problemas de mortalidad, morbilidad, ecto y endoparásitos para bovinos. De igual forma, no se registraron problemas de abortos o situaciones de enfermedad aparente y visible que se relacionaran con el agua que se les había suministrado a los semovientes. Los estudios macroscópicos, a su vez, no reflejan cambios que permitan definir alteraciones estructurales a nivel macro de los órganos y sistemas, y a nivel microscópico los tejidos evaluados por histopatología tampoco manifiestan situaciones alarmantes relacionadas con el consumo de ATAEP.

Introducción

El proceso de explotación de pozos petroleros trae como consecuencia la producción de grandes cantidades de agua en los puntos de extracción en funcionamiento. Este líquido es sustraído al mismo tiempo que el crudo de las profundidades de la corteza terrestre y, al estar mezclado con los hidrocarburos, debe sufrir transformaciones para aprovechar al máximo los productos oleicos que pueda contener y, por otro lado, verterlo en condiciones permitidas por las autoridades ambientales para que no afecte los cursos de agua ni la vida que ellos contengan. Sin embargo, dicho vertimiento por parte de la industria del petróleo genera situaciones de incomodidad a la comunidad, quien la considera como un efecto nocivo sobre la población bovina y avícola.

Con el propósito de evaluar el efecto del uso de agua de producción tratada en la producción, reproducción y salud animal, Ecopetrol, en convenio con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia, viene realizando trabajos de investigación básica sobre el efecto del consumo de estas aguas en grandes y pequeñas especies domésticas de sistemas productivos agropecuarios. Esto permite aproximar resultados para interpretarlos en el uso del agua de vertimiento en actividades productivas. Los estudios se han realizado en animales que consumen en forma directa este tipo de agua y se proyectarán en evaluaciones en la progenie de estos animales, pero sin consumo de agua de producción.

Así pues, si bien las aguas que salen de la zona industrial de Ecopetrol en la Superintendencia de Operaciones de Apiay y Castilla (SOC) cumplen con la norma legal ambiental para ser vertidas a un cauce superficial de agua, se viene evaluando su uso en sistemas productivos. En este sentido, las dos instituciones han logrado algunos avances al evaluar la producción de algunas especies vegetales bajo condiciones de suministro constante de ATAEP. En estas primeras investigaciones no se ha evidenciado el efecto que pueden tener los residuos de hidrocarburos contenidos en estas aguas en la producción de biomasa.

Así mismo, se han realizado investigaciones en bovinos relacionadas con el efecto del uso de ATAEP en parámetros productivos y reproductivos y de salud. Estos estudios tampoco sugieren evidencia del efecto de esta agua en las condiciones de disposición a los efluentes y en mezclas sobre los parámetros de producción, clínicos fisiológicos y reproductivos estudiados.

En definitiva, el propósito de esta publicación es presentar resultados de investigación realizados entre los años 2007 y 2015, del efecto del consumo de ATAEP en los campos Castilla y Apiay de Ecopetrol en especies domésticas pecuarias, bajo condiciones experimentales controladas en el Centro de Investigaciones La Libertad y en ASA área de agrosostenibilidad en agroenergía.

01

Procedimientos, métodos, indicadores, diseño y análisis de evaluación experimental del efecto del agua de producción tratada en la producción, reproducción y salud animal

José Guillermo Velásquez Penagos
Sonia Lucía Gutiérrez Parrado

Para comprender la investigación expuesta en esta publicación, hemos considerado en este primer capítulo contextualizar al lector en el procedimiento metodológico y en el análisis de los indicadores seleccionados tanto para grandes especies domésticas (bovinos) como para pequeñas especies (aves). En ese orden de ideas, se tratarán aspectos de la ubicación o localización del estudio, la selección de animales y el análisis de la información.



Localización

El estudio se realizó en el departamento del Meta, en los municipios de Villavicencio y Castilla; más exactamente, en el CI La Libertad de Agrosavia y en el Área de Sostenibilidad en Agroenergía (ASA) del convenio Agrosavia Ecopetrol.

Procedimientos, métodos, indicadores, diseño y análisis de evaluación experimental del efecto del agua de producción tratada en la producción, reproducción y salud animal



←
Figura 1. Visual del Centro de Investigaciones La Libertad de Agrosavia y mapa del Área de Sostenibilidad de Agroenergía (ASA).
Fuente: Google Earth (s.f.a)



Selección de animales

Para la investigación se seleccionaron vacas gestantes media sangre del sistema doble propósito y toros reproductores como especies mayores, y aves de corral de la raza lohmann de como especies menores. Los animales fueron distribuidos en los tratamientos definidos para el CI La Libertad y el ASA (ver apartado 1.2.1.1).

Diseño

Grandes animales

El estudio sobre el efecto de las ATAEP provenientes de la estación Apiay y Acacias en la producción, la reproducción y la salud de grandes animales se realizó distribuyendo bovinos al azar en cuatro grupos para cada uno de los sitios experimentales (CI La Libertad y ASA). En la tabla 1 se describen los tratamientos de suministro de agua para ellos, y en la tabla 2 se muestran las variables específicas consideradas en las diferentes evaluaciones planteadas.



Figura 2. Aves de corral de la raza lohmann brown y bovinos tradicionales del sistema doble propósito



Procedimientos, métodos, indicadores, diseño y análisis experimental del efecto del agua de producción tratada en la producción, reproducción y salud animal



Tabla 2. Variables consideradas en grandes animales

Indicador	Medición	Herramienta
Producción de leche	Litros de leche	Con apoyo del ternero
Producción de carne	Producción de carne, peso en kg	Báscula electrónica
Calidad de leche	Sólidos totales, grasa, proteínas y lactosa	Ekomilk
Calidad de la carne	Ultrasonido y <i>post mortem</i> . Evaluación macro y microscópica <i>post mortem</i>	Ecografía <i>in vivo</i> y necropsia
Calidad del ovocito	% de maduración	
Fertilización <i>in vitro</i> y desarrollo embrionario	% ovocitos fertilizados y % de blastocistos	Proceso <i>in vitro</i>
Calidad del espermatozoide	Concentración Índice de calidad espermática (ICE) (viabilidad, morfología, motilidad)	Procesos <i>in vivo</i> e <i>in vitro</i>
Calidad de órganos y tejidos	Histopatología	Necropsias, microscopía
Fisiología clínica	Signos vitales	Palpación, auscultación
	Química sanguínea	Espectrofotometría, óptica, test
	Metabolismo energético (colesterol)	Refractometría
	Metabolismo proteico (proteína)	Refractometría

Monitoreo y evaluación en la producción, la reproducción y la salud

A continuación, se describen los tipos de métodos, el muestreo y las tomas de información de los diferentes componentes evaluados:

- 1 Muestras de: aguas, leche, órganos, tejidos y fluidos corporales *post mortem*.
- 2 Indicadores de producción.
- 3 Indicadores de reproducción.
- 4 Indicadores de salud.

Muestras

● Aguas, órganos, tejidos y fluidos *post mortem*

Las muestras de agua se colectaron del agua de producción tratada en frascos ámbar de 1.000 ml con ácido ascórbico y se transportaron de forma refrigerada al laboratorio para análisis de hidrocarburos cuantificados por cromatografía,

con referencias de método EPA/8310/S.M 6440 B y el descrito en el Estándar Methods for the Examination of Water and Wastewater Edition 22nd (SM-6440C) en el Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad LIAC de la Universidad de la Salle, Colombia. El principal equipo utilizado fue un cromatógrafo de gases acoplado a detector espectrómetro de masas modelo GCMS-QP 2010 Plus, marca Shimadzu, con accesorio AOC-5000 robotizado para automuestreo.

Las muestras de tejidos se tomaron después de los sacrificios planeados para histopatología de manera que el espesor de cada muestra no excediera 1 cm. Estas fueron conservadas en una solución de fijación de formaldehído (CH₂O, SIGMA®, Chemical Company, St. Louis, USA) tamponado al 4%. A su vez, no se excedió la proporción de 1:30 con la solución, es decir, una parte de muestras en 30 de formol. Los cortes histopatológicos, la tinción y el montaje en láminas portaobjeto se llevaron a cabo en el Instituto Colombiano de Investigación Agropecuaria, y la lectura microscópica fue realizada por expertos del ICA, particulares y de Agrosavia.



Tabla 1. Tratamientos de agua utilizados en la investigación de bovinos en espacios controlados en el CI La Libertad y ASA de Agrosavia

T	Tratamiento	Especie	Agua proveniente y Lugar experimental	
T1	100% de consumo de ATAEP		Estación Apiay/CI La Libertad	Estación Acacias/ASA
T2	50% de consumo ATAEP mezcladas con 50% de agua de pozo profundo (APP)		Estación Apiay/CI La Libertad	Estación Acacias/ASA
T3	25% de consumo de ATAEP y 75% APP		Estación Apiay/CI La Libertad	Estación Acacias/ASA
T4	Testigo 100% APP		Estación Apiay/CI La Libertad	Estación Acacias/ASA



→
Figura 3.
Toma de muestras para histopatología

● **Muestras serológicas**

Para obtener el perfil hemático en bovinos, se tomaron muestras de sangre de la vena coccígea con una aguja calibre 18. La sangre se colectó en tubos con anticoagulante (EDTA) para establecer el hematocrito y las proteínas plasmáticas, y en tubos sin anticoagulante para cuantificar proteínas séricas.

Para determinar el hematocrito, se tomó sangre de los tubos con anticoagulante en capilares y se llevó a centrifugación a 4.000 rpm por 10 min (la lectura se realizó con una tabla para hematocrito). En el caso de proteínas séricas y plasmáticas, se sometieron a centrifugación los tubos con anticoagulante y sin anticoagulante a 4.000 rpm por 10 min, y se analizaron por refractometría el suero y el plasma sanguíneo obtenidos.

↓
Figura 4. Técnico en el proceso de toma de muestra de sangre de la vena coccígea, procesamiento, capilares para separación de plasma sanguíneo y refractómetro para determinación de proteínas séricas y plasmáticas



Indicadores de producción

● **Producción y calidad de la leche**

En cada uno de los tratamientos se ordeñaron las vacas una vez a la semana con el apoyo del ternero. Este era apartado el día anterior al procedimiento y, luego, el día del ordeño, se pesaba sin haber consumido leche. Una vez las vacas eran ordeñadas, se pesaba la leche obtenida y luego se les permitía a los terneros amamantar a voluntad. Después de esto, los terneros eran pesados de nuevo con el fin de determinar la producción de leche total de las vacas (figura 5a).

↓
Figura 5a. Producción de leche con apoyo del ternero



Por otro lado, para determinar la calidad de la leche se tomaron muestras del ordeño siguiendo un protocolo de manejo y se procesaron en el analizador ultrasónico de calidad de leche Ekomilk (figura 5b).

Complementariamente, y con el fin de establecer diferencias entre tratamientos por lactancia, periodo de lactancia o del año, se realizó un análisis factorial de varianza con pruebas de comparación de medias. En el caso de la evaluación de calidad, se efectuó un análisis univariado de varianza para componentes de calidad composicional de leche cruda bovina y para los factores año de evaluación y nivel de agua de vertimientos de ATAEP. El programa utilizado para este procedimiento fue el PASW 18.

↓
Figura 5b. Muestras de leche y análisis de calidad



Procedimientos, métodos, indicadores, diseño y análisis de evaluación experimental del efecto del agua de producción tratada en la producción, reproducción y salud animal

● **Producción y calidad de la carne y condición corporal**

La producción de carne se evaluó por peso en báscula electrónica, y la calidad se estableció *in vivo* por ultrasonido (figura 6). Como complemento, se determinó la condición corporal con apoyo de los visitantes en las giras técnicas, en las cuales se dispusieron los grupos de animales,

sin identificar los tratamientos, en cuatro corrales diferentes al azar. Esta evaluación se efectuó mediante una encuesta de dos preguntas sencillas: ¿cuál es el mejor grupo con respecto a su condición corporal? y ¿cuál es el orden de posición de acuerdo a la condición corporal? Por último, en forma manual se listaron en orden de mejor condición corporal los grupos de animales.



Figura 6. Evaluación de calidad de la carne por ultrasonido, técnico realizando ecografía, ecógrafo y registro ecográfico



● **Evaluación ante y post mortem**

Para clasificar la calidad de las canales bovinas se utilizó el sistema desarrollado por Amador *et al.* (1995) según los factores descritos a continuación:

- **Edad:** determinada a nivel de los cambios en la osificación de los espacios interesternales del hueso esternón, cuantificando en centímetros el tejido cartilaginoso en los puntos CAR1, CAR2, CAR3 así:

CAR1: cantidad de cartílago presente en la porción anterior más angosta del manubrio del esternón.

CAR 2: cantidad de cartílago presente en la parte más angosta entre la primera y segunda esternebra.

CAR 3: cantidad de cartílago presente en la parte más angosta entre la sexta y séptima esternebra.

- **Grado de acabado:** relacionado con la cantidad y la distribución de la componente grasa. Se expresa en los centímetros de espesor de la grasa en dos puntos del dorso de la canal:

G1: entre la séptima y octava vértebra torácica, a 1 cm del borde del corte longitudinal (por ende, se dividió la canal en dos).

G2: en la parte más sobresaliente del hueso sacro, a 7 cm del borde del corte longitudinal (por donde se dividió la canal en dos).

- **Conformación de la canal:** grado de desarrollo de la parte muscular de la canal. En este caso se evaluó el perímetro de la pierna como medida de referencia para determinar el grado de conformación de la canal a nivel de la articulación femuro-rotulina (rodilla), perfilando el contorno de la pierna, pasando por la parte media del músculo semitendinoso (muchacho) y regresando hasta la articulación. El valor es expresado en centímetros.

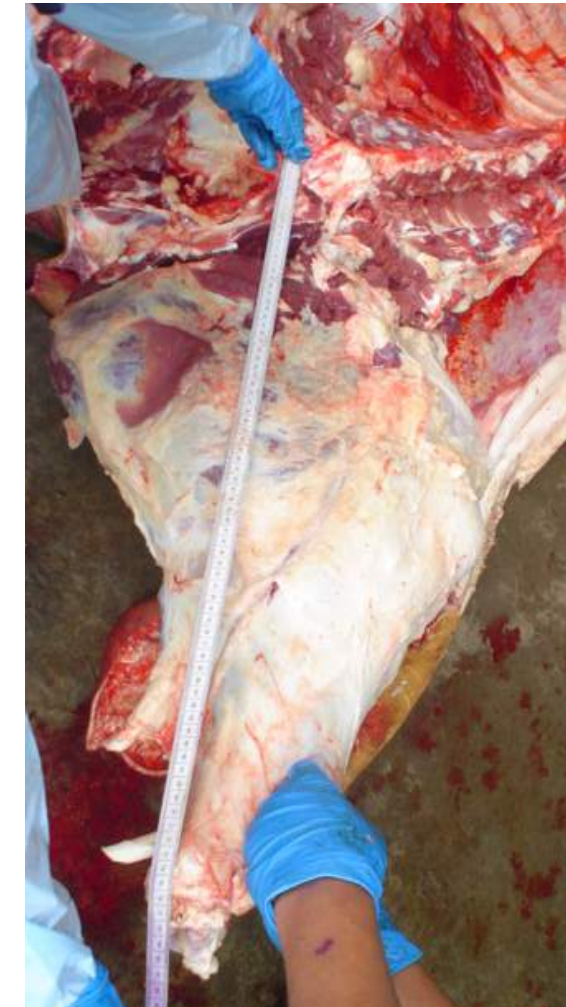
- **Condición sexual:** relacionado con la presencia en la canal de los órganos reproductivos del macho y de la hembra, esto es, vestigio del músculo detractor del pene o glándula mamaria, así como de musculatura entre el borde superior de la sínfisis púbica y el perfil de la pierna.

- **Peso de la canal:** en general para este factor no se tuvieron en cuenta el riñón, la ubre, los viriles ni la grasa interna (riñonada, escrotal, pélvica, abdominal). Esta medida se tomó en caliente.

- **Largo de la canal:** hace referencia al tamaño de la canal, y fue medido, en centímetros, desde el borde anterior y medial de la primera costilla hasta el borde anterior de la sínfisis púbica (figura 7).



Posteriormente, se categorizaron las canales tal como se describe en la tabla 3 y se clasificaron por estrellas según los criterios de la tabla 4.



Procedimientos, métodos, indicadores, diseño y análisis de evaluación experimental del efecto del agua de producción tratada en la producción, reproducción y salud animal



Figura 7. Mediciones de la canal para determinar la calidad

Categoría	5	4	3	2	1
Edad (años)	≤ 2,5	≤ 3,0	> 3-4 <	> 4-5 <	> 5
Sexo	Macho	Macho	Macho y hembra	Macho y hembra	Macho y hembra
Conformación	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente y bueno	Excelente, bueno y regular
Acabado	0 y 1	0 y 1	0, 1, 2 y 3	0, 1, 2 y 3	0, 1, 2 y 3
Peso canal y fría (kg)	≥ 230	≥ 210	≥ 200	≥ 180	-



Tabla 3. Categorización de las canales bovinas según el sistema de clasificación de carnes y canales (Amador *et al.*, 1995)

	 Sexo Machos (novillos y toretes)	 Edad Menor o igual a 2,5 años	 Peso 230 kg Mínimo	 Conformación Entre excelente y buena (E-B)	 Grado de acabado Moderado (0-1)	★★★★★
	 Sexo Machos (novillos y toretes)	 Edad Menor o igual a 3 años	 Peso 210 kg Mínimo	 Conformación Entre excelente y buena (E-B)	 Grado de acabado Moderado (0-1)	★★★★★
	 Sexo Cualquiera (novillos toros y vacas)	 Edad Entre 3-4 años	 Peso 200 kg Mínimo	 Conformación Entre excelente y buena (E-B)	 Grado de acabado Moderado (0-1-2)	★★★
	 Sexo Cualquiera (novillos toros y vacas)	 Edad Entre 4 y 5 años	 Peso 180 kg Mínimo	 Conformación Entre excelente y regular (E-B)	 Grado de acabado Moderado (0-1-2-3)	★★
	 Sexo Cualquiera (novillos toros y vacas)	 Edad 5 años o más	 Peso Cualquiera	 Conformación Entre excelente e inferior (E-B-R-I)	 Grado de acabado Entre moderado y alto (0-1-2-3)	★

→ **Tabla 4.** Sinopsis de los factores de clasificación de canales bovinos y del sistema ICTA

● **Evaluación por ultrasonido**

Los animales fueron evaluados en dos momentos, con diferencia de un semestre (tabla 5), determinando por ultrasonografía los siguientes parámetros:

- Área del ojo del músculo dorsal largo (AOL).

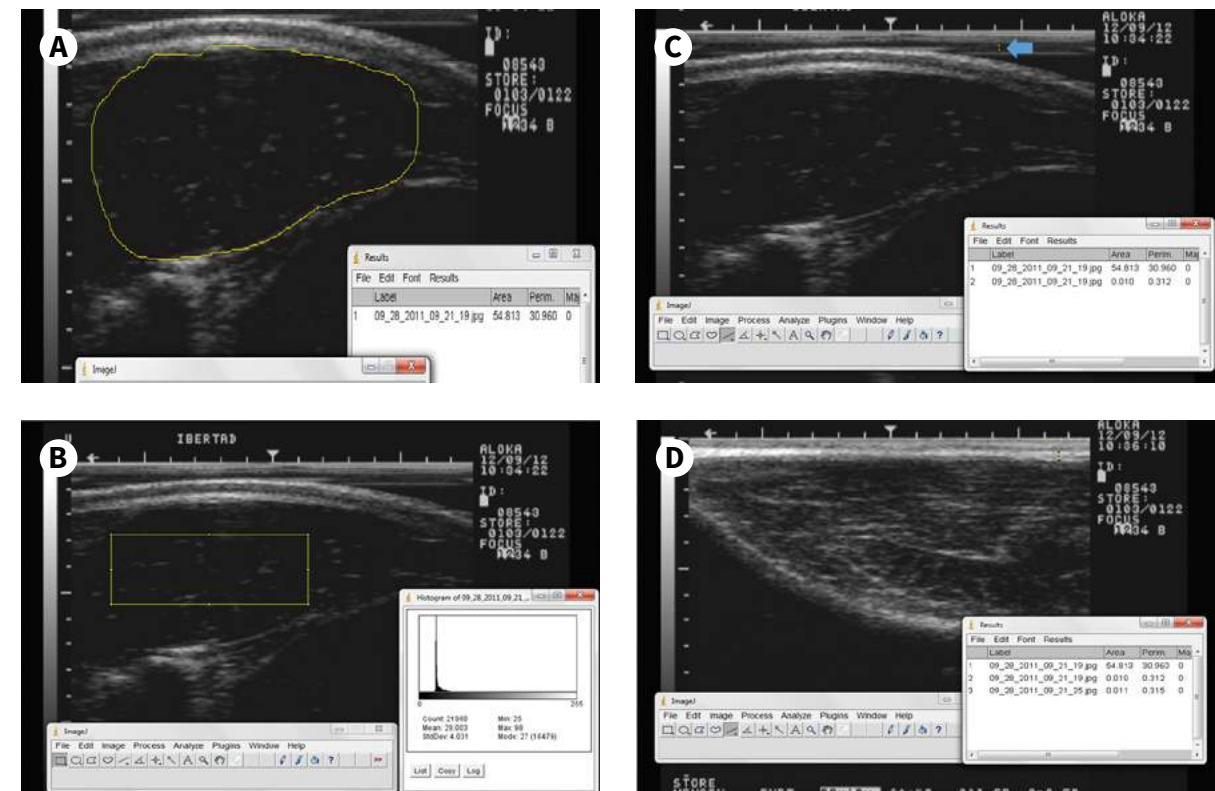
- Espesor de la grasa dorsal (EGD).
- Espesor de la grasa del anca (EGA) (figura 8).

Para este fin se utilizó un ecógrafo Aloka 500, con un transductor lineal de 18 cm y 3,5 MHz. El proceso de evaluación se dividió en dos fases, tal como se describe en la tabla 5.

Procedimientos, métodos, indicadores, diseño y análisis de evaluación experimental del efecto del agua de producción tratada en la producción, reproducción y salud animal

Toma de imágenes	<ul style="list-style-type: none"> • Inmovilización del animal. • Libre acceso y limpieza de las zonas de estudio (región de las últimas costillas en el lomo y región del anca). • Uso del acoplador acústico (Standoff Pad) para las mediciones de AOL y EGD. Estas se realizaron en el último espacio intercostal a nivel dorsal, palpando la separación entre la 12.^a y la 13.^a costilla, ubicando el transductor en un plano paralelo a ellas y detectando el movimiento del diafragma. Para el EGA se deben localizar las tuberosidades coxal e isquiática, colocando el transductor en línea recta entre estas y observando los músculos bíceps femóris, así como el inicio del glúteo medio. • Congelamiento y almacenamiento de la imagen.
Evaluación de imágenes	<ul style="list-style-type: none"> • Las medidas se evaluaron por triplicado, utilizando el software ImageJ®. • Se midió —en centímetros— el EGD ubicando el cursor aproximadamente en el tercer cuarto superior de la imagen en la interfase grasa-lomo (figura 8a). • Para la medición del AOL, en esta imagen se posiciona el cursor en cualquier punto de los límites del músculo <i>longissimus dorsi</i> para ir dibujándolo por el borde exterior, hasta llegar al punto inicial (figura 8b). Esta medida se dio en centímetros cuadrados. • Para el marmóreo se mide la intensidad del color de los píxeles presentes en una porción del músculo <i>longissimus dorsi</i> en la imagen capturada (figura 8c). • El EGA se midió —en centímetros— ubicando el cursor aproximadamente en el tercer cuarto superior de la imagen en la interfase grasa-lomo (figura 8d).

← **Tabla 5.** Actividades realizadas para las estimaciones de calidad por ultrasonido en el CI La Libertad de AgrosaviaFase



← **Figura 8.** A. Área de ojo de lomo (AOL) B. Medición de espesor grasa dorsal (EGD) C. Espesor de grasa y tonalidad del músculo dorsal D. Espesor de grasa del anca (EGA)

Utilizando el software ImageJ®

Indicadores de reproducción

● Fertilidad *in vivo*

Los indicadores reproductivos se realizaron con base en el protocolo para tal fin (fertilidad del toro *in vivo*), considerando factores como el examen físico del toro, la condición corporal, los aplomos, el perímetro testicular, los testículos, el epidídimo, el pene, el prepucio, las vesículas seminales, la próstata, las ampollas y anillo inguinales. En el examen de calidad del semen se consideró el examen macroscópico (volumen, color y aspecto) y el microscópico (motilidad masal e individual, concentración, viabilidad y anomalías primarias y secundarias). La muestra en este caso se obtuvo por electroeyaculación, previo lavado prepucial con solución salina fisiológica (figura 10).

Para evaluar la fertilidad de la hembra se hicieron evaluaciones por ultrasonido y por palpación directa, diagnosticando los tractos reproductivos gestantes y no gestantes de los diferentes tratamientos (figura 9).



Figura 9. Investigador realizando diagnóstico reproductivo de la hembra gestante



Figura 10. Evaluación del tracto reproductivo, colecta y análisis del semen del macho bovino



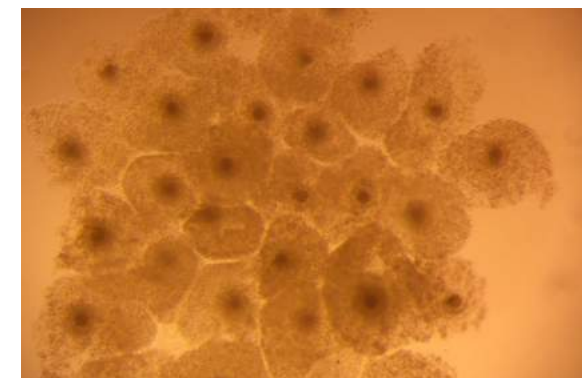
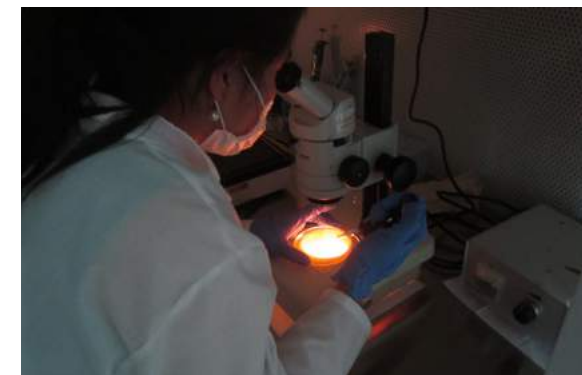
● Estudio celular

Los estudios celulares se enfocaron en el ovocito en procesos de maduración y en la evaluación de calidad del espermatozoide en procesos de fertilización y desarrollo embrionario *in vitro*. Para este fin se consideraron los siguientes conceptos y procedimientos:

- **Maduración del ovocito:** el periodo de maduración del ovocito constituye una serie secuencial de preparación nuclear y citoplasmática indispensable para la futura fecundación e inicio del desarrollo embrionario (figura 11).



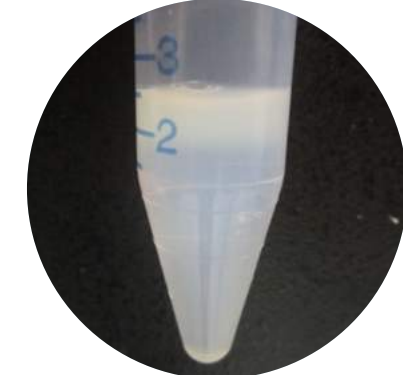
Figura 11. Vaca donadora de ovocitos, selección de ovocitos y ovocitos madurados



- **Capacitación espermática:** los espermatozoides de mamíferos no están capacitados para la fecundación del ovocito inmediatamente después de ser eyaculados, sino que requieren un periodo de tiempo en el tracto reproductivo de la hembra para adquirir la capacidad fecundante (Breitbart, 2003). Una vez en el oviducto, este provee el ambiente necesario para el transporte de los gametos y para la fecundación final del proceso de capacitación. Este procedimiento se puede realizar *in vitro* mediante la selección espermática con gradientes de Percoll y con medios de capacitación como el *sperm-TALP*.



Figura 12. Medio y gradiente de Percoll para procesos de selección de espermatozoides



- **Fecundación *in vitro*:** en el laboratorio, los ovocitos maduros se incubaron con medios de cultivo que suplían sus requerimientos nutricionales según el protocolo empleado. Una vez se encontraban en el medio de cultivo indicado (FIV-TALP), suplementado con epinefrina-hipotaurina-penicilamina, se adicionó el semen ya diluido de los toros de cada tratamiento y se dejó la muestra en incubación por un lapso de 18 horas.

Para determinar la fertilidad, se realizaron pruebas empleando tinción de fluorescencia. Con ese fin se tomaron ovocitos que habían permanecido 18 horas cocultivos con los espermatozoides de cada tratamiento y se fijaron en solución de glutaraldehído y teñidos empleando Hoeschst 33342. Los ovocitos teñidos fueron observados en el microscopio de epifluorescencia (figura 13).

- **Cultivo embrionario:** los ovocitos fecundados se transfirieron al medio de cultivo embrionario, que puede ser entre otros el KSOM o el SOF, previamente equilibrados. El microambiente para el cultivo debe encontrarse a 38,5 °C de temperatura, con 5,5% de CO₂ en aire y 7% de O₂. El cultivo se realiza por siete días, y en la evolución normal del desarrollo embrionario se debe observar: al primer día, una célula; al segundo día, dos células; al tercer día, cuatro células; al cuarto día, ocho células; al quinto día, 16 células (mórula temprana); al sexto día, el estado de mórula; al séptimo día, un blastocisto temprano; al séptimo-octavo día, un blastocisto; al octavo-noveno día, el blastocisto expandido; al noveno día, el blastocisto eclosionado, y en el noveno-décimo día, el blastocisto eclosionado expandido (figura 14).

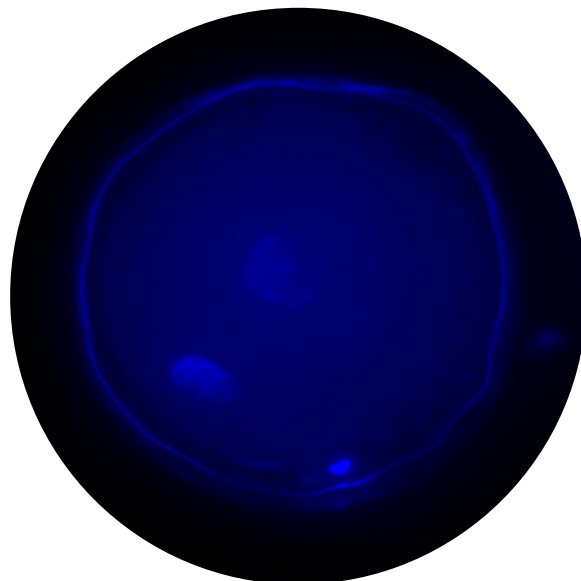
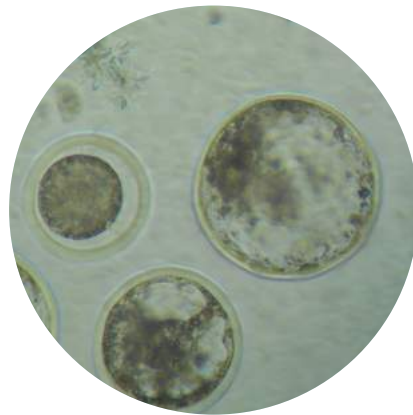
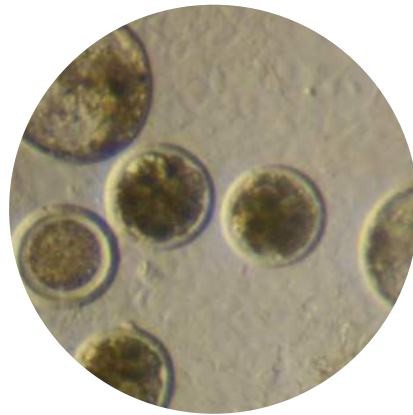


Figura 13. Ovocito fertilizado. En el interior se observan los pronúcleos femenino y masculino



Figura 14. Investigador en cámara de flujo laminar revisando producción de blastocistos



Indicadores de salud

● Signos vitales

Frecuencia cardiaca: sonido producido por el cierre de las válvulas del corazón. Se ausculta entre el tercer y el quinto espacio intercostal del lado izquierdo, contando las pulsaciones por un

minuto. La frecuencia cardiaca normal del bovino es de 60-80 latidos por minuto (figura 15).

Frecuencia respiratoria: se deben escuchar los sonidos producidos por la entrada de aire (inspiración) y salida de este (expiración). La zona donde se ausculta es desde el borde posterior de la escápula hasta la penúltima costilla y hacia el codo, formando un triángulo. La frecuencia respiratoria en bovinos es de 10-30 respiraciones por minuto normalmente (figura 15), aunque bajo condiciones de alta temperatura y humedad, como las del piedemonte llanero en época de verano, puede ser más alta.

Temperatura corporal: es una magnitud física que expresa el grado de calor. El mantenimiento de la temperatura corporal de los animales es resultado del metabolismo, un conjunto de procesos

mediante los cuales se transforman los alimentos en proteínas, hidratos de carbono y grasas y se libera energía en forma de calor (figura 15).

Este examen de signos vitales se complementó con una evaluación clínico fisiológica en la que se consideró:

- Sistema tegumentario (heridas, laceraciones).
- Sistema esquelético (conformación, estructura, resistencia).
- Sistema mamario (inflamaciones, conformación, heridas).
- Perfil hemático (hematocrito, hemoglobina).
- Metabolismo proteico (proteínas plasmáticas, proteínas séricas, fibrinogeno).
- Metabolismo energético (colesterol).
- Sistema digestivo (función ruminal, evaluada como se ve en la figura 16).



Figura 15. Auscultación y toma de temperatura rectal



Figura 16. Investigador evaluando movimientos ruminales

● Evaluación macro y microscópica de tejidos

Para este tipo de evaluación, se les realizó eutanasia planeada a los animales experimentales. Posteriormente al sacrificio, se efectuó la necropsia o evaluación macroscópica, en donde se tomaron tejidos de los diferentes órganos para envío a toxicología (evaluación química en el Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad LIAC de la Universidad de la Salle, Colombia) con el fin de determinar por cromatografía niveles de hidrocarburos aromáticos. Además, se tomaron tejidos para fijarlos en solución de formaldehído para llevar a cabo histopatología (evaluación microscópica).

Pequeñas especies

Al igual que en los bovinos, las aves fueron distribuidas al azar en cuatro grupos donde se sometieron a los mismos cuatro tratamientos de consumo de ATAEP.

En cada uno de los tratamientos se asignaron 50 individuos y se seleccionaron al azar 30 aves, las cuales se numeraron en la piel. Estos fueron los

animales de monitoreo semanal de peso, desde los 20 días de edad, y de producción de huevos. Asimismo, se efectuaron sacrificios planeados para todos los tratamientos.

Las variables consideradas en este estudio involucran mortalidad, morbilidad, desarrollo, crecimiento, peso de huevos, cambios macroscópicos y microscópicos para los cuatro tratamientos.

● Evaluación macro y microscópica

Así como en los bovinos, se realizaron sacrificios planeados. Para este caso se empleó como método de eutanasia la aplicación de aire por vía intravenosa con el propósito de inducir embolia gaseosa.

La evaluación macroscópica se llevó a cabo durante el proceso de necropsia, tomando muestras de los tejidos de los diferentes órganos para determinar mediante toxicología la posible presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos y para una posterior evaluación de histopatología.



Figura 17. Visual de la distribución de las aves por tratamiento



Figura 18. Investigadores en proceso de evaluación macroscópica



Estadística

Análisis de la información

Grandes animales

El diseño planteado se enmarca en el esquema de un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos. El análisis de la información se basó en estadística descriptiva, pruebas de comparación de medias y descripciones macro y microscópicas de tejidos por tratamiento y de presencia de residuos químicos en tejidos. Para probar la normalidad de datos se utilizaron dos métodos:

- 1 El de Anderson Darling o Ryan Joiner, según el cual, si el valor de probabilidad (P) de la prueba es mayor a 0,05, se considera que los datos son normales.
- 2 Una gráfica de probabilidad normal, donde los puntos deben quedar dentro del intervalo de confianza para indicar que la distribución es normal.

Las variables que no se distribuyeron normalmente fueron analizadas con estadística no paramétrica. Para evaluar los "eventos" (sí o no) en cada tratamiento, y dado que se trata de variables categóricas, se utilizó el procedimiento GENMOD del paquete estadístico SAS®, el cual aplica la prueba chi cuadrado y la regresión logística con el siguiente modelo (SAS, 1995):

$$E_i = \log[E_i / (1 - p_i)] = m + O_i$$

Donde:

E_i : evento detectado en cada tratamiento.

m : promedio poblacional de la proporción en la escala logarítmica.

O_i : efecto del origen de la muestra.

Por otro lado, para evaluar el efecto del tratamiento sobre los niveles de producción o presencia de algunos compuestos, y dado que se trata de variables continuas, se empleó el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS® (versión 9.0), bajo un diseño completamente al azar con medidas repetidas en el tiempo utilizando el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + M_j + (TM)_{ij} + EE_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : nivel de producción o compuestos del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo momento.

μ : promedio poblacional de la variable respuesta.

T_i : efecto del tratamiento i, con $i = 1, 2, 3$ y 4.

M_j : efecto del momento j, con $j =$ año, temporada, entre otros.

$(TM)_{ij}$: interacción de los efectos principales.

EE_{ij} : error asociado al i-ésimo tratamiento en el j-ésimo momento.

Se comprobaron los supuestos del modelo, esto es, i) material experimental homogéneo y ii) el error experimental es una $VAI \sim N(0; \sigma^2)$ (Shapiro y Wilk, 1965). Asimismo, se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias. Para el análisis de la información de calidad de la canal, se analizaron los datos obtenidos utilizando estadística descriptiva. El peso de la canal caliente fue ajustado a los 30 meses. Por otra parte, para analizar los datos de las variables AOL, EGD y EGA, estos fueron ajustados al peso promedio de los animales para cada evaluación con el fin de normalizarlos. Luego, en la evaluación del efecto del tratamiento sobre dichas variables ajustadas y marmóreo se aplicó el procedimiento GLM (*General Linear Model*) del paquete estadístico SAS® (versión 9.0). La prueba de Tukey sirvió para la comparación de medias, y la variable peso de cada individuo por evaluación fue utilizada como una covariable dentro del siguiente diseño (Montgomery, 1991):

$$Y_i = \mu + \alpha_i + \beta + \epsilon \epsilon_i$$

Donde:

Y_i : variables respuesta del i-ésimo tratamiento.

μ : promedio poblacional de las variables de respuesta AOL, EGD, EGA y marmóreo.

α_i : efecto del sistema del tratamiento i, con $i = 1, 2, 3$ y 4 (1 = 100%, 2 = 50%, 3 = 25%, y 4 = testigo).

β : covariable peso del individuo en el muestreo.

$\epsilon \epsilon_i$: error experimental asociado al i-ésimo tratamiento.

Aquí también se comprobaron los supuestos del modelo i) material experimental homogéneo, ii) el error experimental es una $VAI \sim N(0; \sigma^2)$, y iii) la covariable es independiente de la estructura de tratamiento (Shapiro y Wilk, 1965). Para un mejor entendimiento, el análisis estadístico está descrito para algunas variables que se exponen en los siguientes capítulos, donde se expresan en resultados y discusión.

02

Conceptualización de la calidad de agua asociada a la extracción del petróleo

José Guillermo Velásquez Penagos
Édgar Fernando Almansa Manrique

La explotación de hidrocarburos genera una gran cantidad de agua proveniente de los yacimientos o de la reinyección (recobro mejorado), denominada agua de producción. Este capítulo da a conocer el origen de este líquido y la cantidad que se podría extraer por cada barril de crudo. Además, se exponen los tratamientos por los que debe pasar para alcanzar las características fisicoquímicas que no generan impacto en el medio ambiente, cumpliendo la normatividad que regula la disposición final. Por otra parte, se describen algunos parámetros fisicoquímicos del agua producida por Ecopetrol utilizada en la investigación desarrollada.

Cuando se realiza la perforación de los yacimientos, se extraen petróleo, gas y agua de producción (Ecopetrol, 2014). De esta manera, la industria de hidrocarburos trae como consecuencia la producción de grandes cantidades de agua que se caracteriza por ser la mezcla de varios componentes, principalmente hidrocarburos aromáticos polinucleados (HAP), metales pesados, fenoles, sales disueltas, etc. (Guerrero, Escobar y Ramírez, 2005; Pardo, Rojas, Roldán, Brandão y Almansa, 2017).

El agua que se extrae del subsuelo durante la explotación petrolera proviene de la formación geológica del yacimiento (De Araújo, 2011), además de la reutilizada para recobro mejorado (Ecopetrol, 2014). Según Martel, Foroughbakchik y Benavides (2016), “se cree que el agua que sale del yacimiento se originó por medio de la filtración o infiltración meteórica en el subsuelo y quedó atrapada en formaciones geológicas, lo que explica que este fluido no participe en el ciclo hídrico”.

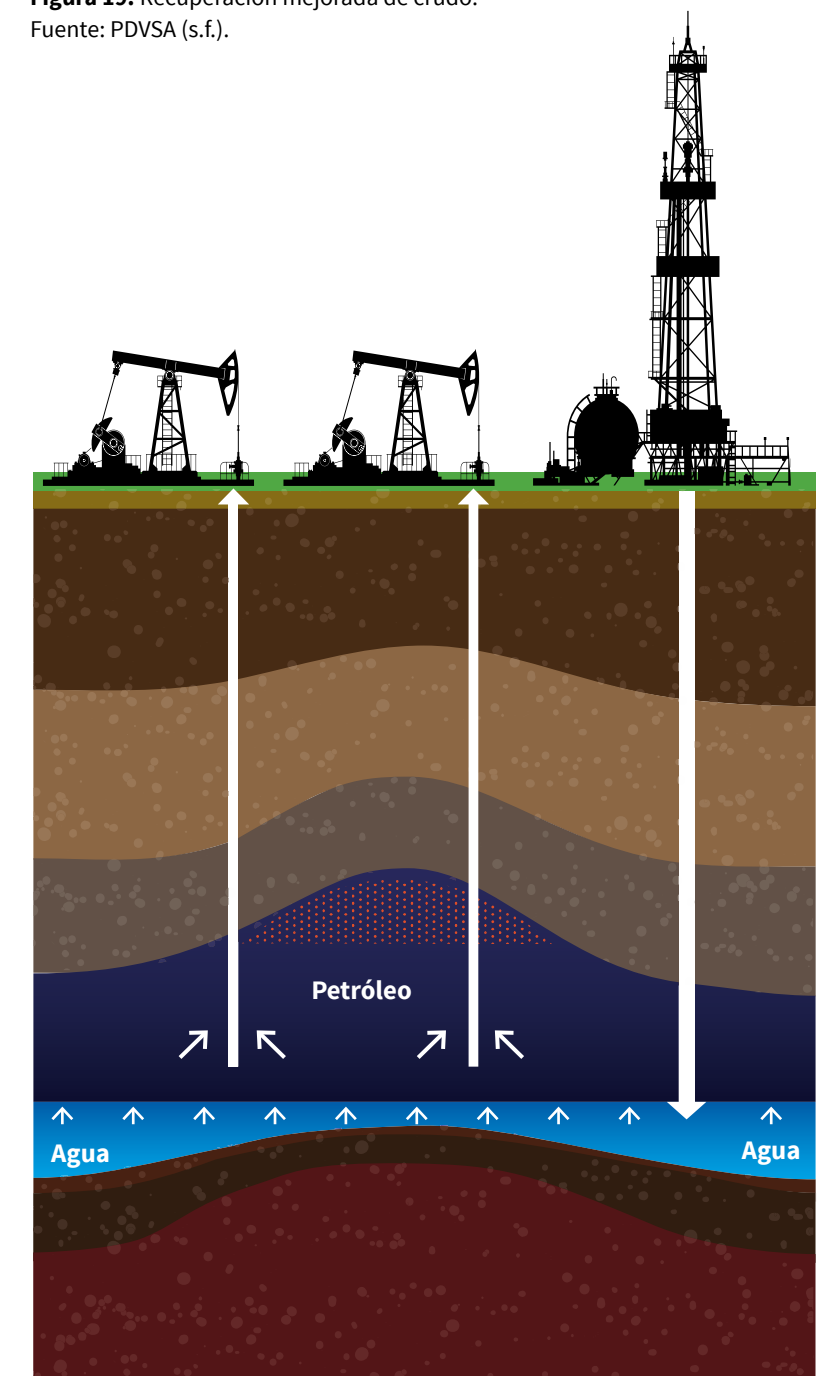
Se estima que por cada barril de petróleo se producen 13 barriles de agua, lo que representa una relación agua-petróleo (RAP) de 13:1. Sin embargo, el RAP varía de acuerdo a las características del yacimiento debido a que la producción de agua aumenta con la vida productiva del pozo, de modo que se podría llegar a alcanzar hasta el 98% de fluidos producidos (Castiblanco, 2017). Esto se explica por el hecho de que la explotación continua de hidrocarburos en los pozos petroleros disminuye la presión del yacimiento, con reducción en la recuperación de crudo, lo que ha obligado a las industrias petroleras a implementar nuevas técnicas para maximizar la extracción en yacimientos maduros.

En esa medida, actualmente ha cobrado gran importancia en Colombia la reinyección de agua, también denominada recobro mejorado (Ecopetrol, 2018), que permite mantener la presión y barrer el petróleo de los poros del yacimiento hacia el pozo (Sánchez, 2013) (figura 19). Este proceso incrementa la RAP y se ve reflejado en las proyecciones de Ecopetrol (2014), donde reporta que la producción de agua en los campos colombianos podría llegar a presentar un RAP de 16:1 para el año 2020.



Figura 19. Recuperación mejorada de crudo.

Fuente: PDVSA (s.f.).



Conceptualización de la calidad de agua asociada a la extracción del petróleo



Sistema de tratamiento de aguas de producción (STAP)

El agua de producción, al contener trazas de hidrocarburos, debe pasar por tratamientos específicos que permitan recuperar la mayor cantidad de sólidos importantes para la industria. Esto permite un mayor aprovechamiento de los hidrocarburos reduciendo las concentraciones en el agua (Arthur, Langhus y Patel, 2005), de modo que se puedan cumplir los requisitos legales (Rodríguez, Morais y Alves, 2013), evitando así cualquier tipo de afectación ambiental.

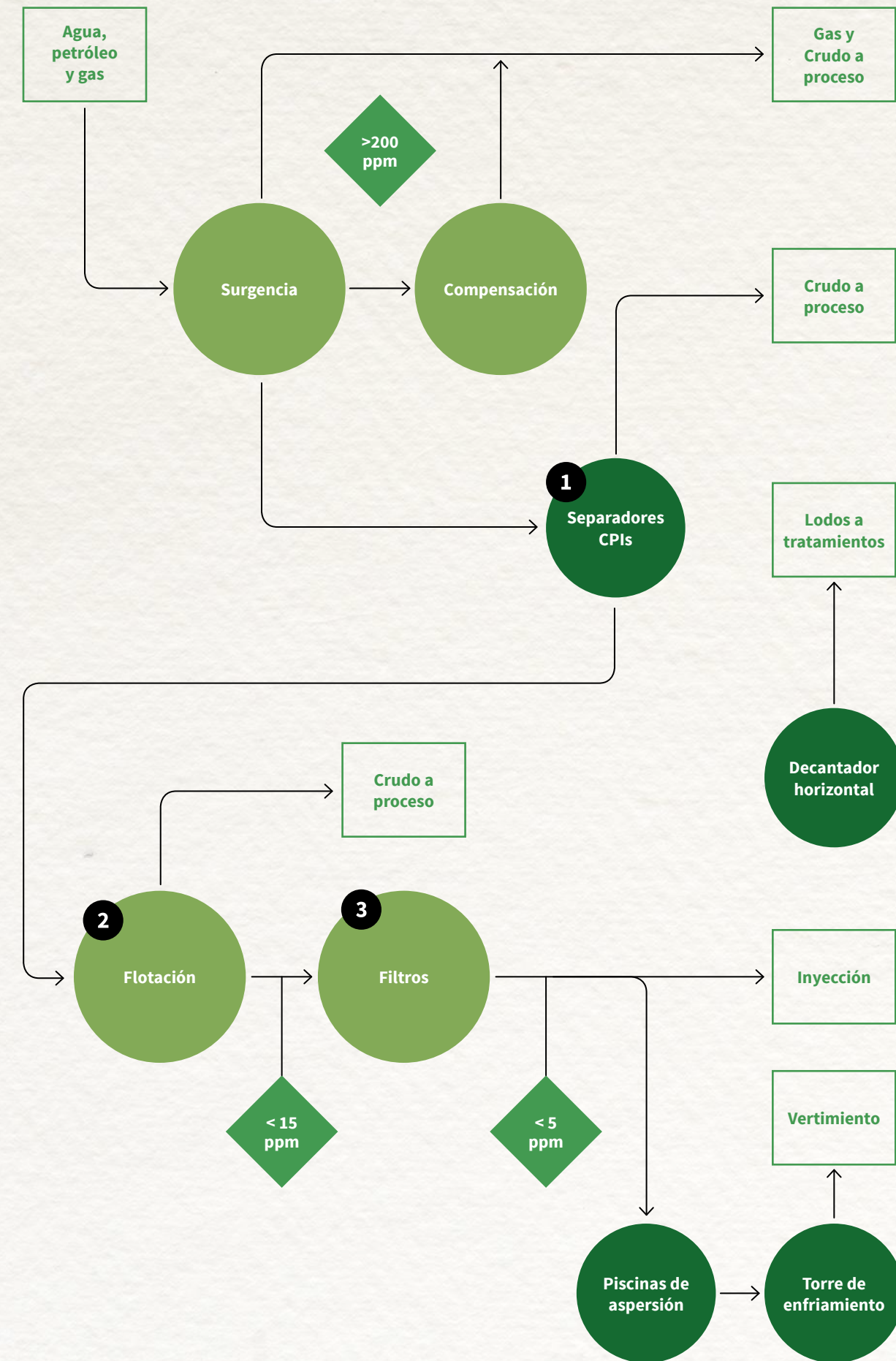
Las técnicas de tratamiento del agua dependen de la composición, la producción, la ubicación, la cantidad y la disponibilidad de los recursos (Arthur *et al.*, 2005). Según Mesa, Orjuela, Ortega y Sandoval (2018), “en Colombia, la mayor parte del tratamiento para el agua residual de la industria petrolera se concentra en tratamientos primarios ya sea de tipo físico, químico o biológico, con tecnologías convencionales como desengrasado, remoción de compuestos orgánicos, evaporación y tratamientos con membranas bajo cambios de presión, que poco a poco se han venido optimizando en algunos casos, ya sea de manera individual o en configuraciones, también llamados sistemas híbridos” (p. 95).

De esta manera, Ecopetrol cuenta en la estación Acacias, del campo Castilla, con un sistema de tratamiento de aguas de producción (STAP) donde se tienen separadores de aceites y grasas en placas CPI, celdas de flotación, filtros cáscara de nuez, decantadores horizontales o barcazas y piscinas de estabilización. Todo esto funciona bajo la regulación de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial (Cormacarena) mediante la Resolución 1012 expedida en el año 2016 (figura 20).

Después de todos los procesos iniciales de separación para la recuperación de crudo y gas, el agua llega al STAP, donde se realizan principalmente tres fases con miras a la recuperación de los productos oleicos y sólidos:

- 1 El tratamiento inicia en los separadores de grasas y aceites CPI.
- 2 El agua pasa por celdas de flotación donde se producen burbujas de gas que entran en contacto con el crudo, desplazándolo hacia la superficie para ser separado (Gomes, 2009). Este efecto se produce debido al incremento de la densidad de los dos fluidos al juntar las burbujas de gas con las del aceite (Jaimes y Pico, 2009).
- 3 El agua continúa su recorrido por unidades en las que se retienen las impurezas a través de filtros a base de cascarilla de nuez negra, que tiene propiedades oleofílicas (preferencia hacia el crudo), permitiendo la filtración del agua de producción. Este producto, sin ningún tipo de tratamiento o adición de químicos, ha presentado capacidades de remoción de crudo en plantas de filtración del orden de 90-99% (Villegas, Arcila, Ortega, Franco y Cortés, 2017).

El fluido sobrenadante (aceites o grasas) de los filtros es dirigido a los decantadores horizontales o barcazas, mientras que el agua continúa su recorrido hacia las piscinas de aspersión y torres de enfriamiento, donde se regula la temperatura.



Conceptualización de la calidad de agua asociada a la extracción del petróleo

← **Figura 20.** Diagrama del STAP de Ecopetrol en la Estación Acacias **Fuente:** Modificado de Gobernación del Meta (2013), según información de la Resolución 1012 de 2016 de Cormacarena.



Mecanismos utilizados para la disposición final

El volumen total de agua de producción generado por la industria de hidrocarburos para el año 2018 fue de aproximadamente 382,2 millones de metros cúbicos, es decir, cerca del 91% del volumen total del agua residual producida (420,5 millones de metros cúbicos) por las operaciones de Ecopetrol (Ecopetrol, 2018).

Por las características y la gran cantidad de agua de producción generada, las autoridades ambientales y energéticas y las industrias de hidrocarburos han surgido e implementado diversos mecanismos de usos o destinos finales que permiten el mayor aprovechamiento del recurso, minimizando el impacto ambiental. De esta manera estrategias como inyección de agua, vertimientos, asignación a otras industrias, agricultura e incluso almacenamiento han sido empleadas en Colombia (Mesa *et al.*, 2018).

En particular, el *disposal* y el recobro mejorado son dos mecanismos que involucran técnicas de manejo en el subsuelo y alternativas de reúso del agua para la recuperación de crudo. Estos se llevan a cabo mediante los pozos perforados para la extracción del petróleo (Mesa *et al.*, 2018); sin embargo, en el *disposal* el agua se inyecta en acuíferos inferiores o superiores al yacimiento productor, mientras que en el recobro mejorado, como se señaló anteriormente, se usa el agua producida en un campo para reinyectarla allí mismo, pero a presión, para que suba la tasa diaria de recuperación del petróleo (Ecopetrol, 2014).

Otras alternativas para la reutilización de agua en las industrias petroleras son la petroquímica, la preparación de lodos de perforación, el mantenimiento de pozos, los sistemas contraincendios, el almacenamiento, entre otros (Ecopetrol, 2018).

Por otra parte, la calidad del agua de producción en el departamento del Meta ha presentado características fisicoquímicas que permiten implementar el reúso en sistemas agropecuarios como otra alternativa para la gestión de aguas residuales, regulada por la normatividad ambiental (Resolución 1207 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Actualmente, el campo Castilla cuenta con un permiso por parte de la autoridad ambiental para reúso hasta de 90.000 barriles por día (BWPD) para el proyecto conocido como ASA (Ecopetrol, 2018), donde se trabaja con sistemas agroforestales y pecuarios (figura 21).



Figura 21. Reúso del agua de producción en sistemas forestales y pecuarios del ASA
Fuente: Gloria Pastrana, Guillermo González.



Características del agua de producción generada y tratada por Ecopetrol

Si bien se conoce que la intervención de las industrias de hidrocarburos en las diferentes zonas del mundo ha generado gran polémica por el efecto negativo que pueden crear sobre los recursos naturales o el medio ambiente, así mismo las empresas han tomado diversos mecanismos que de manera integral buscan reducir y controlar todas las acciones que repercuten en el ambiente (Ecopetrol, 2018).

Entre los efectos nocivos que se le atribuyen a la explotación petrolera se encuentra la producción de gran cantidad de agua. Muchos estudios caracterizan este líquido por sus contenidos de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), metales pesados, minerales (Almansa, Velásquez y Rodríguez, 2018; Manfra *et al.*, 2010; Sánchez, 2013), fenoles (Pardo *et al.*, 2017), entre otros. Sin embargo, también se ha reportado que sus características finales varían de acuerdo al origen y las tecnologías que se implementen para su tratamiento (Martel *et al.*, 2016).

Para entender mejor los resultados del estudio realizado a propósito de las ATAEP, es importante mencionar que el agua de producción de la estación Acacias fue evaluada en el ASA, mientras que la generada en la estación Apiay se monitoreó en el CI La Libertad. De esta manera, los resultados se muestran como agua de producción ASA y CI La Libertad, haciendo referencia al agua de producción de las estaciones Castilla y Apiay, respectivamente.

En el ASA desde hace varios años se vienen adelantando diversos estudios referentes al agua de producción de la estación Acacias, dentro de los cuales se ha utilizado este fluido en el riego de sistemas agroforestales y praderas para pastoreo de bovinos mediante un sistema de riego superficial por gravedad. Esto obedece al propósito de las instituciones vinculadas en este experimento de mitigar el impacto ambiental y generar nuevas alternativas innovadoras con un enfoque sistémico, que promuevan el desarrollo del sector agropecuario mediante el aprovechamiento de los recursos.



Figura 22. ASA: caños, laguna de amortiguación y áreas bajo riego
Fuente: Google Earth.

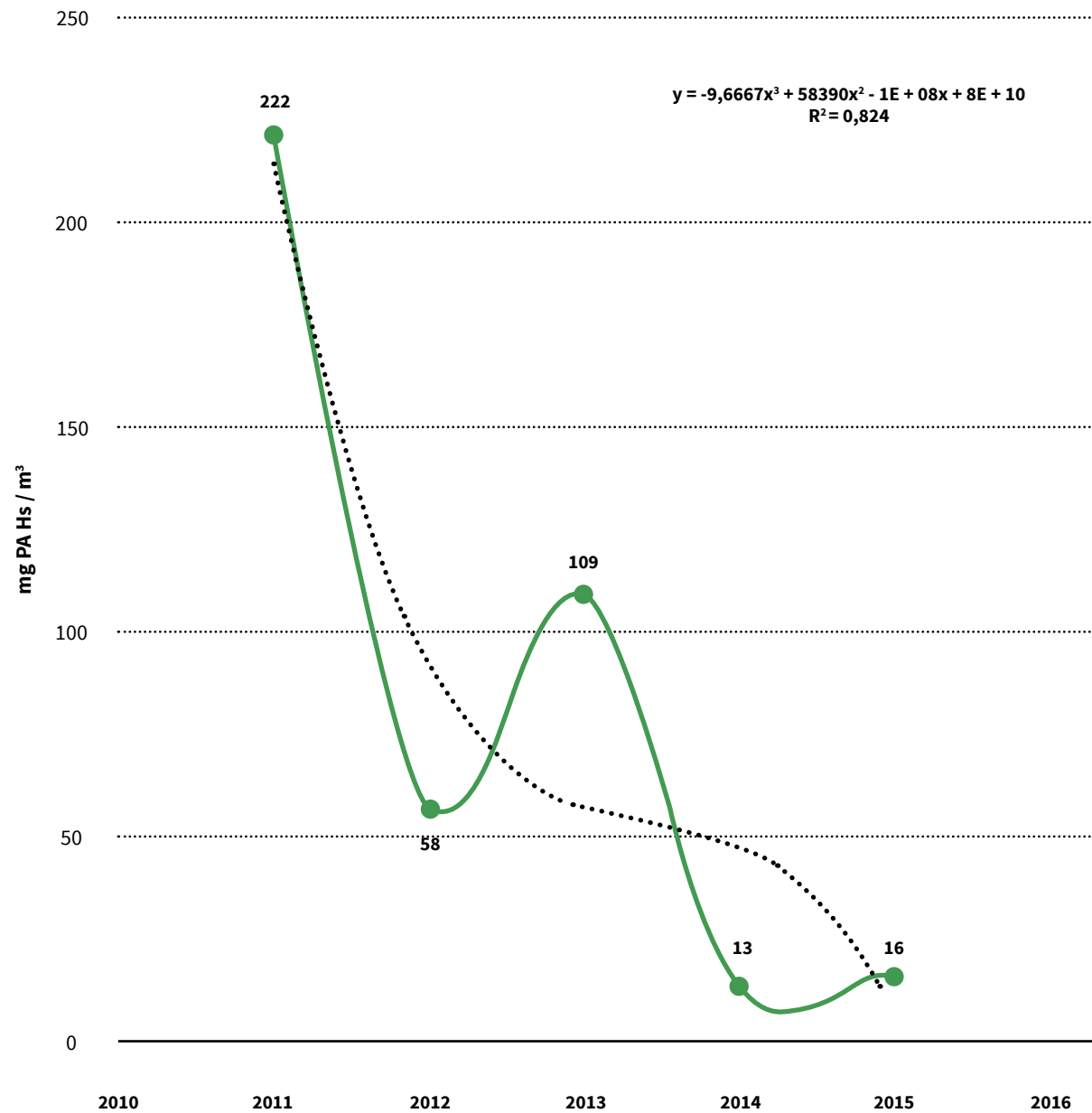
Concentraciones de hidrocarburos en ATAEP para sistemas de producción pecuaria

Al evaluar la concentración media anual de PAH entre 2011 y 2015 en el agua suministrada para el ASA y el CI La Libertad, se puede observar que el año fue una fuente significativa de variación asociada a la proporción de PAH ya que las concentraciones anuales de PAH decrecieron con respecto al valor del primer año de evaluación en cada localidad (figura 23). Estos cambios descendentes se asocian

con las estrategias implementadas de mejora en el tratamiento de las aguas de producción como la construcción de barcazas en la parte final de disposición de aguas al ASA.

Parámetros fisicoquímicos de las ATAEP en el ASA

Para el análisis de los diferentes tratamientos de ATAEP, se consideró información durante 216 días de indicadores fisicoquímicos para alcalinidad, dureza, nitritos, amonio no ionizado y amonio ionizado, por 280 días para el parámetro de conductividad y durante 140 días para temperatura y pH.



→ **Figura 23.** Tendencia de variación en la concentración media anual de PAH entre 2011 y 2015 (junio) en aguas de producción evaluadas en el ASA

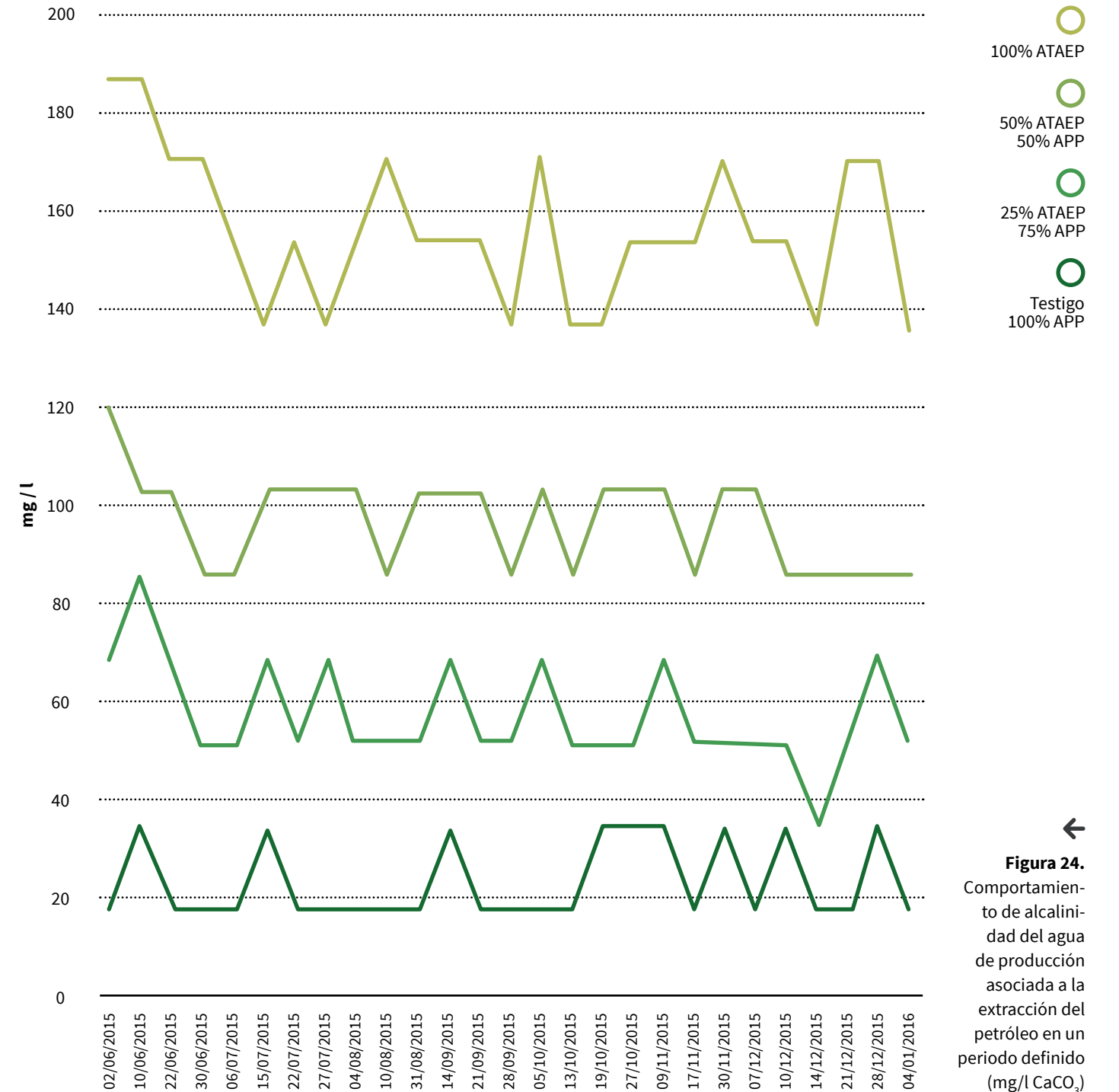
Alcalinidad

La alcalinidad tiene la capacidad de neutralizar ácidos o aceptar protones y está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Por lo tanto, este parámetro se toma como un indicador de dichas especies iónicas.

En la figura 24 se puede observar el comportamiento de las concentraciones de alcalinidad determina-

das por colorimetría en un periodo de 216 días para cada tratamiento. Los resultados indican que las aguas del tratamiento 100% presentan los mayores valores, seguido por el 50%, el 25% y el testigo respectivamente. También podemos apreciar que no hay superposiciones entre los tratamientos. Estos registros de alcalinidad se enmarcan en los rangos permisibles, por ejemplo, para el desarrollo y supervivencia de los peces (entre 20 y 350 mg/l, según Rodríguez y Anzola, 2001).

Conceptualización de la calidad de agua asociada a la extracción del petróleo



← **Figura 24.** Comportamiento de alcalinidad del agua de producción asociada a la extracción del petróleo en un periodo definido (mg/l CaCO₃)

Dureza





Las aguas subterráneas procedentes de acuíferos con composición silicatada (p. e., granitos) se consideran blandas, es decir, con cantidades muy bajas de sales de calcio y magnesio, lo que sucede con el agua testigo que procede de un pozo profundo. Por otro lado, el agua denominada como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales. Esto sitúa al agua de producción y sus mezclas dentro de aguas de dureza intermedia a agua dura.

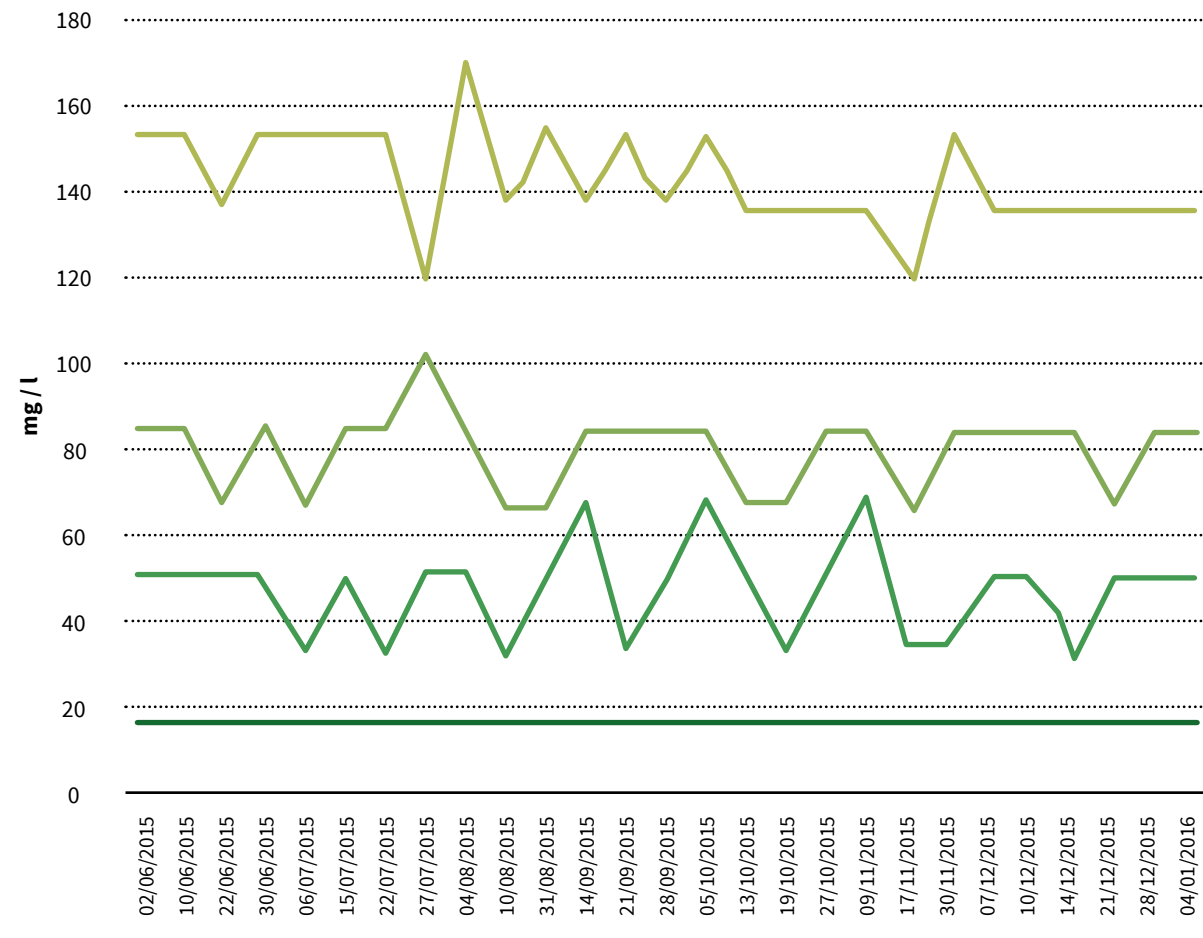
En las aguas de distribución se visualiza la misma tendencia que para la alcalinidad, esto es, cada tratamiento presenta un intervalo de fluctuación, sin superponerse. El tratamiento 25% oscila entre 34,2 y 68,5 mg/l; el 50%, entre 68,4 y 85,5 mg/l, y el 100%, entre 119,7 y 153,9 mg/l. Dependiendo de las cantidades de la carga de sales de calcio y magnesio que tenga en determinado momento el agua de producción, se observará la fluctuación descrita (figura 25).

Ahora bien, si en el agua se encuentra dióxido de carbono, este incrementará la habilidad del líquido para disolver el calcio y el magnesio. Este tipo de dureza es llamada “dureza temporal o de carbonatos”. Por otro lado, la dureza permanente o no carbonatada está dada por cloruros y sulfatos de calcio y magnesio, y no puede ser removida por la simple ebullición.

Es común comparar el valor de la alcalinidad en una muestra de agua con su valor de dureza, ambos expresados en mg CaCO₃/l. En el caso de que el valor de la dureza del agua sea mayor que el de la alcalinidad total, la diferencia entre ellos se conoce como “dureza de no carbonatos”, mientras que si la dureza es menor o igual a la alcalinidad se trata de una muestra de agua con “dureza de carbonatos”.

En este sentido, al observar que los valores de dureza encontrados en los diferentes tratamientos son iguales o inferiores a los reportados para alcalinidad, se puede afirmar que la dureza de las ATAEP es de carbonatos, con niveles permisibles para, por ejemplo, el cultivo de peces.

-  100% ATAEP
-  50% ATAEP
50% APP
-  25% ATAEP
75% APP
-  Testigo
100% APP



→ **Figura 25.** Comportamiento de la dureza del agua de producción asociada a la extracción del petróleo en un periodo definido (mg/L CaCO₃)

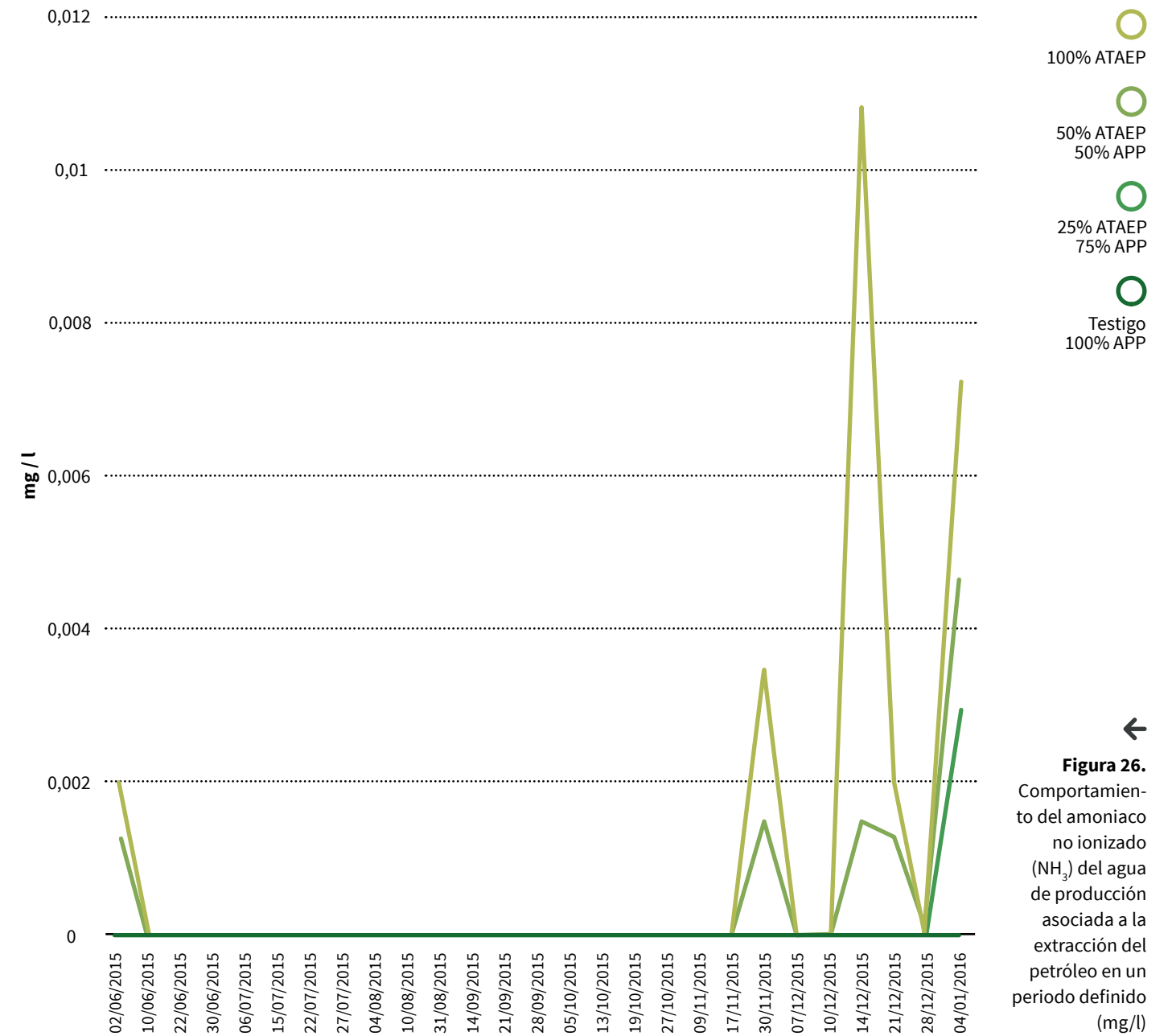
Amoniaco no ionizado (NH₃)

El NH₃ forma parte de los volúmenes de residuos que son eliminados de las aguas de la industria del petróleo (Gomes de Lima *et al.*, 2008). Sin embargo, los valores registrados en las aguas de producción en la estación Acacias son mínimos, casi nulos (figura 26).

En el agua, la suma de NH₃ y NH₄⁺ constituye el amoníaco que se mide analíticamente (considerando que el NH₃ sin ionizar es altamente tóxico para los peces y la vida acuática). Al analizar las aguas de los distintos tratamientos, se encontraron unos

ligeros aumentos de este parámetro hacia el inicio y hacia el final de los tratamientos 100% y 50%.

Es de aclarar que las aguas testigo no reportaron valores para este parámetro, por lo que la presencia de este elemento está relacionada con el contenido de amoníaco no ionizado en las aguas de producción, el cual estuvo muy por debajo del límite de tolerancia. De esta manera las aguas de producción no representaron riesgo, por ejemplo, para la salud de las especies acuáticas, para las cuales los valores de amonio deben fluctuar entre 0.01 a 0.1 ppm (valores cercanos a 2 ppm son críticos) (Cantor, 2007) (figura 26).



Conceptualización de la calidad de agua asociada a la extracción del petróleo

← **Figura 26.** Comportamiento del amoníaco no ionizado (NH₃) del agua de producción asociada a la extracción del petróleo en un periodo definido (mg/l)

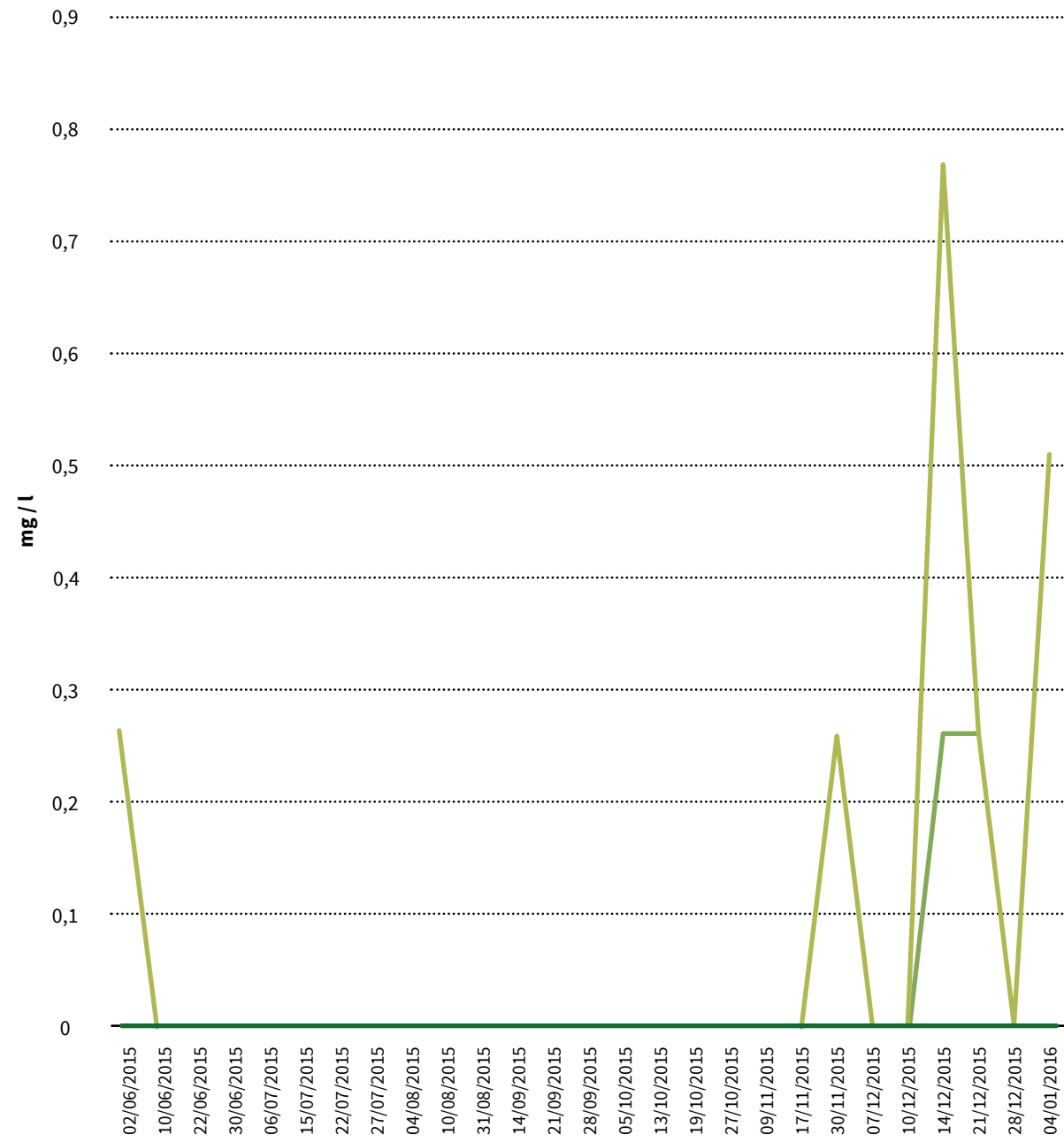
Nitritos (NO₂)

Los muestreos realizados para este parámetro por el método utilizado no evidenciaron presencia de nitritos en ninguno de los tratamientos o mezclas hechas. Esto se debe a que los análisis se hicieron en aguas que no tenían peces, mientras que tales elementos son un producto del metabolismo de los organismos bajo cultivo y son liberados durante la descomposición que hacen las bacterias sobre la materia orgánica.

Amonio (NH₄⁺)

El medio ambiente acuático hace que la excreción de nitrogenados de peces sea un proceso sencillo y de baja demanda de consumo de energía. El amoníaco es el principal de estos residuos, evacuado por los peces a través de branquias directamente en el agua. La proporción relativa en el agua de NH₃ y NH₄ depende de la temperatura del agua y del pH. Para nuestro caso, como se observa en la figura 27, en el agua testigo no se evidencia reporte, mientras que el agua de producción 100% y las mezclas de 50% y 25% demuestran, al inicio del ejercicio y a finales de este, algunos niveles de presencia que no son perjudiciales.

- 100% ATAEP
- 50% ATAEP
50% APP
- 25% ATAEP
75% APP
- Testigo
100% APP



→ **Figura 27.** Comportamiento del ion amonio en el agua de producción asociada a la extracción del petróleo en un periodo definido (mg/l NH₄⁺).

pH

En las aguas en estudio se evidenciaron valores entre 6,5 y 7,6 que, para peces por ejemplo, estarían dentro de los rangos de confort (figura 28).

Concentraciones de conductividad eléctrica determinadas por multiparámetros

En la figura 29 se observa claramente que la mayor conductividad está dada para el tratamiento de

ATAEP de 100%, seguido de los de 50%, 25% y testigo respectivamente. La relación entre las concentraciones para cada tratamiento y la conductividad llega a ser proporcional, de tal manera que, al aumentar la concentración de agua de producción, su valor de conductividad se incrementa de igual forma. Esto sugiere que a mayor carga electrolítica, mayor conductividad, y funciona como un indicador que verifica además la diferenciación de los tratamientos. A pesar de estas variaciones, en cualquier caso estas aguas pueden ser consideradas aptas para irrigación ya que no superan los 750 μS/cm a 25 °C (Rodríguez, 2009).



Figura 28. Comportamiento del pH del agua de producción asociada a la extracción del petróleo en un periodo definido

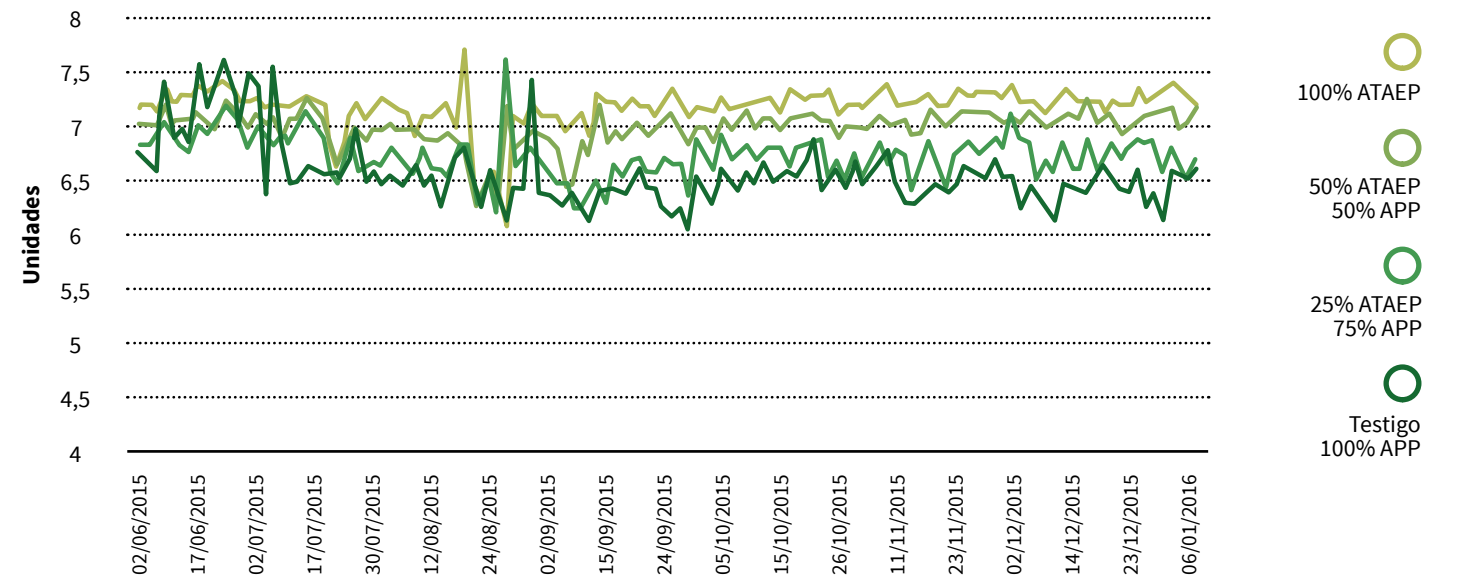
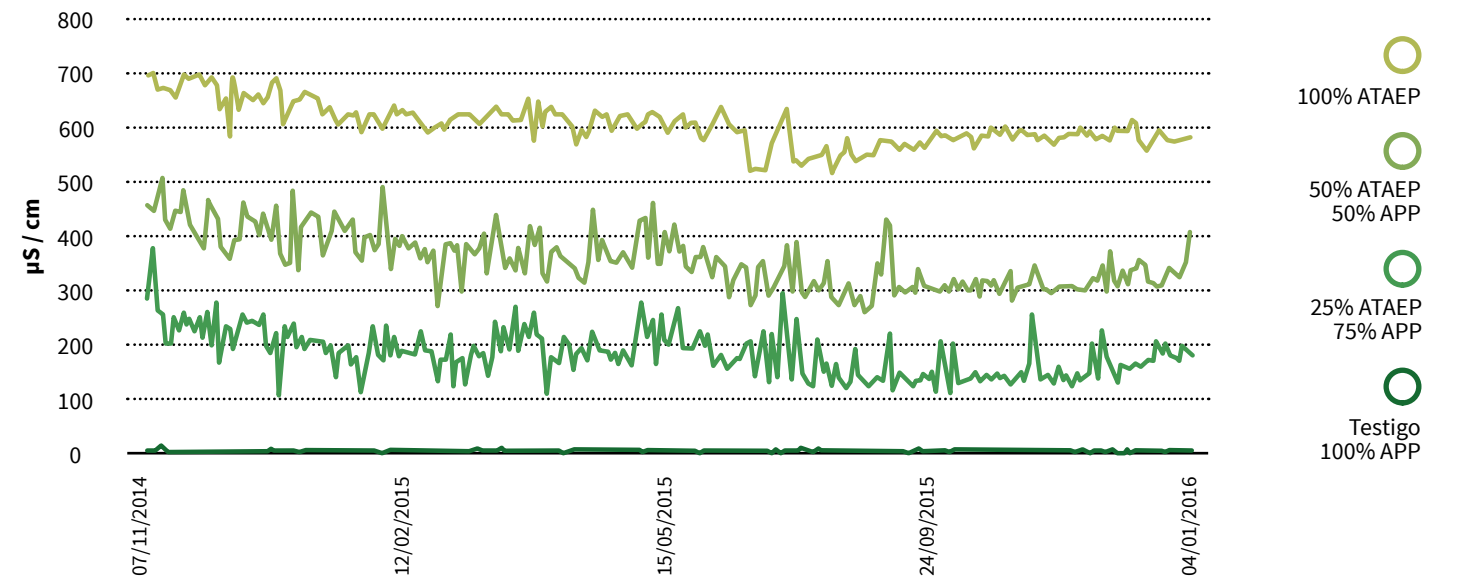


Figura 29. Comportamiento de la conductividad del agua de producción asociada a la extracción del petróleo en un periodo definido (μS/cm)



- 100% ATAEP
- 50% ATAEP
50% APP
- 25% ATAEP
75% APP
- Testigo
100% APP

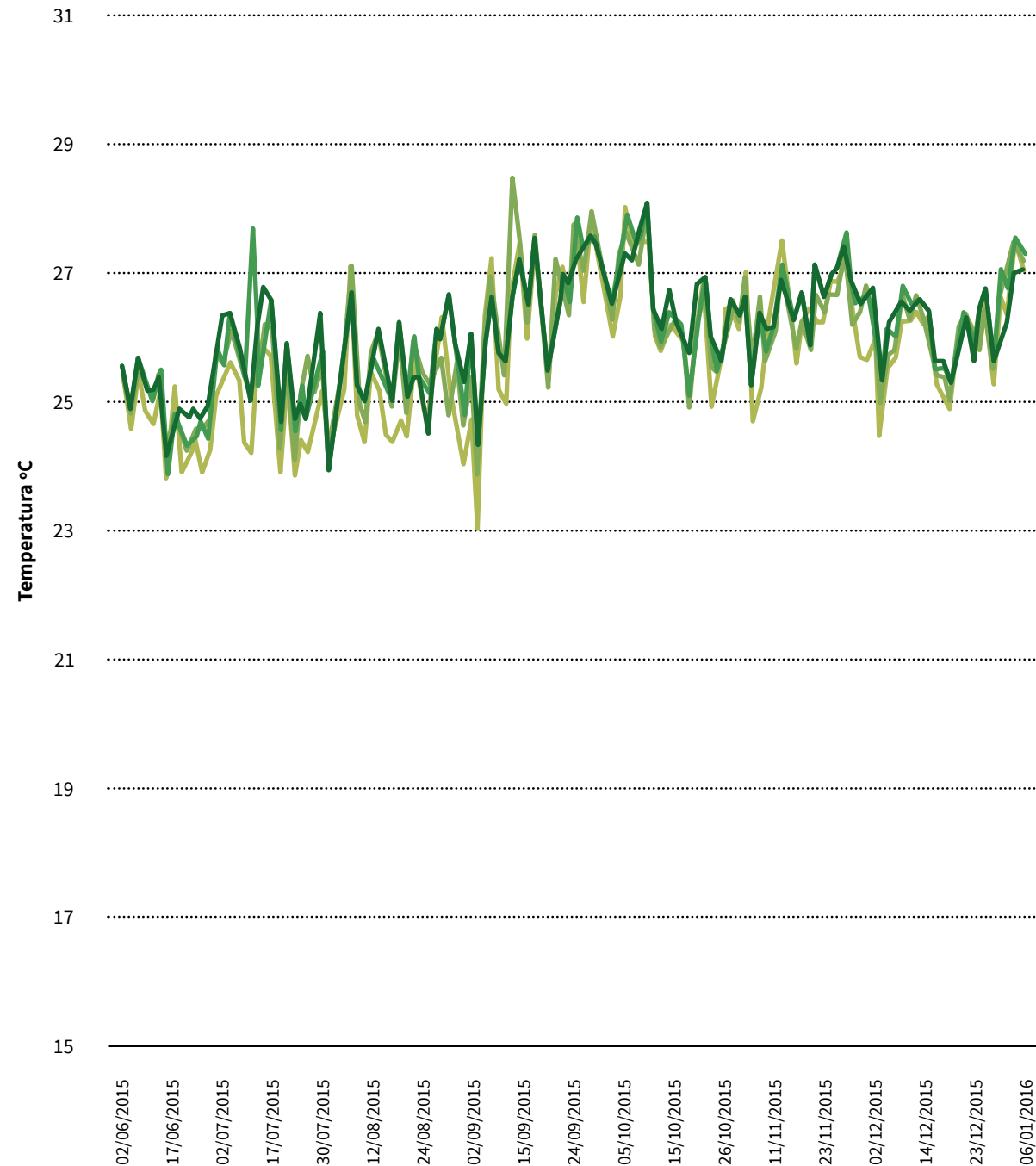
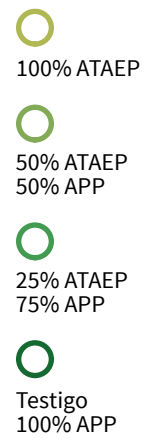
Temperatura

En general, la temperatura fluctúa de la misma manera entre tratamientos, así que los cambios se presentan para todos de la misma forma. Los valores obtenidos en este parámetro están dentro de rangos normales que no afectan la supervivencia o salud de especies acuáticas (figura 30).

En general, puede afirmarse que los parámetros fisicoquímicos de las aguas tratadas asociadas a la producción de hidrocarburos son aptos, por ejemplo,

para un buen desarrollo de la actividad acuicola, sin que generen traumatismos de ninguna índole.

En las tablas 6 y 7 se pueden observar los indicadores de calidad fisicoquímica en las diferentes mezclas de agua tratada de producción en cada tratamiento. Es de anotar que, si bien algunas variables presentan diferencias significativas, se mantienen dentro de los límites permisibles establecidos por Cantor (2007) y Rodríguez y Anzola (2001) para actividades como, por ejemplo, el cultivo de especies acuáticas.



→ **Figura 30.** Comportamiento de la temperatura en el agua de producción asociada a la extracción del petróleo en un periodo definido (°C)



Tabla 6. Comportamiento de la calidad fisicoquímica de las diferentes mezclas de agua asociadas a la producción del petróleo durante los tiempos de cultivo

Variable	n	Tratamiento (% de mezclas)						Testigo
		100%	n	50%	n	25%	n	
Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	279	114,06 ± 48,73 a	138	88,10 ± 35,84 ab	281	52,06 ± 24,06 abc	281	32,41 ± 16,34 c
Dureza (mg/l)	279	133,19 ± 52,15 a	138	91,70 ± 27,01 abc	281	74,82 ± 33,21 abc	281	38,03 ± 28,45 c
Amonio (mg/l) NH ₃	279	0,00 ± 0,00 a	138	0,01 ± 0,01 a	281	0,00 ± 0,01 a	281	0,00 ± 0,01 a
NO ₂ nitritos (mg/l)	279	0,04 ± 0,05 a	138	0,05 ± 0,05 a	281	0,03 ± 0,04 a	281	0,02 ± 0,04 a
Ion amonio (mg/l NH ₄ ⁺)	279	0,36 ± 0,43 a	138	0,65 ± 0,69 a	281	0,50 ± 0,63 a	281	0,61 ± 0,74 a

*Letras diferentes dentro de una fila se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).



Tabla 7. Comportamiento de la calidad fisicoquímica de las diferentes mezclas de agua asociadas a la producción del petróleo durante los tiempos de cultivo

Variable	n	Tratamiento (% de mezclas)						Testigo
		100%	n	50%	n	25%	n	
pH	714	7,20 ± 0,41 a	397	7,07 ± 0,28 a	675	6,86 ± 0,39 a	734	6,84 ± 0,50 a
Conductividad (µS/cm)	675	639,31 ± 109,22 a	370	363,28 ± 99,30 b	675	255,86 ± 65,87 b	678	45,57 ± 40,18 c
Temperatura (°C)	714	26,92 ± 1,32 a	397	26,29 ± 2,15 a	675	26,69 ± 1,76 a	734	26,71 ± 1,78 a
Oxígeno (mg/l)	675	6,89 ± 0,58 a	370	6,80 ± 0,68 a	675	6,94 ± 0,61 a	678	7,04 ± 0,70 a

*Letras diferentes dentro de una fila se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

03

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la producción animal de bovinos y aves de corral

José Guillermo Velásquez Penagos
Hernando Flórez Díaz
Hugo Humberto Ballesteros Chavarro



Bovinos

Indicadores de calidad y producción de leche

Calidad

En la tabla 8 se presentan los promedios de distintas variables que indican la calidad de leche producida en los bovinos bajo estudio. Aunque hay diferencias significativas en algunos casos, todos los promedios obtenidos se encuentran dentro del rango esperado para este tipo de ganado.

● Grasa

La tabla 8 refleja cómo la mezcla de 100% de ATAEP presenta el menor valor de porcentaje de grasa (1,50%), estadísticamente diferente con respecto a los demás tratamientos. Al considerar la variable año, vemos cómo el 2011 fue el de menor concentración de grasa en leche cruda (1,69%), que difirió estadísticamente con el año 2009 pero fue muy similar con el 2010, el 2011, el 2015 y el promedio total. Debe tenerse en cuenta que los valores obtenidos, a pesar de las diferencias significativas, están dentro de los rangos normales de los bovinos del sistema doble propósito en pastoreo.

● Proteínas

Al hacer las pruebas de comparación de medias de Bonferoni y DHS de Tukey, no se aprecian diferencias significativas para los valores de los tratamientos, pero sí para los años de evaluación, donde se observa una tendencia de incremento de la media año tras año. Por lo tanto, se puede afirmar que los promedios de proteína obtenidos estuvieron influenciados por el año de evaluación y por la interacción entre este y el tratamiento. A pesar de la diferencia, los valores obtenidos no mostraron respuestas muy lejanas.

● Lactosa

La respuesta obtenida en esta variable no señala efecto del tratamiento, y tampoco se

observa influencia del año ni de la interacción tratamiento-año. Los resultados alcanzados están en el rango considerado para el tipo de bovinos en estudio.

● Sólidos totales

Esta variable, que engloba las anteriores, se encuentra afectada por el tratamiento. Así, los menores valores se observan en el 100%, mientras que no se aprecian cambios significativos para 50%, 25% y testigo (tabla 8). Pese a sus diferencias significativas, estos promedios se encuentran dentro del rango esperado para el tipo de ganado en estudio según Briñez, Valbuena, Castro, Tovar y Ruiz (2008), Calderón, García y Martínez (2006) y Parra, Martínez, Pardo y Vargas (1998).



En resumen, los resultados de los bovinos estudiados indican un efecto del tratamiento de 100% de consumo de ATAEP en la grasa y en los sólidos totales de la leche, mientras que en la proteína y la lactosa no se encontró ninguna diferencia significativa entre tratamientos. De cualquier forma, los valores obtenidos para estas tres variables se encuentran dentro de los rangos determinados como normales.

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la producción animal de bovinos y aves de corral

Clase de agua disponible	Año de evaluación	Grasa	Proteína	Lactosa	Sólidos totales
		Media %	Media %	Media %	Media %
Agua de producción 100%	2009	1,60	3,27	6,49	11,26
	2010	1,34	3,34	4,36	9,58
	2011	1,69	3,50	4,59	10,35
	Al 2015	1,38	3,52	4,18	8,31
	Total	1,50 a	3,41 a	4,91 a	9,88 a
Agua de producción 50%	2009	2,48	3,33	6,90	11,78
	2010	1,89	3,54	4,68	10,72
	2011	1,55	3,49	4,59	10,20
	Al 2015	2,05	3,49	4,11	8,19
	Total	1,99 b	3,46 a	5,07 a	10,22 ab
Agua de producción 25%	2009	2,23	3,30	5,77	11,95
	2010	2,41	3,50	4,57	11,05
	2011	1,79	3,46	4,52	10,34
	Al 2015	1,69	3,44	4,06	8,10
	Total	2,03 b	3,43 a	4,73 a	10,36 b
Agua no asociada a la producción del petróleo	2009	2,25	3,39	5,63	11,82
	2010	2,17	3,45	7,48	10,68
	2011	1,75	3,52	4,63	10,48
	Al 2015	2,26	3,52	4,16	8,29
	Total	2,11 b	3,47 a	5,48 a	10,32 b
Total	2009	2,14 b	3,32 a	6,20 a	11,70 b
	2010	1,95 ab	3,46 a	5,27 a	10,51 ab
	2011	1,70 a	3,49 b	4,58 a	10,34 a
	Al 2015	1,84 a	3,49 b	4,13 a	8,22 a
	Total	1,91 ab	3,44 a	5,04 a	10,19 a

**Tabla 8.**

Porcentajes de sólidos totales, grasa, proteínas y lactosa en leche cruda bovina por clase de agua disponible y año de evaluación

*Letras diferentes dentro de cada columna por clase de agua y año son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Producción de leche¹

Para el estudio de este indicador se dispusieron cuatro cohortes madres de hembras bovinas, donde cada una recibiría a “perpetuidad” uno de los cuatro tratamientos de ATAEP. Como este tipo de diseño y análisis de la información no se relacionó, lo explicamos a continuación.

Diseño

El diseño epidemiológico correspondió a un estudio longitudinal prospectivo o de cohortes en dos localidades independientes. Las vacas que iniciaron las cohortes ingresaron al experimento el 15 de mayo de 2007, con una edad promedio de cuatro años, y los ordeños se iniciaron el 16 de mayo de 2007 y se mantuvieron hasta el 30 de junio de 2015.

La evaluación de la producción de leche incluyó pesaje de leche ordeñada por día y de leche consumida por el ternero con frecuencia semanal. La información correspondiente a las lactancias 6, 7 y 8 se agrupó como ≥ 6 lactancias.

Aunque la variable no presentó distribución normal, se efectuó análisis de varianza factorial en razón a la buena cantidad de registros. De este modo se observó que el coeficiente de variación para las localidades no sobrepasó el 45% y que las medianas se encontraron dentro de los intervalos de confianza de 95% del promedio. Este hallazgo se acentúa por el hecho de que el ANOVA es un procedimiento robusto, aun sin distribución normal.

El modelo estadístico empleado fue un diseño factorial con los siguientes niveles:

- Tratamiento, porcentaje de agua de producción: cuatro niveles.
- Número del parto: seis niveles.
- Trimestre de lactancia: tres niveles.

Las pruebas de comparación de medias dentro de factores fueron Tukey y Bonferroni, y para la interacción de factores, Bonferroni.

Producción de leche al ordeño en el ASA

La producción promedio general de leche en la cohorte experimental de ASA fue de 3,41 kg/día. El grupo con el promedio significativamente inferior correspondió al del tratamiento de 50% de ATAEP (2,16 kg/día). A su vez, los tratamientos testigo, 25% y 100% fueron estadísticamente iguales entre sí y diferentes al de 50% (tabla 9).

El trimestre de lactancia, evaluado como variable independiente, presentó promedios con significancias estadísticas diferentes, de tendencia decreciente a medida que el trimestre fue superior. La producción media pasó de 4,07 kg/día a 2,58 kg/día entre los trimestres 1 a 3, una diferencia de medias de 1,49 kg/día (tabla 9).

El número del parto, evaluado dentro del modelo, en forma única, no influyó significativamente la producción media al ordeño por día. Esta presentó una tendencia de incremento entre las lactancias 1 y 2, y desde ahí declinó hasta el parto 5. En el parto 6, donde el número de observaciones disponibles y la dispersión son mayores que en los otros partos, se da un ascenso atípico (tabla 9).

En la interacción significativa de tratamiento-trimestre de lactancia, para todas las mezclas de ATAEP, el trimestre inicial fue el de mayor producción, siendo significativamente diferente de los otros dos trimestres. La excepción fue el tratamiento de 50%, que no presentó diferencias entre trimestres y tuvo la menor producción con respecto a los demás. A su vez, los trimestres 2 y 3 de lactancia fueron similares para los tratamientos de contraste, es decir, el testigo y el de 100% (tabla 10).

1. Este indicador se analizó en las dos localidades de la investigación: el CI La Libertad y el ASA. Sin embargo, para este apartado solo trataremos los resultados del ASA.

Porcentaje de agua de la producción	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Testigo	153	3,60 b	0,112	3,38	3,82
25%	505	3,62 b	0,071	3,48	3,76
50%	101	2,16 a	0,112	1,94	2,38
100%	134	3,35 b	0,142	3,07	3,63
Total	893	3,41	0,053	3,31	3,51
Trimestre de lactancia	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Trimestre 1	320	4,07 c	0,095	3,87	4,26
Trimestre 2	361	3,31 b	0,073	3,17	3,46
Trimestre 3	212	2,58 a	0,083	2,41	2,74
Número del parto	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
1	180	3,46 ab	0,118	3,23	3,69
2	255	3,87 c	0,091	3,69	4,05
3	189	3,36 b	0,111	3,14	3,58
4	154	3,20 b	0,147	2,91	3,49
5	81	2,50 a	0,127	2,25	2,75
≥ 6	34	3,08 b	0,237	2,60	3,56



Tabla 9. Estadígrafos de producción de leche en el ordeño al día por porcentaje de agua de producción, trimestre de lactancia y número de parto en las cohortes del ASA

*Letras diferentes dentro de una columna para cada parámetro analizado se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

Porcentaje de agua de la producción	Trimestre lactancia	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Testigo	1	43	4,49 b	0,297	3,91	5,08
	2	65	2,94 a	0,182	2,58	3,30
	3	45	3,01 a	0,194	2,63	3,39
25%	1	203	4,48 c	0,115	4,25	4,70
	2	185	3,32 b	0,220	2,90	3,76
	3	117	2,52 a	0,138	2,25	2,79
50%	1	34	2,47 a	0,234	2,01	2,93
	2	41	2,46 a	0,198	2,07	2,85
	3	26	1,68 a	0,278	1,13	2,22
100%	1	40	3,45 b	0,1940	3,07	3,83
	2	70	2,75 a	0,185	2,38	3,11
	3	24	2,76 a	0,294	2,18	3,33



Tabla 10. Estadígrafos de la interacción tratamiento-trimestre de lactancia para producción de leche al ordeño por día en las cohortes del ASA

*Letras diferentes dentro de una columna para cada tratamiento se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

Producción de leche residual consumida por el ternero en el ASA

Esta variable se evaluó mediante diferencia del pesaje del ternero antes del amamantamiento residual posordeño y después de que este voluntariamente dejó de mamar. Según este procedimiento, la cantidad media de leche residual consumida por el ternero por día fue significativamente inferior en el tratamiento testigo con respecto al tratamiento de 25%, que presentó el mayor promedio (tabla 11).

El trimestre de lactancia presentó promedios estadísticamente diferentes para la leche residual consumida por el ternero/día, siendo inferior para el tercer trimestre y mayor e igual entre los primeros dos trimestres (tabla 11).

Por otro lado, el número del parto también presentó diferencias estadísticas significativas entre los promedios de leche residual consumida por el ternero. En particular, contrasta la diferencia entre el primer parto y el sexto (tabla 11).

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la producción animal de bovinos y aves de corral



Tabla 11. Estadígrafos de leche residual consumida por el ternero al día por porcentaje de agua de producción, trimestre de lactancia y número de parto en la cohorte del ASA

Porcentaje de agua de la producción	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Testigo	153	1,93 a	0,049	1,83	2,03
25%	505	2,47 b	0,062	2,35	2,59
50%	101	2,11 ab	0,108	1,89	2,32
100%	76	2,20 ab	0,174	1,85	2,55
Total	835	2,30	0,044	2,21	2,39
Trimestre de lactancia	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Trimestre 1	308	2,52 b	0,074	2,37	2,66
Trimestre 2	322	2,30 b	0,077	2,15	2,45
Trimestre 3	205	1,99 a	0,071	1,85	2,13
Número del parto	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
1	180	2,68 b	0,118	2,45	2,92
2	197	2,26 ab	0,066	2,13	2,39
3	189	2,15 a	0,087	1,98	2,32
4	154	2,19 ab	0,101	1,99	2,39
5	81	2,25 ab	0,172	1,91	2,59
≥ 6	34	1,96 a	0,136	1,68	2,23

*Letras diferentes dentro de una columna para cada parámetro analizado se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

Leche total por vaca al día en el ASA

La leche producida por día se analizó como la sumatoria de las dos evaluaciones: la del ordeño y el respectivo pesaje, y la indirecta consumida por el ternero. Si bien, en sentido estricto, esta suma no constituye la leche total producida por una vaca al día, esa es la denominación que se utilizará a lo largo del análisis. Se trata, en definitiva, de una aproximación a la producción en estos términos:

$$\text{Leche total [kg leche/vaca-día]} = \left(\begin{array}{c} \text{Leche al ordeño [kg/día]} \\ + \\ \text{Leche consumida ternero [kg/día]} \end{array} \right)$$

En la tabla 12 se presentan los estadígrafos de producción de leche total por vaca al día según el

porcentaje de agua de producción, el trimestre de lactancia y el número de parto en la cohorte del ASA. Como se puede observar, los tratamientos con mayor concentración de agua de producción, 50% y 100%, fueron significativamente inferiores a los tratamientos con menor concentración de agua de producción, 25% y testigo.

En cuanto a trimestres, la producción de leche total por vaca al día presentó diferencia significativa, siguiendo una tendencia de descenso a medida que el trimestre es superior. El número de partos, por otra parte, tuvo una tendencia inversa en la producción de leche total por vaca al día hasta el parto 5, aunque el parto 6 refleja una respuesta atípica, originada posiblemente por la menor cantidad de registros y por la supervivencia de una vaca de alta producción.

Porcentaje de agua de la producción	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Testigo	153	5,52 b	0,127	5,27	5,78
25%	505	6,09 b	0,096	5,90	6,28
50%	101	4,27 a	0,168	3,94	4,60
100%	76	4,50 a	0,257	3,99	5,01
Total	835	5,62	0,074	5,48	5,77
Trimestre de lactancia	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Trimestre 1	308	6,54 c	0,124	6,30	6,78
Trimestre 2	322	5,45 b	0,113	5,22	5,67
Trimestre 3	205	4,51 a	0,107	4,30	4,72
Número del parto	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
1	180	6,14 d	0,170	5,81	6,48
2	197	5,88 cd	0,122	5,64	6,12
3	189	5,51 bcd	0,144	5,23	5,80
4	154	5,39 ab	0,197	5,00	5,78
5	81	4,75 a	0,242	4,27	5,23
≥ 6	34	5,04 ab	0,280	4,47	5,60

*Letras diferentes dentro de una columna para cada parámetro se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).



Tabla 12. Estadígrafos de leche total/vaca-día por porcentaje de agua de producción, trimestre de lactancia y número de parto en la cohorte del ASA

Producción de leche ajustada a 210 días en las cohortes experimentales del ASA

La evaluación preliminar del promedio general de días en lactancia y edad al destete en días, de 189 y 225 días respectivamente, llevó a ajustar la producción de leche a 210 días. Para la leche al ordeño, la leche residual consumida por el ternero y la leche total (suma de las dos anteriores), se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Producción acumulada de leche [kg/días de lactancia]} \times 210 \text{ días}$$

Tratamiento	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Testigo	15	816,17 b	56,522	705,22	931,12
25%	30	726,95 b	39,938	647,14	806,76
50%	11	377,47 a	66,109	245,36	509,58
100%	12	650,07 b	63,250	523,68	776,47
Total	68	676,97	31,133	614,83	739,11

*Letras diferentes dentro de una columna se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

Indicadores de producción

Peso del ternero al nacimiento

El promedio general de peso de los terneros al nacimiento en el ASA fue de 30 kg. Los tratamientos presentaron medias estadísticamente similares, y la diferencia entre estos no fue mayor de 1 kg (tabla 14).

Ganancia de peso de terneros al destete

Esta medida se obtuvo descontando del peso al

destete el peso al nacimiento y dividiendo por los días de edad al destete. Así se halló que la ganancia de peso promedio de los terneros del ASA fue de 0,722 kg/día. En los diferentes tratamientos de ATAEP, la variable fluctuó entre 0,664 y 0,799 kg/día, sin que los promedios fueran estadísticamente diferentes. El sexo de la cría, por otra parte, influyó en los datos, ya que la ganancia de peso fue estadísticamente diferente y superior en machos (0,774 kg/día) que en hembras (0,689 kg/día) (tabla 15).

Esto permite tener la producción de leche por tratamiento, vaca y lactancia ajustada en un mismo punto del tiempo, removiendo la heterogeneidad de la longitud de la lactancia sin omitir su influencia.

La producción de leche por lactancia ajustada a 210 días fue, entonces, de 677 kg para las cohortes del ASA. El tratamiento 50% presentó un valor significativamente inferior al de los demás tratamientos. El tratamiento testigo, con 816,2 kg por lactancia, fue similar a los tratamientos de 25% y 100%.

Tratamiento	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Testigo	15	30,77 a	1,046	28,68	32,86
25%	30	31,04 a	0,739	29,56	32,51
50%	11	28,45 a	1,223	26,00	30,89
100%	12	29,66 a	1,170	27,32	32,00
Total	68	30,32	0,505	29,31	31,23

*Letras diferentes dentro de una columna se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la producción animal de bovinos y aves de corral



Tabla 13. Estadígrafos de producción de leche por lactancia ajustada a 210 días, por porcentaje de aguas de producción en las cohortes del ASA



Tabla 14. Estadígrafos de peso del ternero al nacimiento por porcentaje de aguas de producción en las cohortes del ASA

Tratamiento	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Testigo	12	0,799 a	0,040	0,719	0,880
25%	28	0,719 a	0,026	0,666	0,772
50%	10	0,664 a	0,044	0,576	0,753
100%	10	0,741 a	0,047	0,647	0,835
Total	60	0,722	0,018	0,687	0,759

Sexo en la cría	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Hembra	29	0,689 a	0,027	0,634	0,743
Macho	31	0,774 b	0,030	0,714	0,833



Tabla 15. Estadígrafos de ganancia de peso de terneros al destete por porcentaje de aguas de producción y sexo de la cría en las cohortes del ASA

*Letras diferentes dentro de la misma columna para tratamientos y para sexo se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

Ahora bien, entre los tratamientos en sí, la condición de sexo de las crías no mostró influencia en la ganancia de peso al destete (tabla 16).

Tratamiento	Sexo en la cría	N	Media* kg/día	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Testigo	Hembra	7	0,722 a	0,052	0,619	0,826
	Macho	5	0,877 a	0,062	0,752	1,001
25%	Hembra	11	0,725 a	0,041	0,642	0,807
	Macho	17	0,714 a	0,033	0,648	0,781
50%	Hembra	4	0,639 a	0,501	0,501	0,777
	Macho	6	0,690 a	0,578	0,578	0,801
100%	Hembra	7	0,668 a	0,564	0,564	0,772
	Macho	3	0,814 a	0,656	0,656	0,972



Tabla 16. Estadígrafos de la interacción tratamiento-sexo de la cría para ganancia de peso de terneros al destete en las cohortes del ASA

*Letras similares dentro de la misma columna para cada tratamiento no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

Condición corporal

Para este indicador se tomó información mediante encuestas a visitantes en eventos grupales en el CI La Libertad. El punto central de estas consultas fue determinar la condición corporal de los grupos de animales en los cuatro tratamientos de estudio con

el fin de posicionarlos en categorías de 1 a 4, en donde 1 era el mejor puesto, y definir así cuál de los cuatro grupos era el de mejor resultado.

En la tabla 17 se observa que, entre las 116 encuestas realizadas, el 78,45% de los evaluadores

se inclinaron por el grupo del tratamiento 100% como el de mejor condición corporal, y solamente un 3,34% consideraron al grupo testigo como el de mejor resultado en este indicador. Por otra parte, cuando se solicitó ordenar las posiciones de primer a cuarto lugar, el 51,72% de

los encuestados establecieron en el primer lugar al grupo del tratamiento 100%, seguido de los de 25%, 50% y testigo en ese orden. Un 12,07% determinaron el orden 100%, 25%, testigo y 50%, y el 0,86% los organizaron así: testigo, 100%, 50% y 25%.

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la producción animal de bovinos y aves de corral

Preguntas	Número de personas	Tto. 100%	Tto. 50%	Tto. 25%	Tto. testigo
Grupo de mejor condición corporal	116	78,45%	8,62%	9,48%	3,45%
Orden de posición de acuerdo a la condición corporal	Posición				
		1	2	3	4
	13 (11,21%)	100%	50%	25%	Testigo
	60 (51,72%)	100%	25%	50%	Testigo
	14 (12,07%)	100%	25%	Testigo	50%
	4 (3,45%)	100%	Testigo	25%	50%
	8 (6,90%)	50%	100%	25%	Testigo
	2 (1,72%)	50%	100%	Testigo	25%
	9 (7,76%)	25%	100%	50%	Testigo
	2 (1,72%)	25%	100%	Testigo	50%
1 (0,86%)	Testigo	100%	50%	25%	
3 (2,59%)	Testigo	100%	25%	50%	



Tabla 17. Evaluación observacional de la condición corporal de los grupos de bovinos sometidos a diferentes mezclas de ATAEP en el CI La Libertad

Evaluación de calidad de carne por ultrasonido

La evaluación corporal de bovinos por medio del ultrasonido en tiempo real (UTR) es un método no invasivo, ni destructivo, que permite determinar el valor y la calidad de la composición cárnica de un animal *in vivo*. La estimación de la grasa de cobertura a nivel del lomo (EGD) y del anca (EGA), el área de ojo del lomo (AOL) y la grasa intramuscular o marmóreo permite hacer este análisis con miras a iniciar procesos de selección desde temprana edad.

recibieron una suplementación alimenticia, mientras que los que no fueron suplementados presentaron un AOL promedio de 32,1 cm² con un peso vivo de 236 kg. Otro grupo presentó AOL con promedio de 31,3 cm² y peso vivo de 189 kg a los 12 meses de edad al recibir un suplemento, y de 29,5 cm² con 184 kg sin este.

Según resultados obtenidos por Barahona y Ríos (2008) en bovinos de la raza cebú a los 19 meses de edad en el departamento del Córdoba, el AOL fue en promedio de 36,7 cm² con un peso vivo de 234 kg entre animales que

Por otro lado, Velázquez y Álvarez (2003) desarrollaron estudios en donde utilizaron 23 Brahman gris y 17 Brahman rojo castrados que se mantuvieron en pastoreo alterno en potreros de angleton y *Dichanthium aristatum* por espacio de 14 meses con sal mineralizada a voluntad. Estos animales presentaron AOL a los 18 meses de edad de 65,7 cm² y 58,6 cm², respectivamente. Asimismo, Cerón et al. (2009), reportan promedios de AOL de 35,4 cm² y de EGD de 5,1 mm en bovinos criollos cruzados, con un peso de 275,6 kg en edades entre 18 y 24 meses.

Para que se cumplieran los supuestos, las unidades experimentales presentaron un manejo similar, con variaciones a nivel del tratamiento dado. De este modo se aseguró la homogeneidad del material utilizado. El error experimental se tomó como una variable aleatoria independiente ya que cada tratamiento tenía representación tanto para hembras como para machos en diferentes edades, con distribución normal ($Pr > F$ 0,2993, 0,5085, 0,4611 para AOL, EGD y EGA, respectivamente), media cero (se trabajó con la metodología de los mínimos cuadrados) y varianza común (estadístico 0,9548, $Pr < W$ 0,005).

Al iniciar esta evaluación, realizada únicamente en la localidad del CI La Libertad, el peso promedio de las unidades experimentales fue de $371,6 \pm 122,6$ kg, con un coeficiente de variación del 33,0%, dado básicamente por las diferencias en edades y en condición sexual. Para la variable AOL, el promedio general fue de $398,9 \pm 126,7$ cm², con diferencias estadísticas entre tratamientos dentro de cada evaluación (R^2 0,9417): en la inicial, fue mayor en las unidades experimentales asignadas a los tratamientos 0% y 50% mientras que los tratamientos 100% y 25% presentaron valores menores, sin embargo, al final se encontraron tendencias iguales. A nivel general, se observaron diferencias de AOL entre la evaluación inicial y la final, lo que indica que las unidades experimentales aumentaron su masa muscular durante el periodo de estudio (tabla 18).

Para la variable EGD, el promedio general fue de $0,43 \pm 0,15$ cm, sin diferencias estadísticas entre tratamientos dentro de cada periodo de evaluación pero con variaciones respecto a los promedios obtenidos en la primera evaluación (0,40 cm en la inicial vs. 0,47 cm en la final). Esto indica que las unidades experimentales mejoraron su condición corporal durante la época de estudio.

Para la variable EGA, el promedio general fue de $0,44 \pm 0,15$ cm, con diferencias estadísticas entre tratamientos para el primer periodo de evaluación, siendo mayor en las unidades experimentales de los tratamientos 0% y 100% con respecto al 25%, mientras que en el segundo periodo de evaluación no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos. Asimismo, no se notaron diferencias de los promedios obtenidos en la primera evaluación

con respecto a la final (0,43 cm vs. 0,45 cm, respectivamente). No obstante, las unidades experimentales mejoraron su condición corporal durante la época de estudio en un 7,5%, 8,8%, 6,8% y 0,6% para los tratamientos 100%, 50%, 25% y 0%, respectivamente.

La variable marmóreo, expresada como la tonalidad del músculo *longissimus dorsi*, no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos dentro de cada periodo de evaluación, pero sí se observaron variaciones en los promedios de la primera evaluación (36,8) respecto a los de la evaluación final (30,5) (tabla 18), lo que indica que las unidades experimentales perdieron grasa intramuscular durante la época de estudio. Tal pérdida fue mayor en el tratamiento 25% (-43,9%) respecto a los tratamientos 100%, 0% y 50% (-15,6%, -15,9% y -16,8%, respectivamente). Esta variable deberá ser trabajada para determinar su correlación con la tonalidad. Finalmente, las diferencias de pesos en el periodo evaluado fueron superiores en el siguiente orden de tratamientos: 100%, 25%, 0% y 50%.

En la tabla 19 se pueden observar los incrementos de peso en kilogramos de los dos periodos evaluados. Los resultados indican un mejor comportamiento de aumento de peso para el tratamiento de 100%. Las diferencias en este caso son significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

El AOL presentó diferencias estadísticas entre tratamientos dentro de cada evaluación, siendo mayor en las unidades experimentales asignadas a los tratamientos 0% y 50%. Para la evaluación final se encontraron tendencias iguales. Por otro lado, en la variable EGD no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos dentro de cada periodo de evaluación respectivamente.

En cuanto a la variable EGA, se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos para el primer periodo de evaluación, siendo mayor en las unidades experimentales de los tratamientos 0% y 100% respecto al 25%. Para el segundo periodo de evaluación, en cambio, no se hallaron tales diferencias, y además no se encontraron variaciones entre los promedios obtenidos en la primera evaluación (0,43 cm) y los de la evaluación final (0,45 cm), si bien se evidencia un mejoramiento de la condición corporal durante la época de estudio.

La variable marmóreo, expresada como la tonalidad del músculo *longissimus dorsi*, no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos dentro de cada periodo de evaluación, pero se encontraron variaciones de los promedios en la primera evaluación (36,8) respecto a la evaluación final (30,5), lo que indica que las unidades experimentales perdieron grasa intramuscular durante la época de

estudio. Esta pérdida fue mayor en el tratamiento 3 respecto a los demás tratamientos.

Finalmente, las diferencias de pesos en el periodo evaluado fueron superiores para el tratamiento 100%, seguido de los tratamientos 25%, 0% y 50%. Los resultados obtenidos no indican efecto de las ATAEP.

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la producción animal de bovinos y aves de corral

Evaluación	Tratamiento	Peso (kg)	AOL (cm)	EGD (cm)	EGA (cm)	Tonalidad
Inicial	100% ATAEP	379,6 ± 116,9	45,4 b ± 13,1	0,40 a ± 0,16	0,46 a ± 0,11	35,1 a ± 12,4
	50% ATAEP 50% APP	364,2 ± 102,8	52,2 a ± 12,1	0,39 a ± 0,14	0,41 ab ± 0,19	37,7 a ± 13,8
	25% ATAEP 75% APP	360,0 ± 113,0	44,7 b ± 14,5	0,36 a ± 0,16	0,35 b ± 0,14	43,0 a ± 14,9
	Testigo 100% APP	375,4 ± 140,3	51,9 a ± 12,2	0,43 a ± 0,15	0,48 a ± 0,15	35,0 a ± 12,6
	Promedio	371,6 ± 122,6	48,9 b ± 12,9	0,40 b ± 0,15	0,43 a ± 0,15	36,8 a ± 13,3
Final	100% ATAEP	486,6 ± 99,4	57,3 b ± 11,7	0,43 a ± 0,09	0,44 a ± 0,13	30,3 a ± 3,1
	50% ATAEP 50% APP	411,0 ± 123,9	57,7 a ± 11,4	0,43 a ± 0,13	0,45 a ± 0,14	32,3 a ± 7,7
	25% ATAEP 75% APP	445,3 ± 102,1	45,7 b ± 7,4	0,43 a ± 0,13	0,38 a ± 0,13	29,8 a ± 3,2
	Testigo 100% APP	433,1 ± 136,0	56,2 a ± 9,6	0,51 a ± 0,14	0,48 a ± 0,13	30,2 a ± 4,6
	Promedio	439,5 ± 122,9	52,6 a ± 10,7	0,47 a ± 0,13	0,45 a ± 0,13	30,5 b ± 4,9
Promedio general		398,9 ± 126,7	50,4 ± 12,1	0,43 ± 0,15	0,44 ± 0,15	34,3 ± 11,1

Tabla 18. Promedios de medidas corporales determinadas por ultrasonido para cada uno de los tratamientos al inicio y final del experimento

* Área de ojo de lomo (AOL), Espesor grasa dorsal (EGD) y Espesor de grasa del anca (EGA) ajustadas al peso promedio de las unidades experimentales para cada evaluación (inicial y final).
** Letras distintas indican diferencias estadísticas $p \leq 0,05$ entre tratamientos para cada evaluación y entre los promedios de cada evaluación.

Tratamiento	100%	50%	25%	0%
Incremento de peso (kg)	107 a	46,8 c	85,3 b	57,7 c

Tabla 19. Promedios de diferencias de peso entre el periodo evaluado (inicial y final) para los animales experimentales de los cuatro tratamientos

* Letras distintas indican diferencias estadísticas $p \leq 0,05$ entre tratamientos para cada evaluación y entre los promedios de cada evaluación.



Aves

Aves ASA cohorte 2014-2015

Para el estudio del efecto de ATAEP en pequeñas especies se analizaron aves de la línea especializada en producción de huevo Lohmann Brown: 50 animales por tratamiento de un día de nacidos —con excepción del tratamiento 25%, en el que se usaron 51 aves— evaluadas desde el día 1 de edad hasta el 382 de seguimiento de las cohortes .

Las aves se distribuyeron al azar en los cuatro tratamientos descritos anteriormente. Se efectuó pesaje semanal a 20 aves seleccionadas al azar para cada tratamiento, registrándose 657 determinaciones

por tratamiento y construyendo además la ganancia de peso acumulada con relación al peso promedio del día 1 de edad. A partir de dicha edad se construyó un calendario semanal de eventos, que es el periodo clásico de evaluación en avicultura.

Una vez iniciada la postura, se registró a diario el número de huevos por tratamiento y se calculó el porcentaje de huevos/ave-día con 259 determinaciones para cada variable por tratamiento, correspondientes a igual número de días de postura evaluados. El peso de huevos se estableció desde el primer día de postura (semana 18 de vida hasta la semana 55), con 21.560 mediciones distribuidas en forma similar entre los tratamientos.

El huevo se clasificó de acuerdo a la norma vigente para la comercialización de huevo en Colombia a partir de febrero de 2012, consignada en la Norma Técnica Colombiana 1240 de Icontec (tabla 20).



Tabla 20. Clasificación de huevos según NTC 1240 de Icontec

Categoría	Jumbo	AAA	AA	A	B	C
Peso en gramos	> 78 g	67,0 - 77,9 g	60,0 - 66,9 g	53,0 - 59,9 g	46,0 - 52,9 g	< 46,0 g

Análisis del desempeño de las aves por tratamiento

Peso y ganancia de peso acumulada

En la tabla 21 se presentan los estadísticos de tendencia central y dispersión de peso de las aves en las primeras 55 semanas de vida y de peso acumulado al final del mismo periodo. Se resalta cómo la diferencia en el peso y la ganancia acumulada de peso son estadísticamente superiores en los tratamientos testigo y de 25% y 50% de ATAEP con respecto al tratamiento 100%.

La diferencia de mediana en el peso de las aves, para los tratamientos testigo y de 100% de ATAEP, fue de 34 g a favor del primero, que representa un 2% menos de peso (tabla 21). Estas diferencias se encuentran entre los rangos permitidos aceptados por la casa matriz de la línea Lohmann Brown.

La diferencia en la ganancia acumulada de peso fue de 54 g a favor de las aves suministradas con agua control con respecto al tratamiento de 100% de ATAEP. A su vez, la ganancia mediana de peso por día para el periodo evaluado fue de 4,31 g/día y 4,16 g/día para los mismos tratamientos, respectivamente.

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la producción animal de bovinos y aves de corral

Variable	Porcentaje ATAEP	N	mediana	media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Peso aves (gramos)	0%	656	1.611,8 a	1240,1	728,5	37	2.260,7
	25%	658	1.597,1 a	1238,2	729,0	37	2.316,0
	50%	658	1.609,9 a	1230,2	727,5	37	2.929,3
	100%	658	1.577,7 b	1196,4	699,3	37	2.207,1
	General	2630	1.596,4	1226,4	720,9	37	1.596,4
Ganancia acumulada de peso (gramos)	0%	616	1.615,3 a	1281,2	681,9	14,6	2.223,7
	25%	618	1.601,9 a	1278,9	682,8	14,6	2.279,0
	50%	618	1.597,7 a	1270,5	682,1	14,6	2.892,3
	100%	618	1.561,4 b	1235,0	654,1	14,6	2.170,1
	General	2470	1.587,1	1266,4	675,2	14,6	2.892,3

*Letras diferentes dentro de una columna para cada variable se corresponden con diferencias significativas (p<0,05).

Huevos por día y porcentaje de huevos por ave al día

Tal como se refleja en la tabla 22, no se presentaron diferencias en el número de huevos colectados por día entre los diferentes niveles de ATAEP suministrados (p>0,05).

Bajo el análisis de estadígrafos de tendencia central y de dispersión, el tratamiento 25% presentó una mediana diaria de 21 huevos colectados por día, que no fue diferente a los 22 huevos colectados por día para los otros tratamientos. Ahora bien, esta similitud es relativa porque no está relacionada con el número de aves por día a riesgo de presentar postura (tabla 23).

Indicador	Porcentaje ATAEP	N	Rango promedio	X ²	gl	p-valor
Número de huevos/día	0%	259	520,4	3,221	3	0,359
	25%	259	524,8			
	50%	259	537,1			
	100%	259	491,7			

Tabla 22. Prueba de Kruskal-Wallis para huevos/día y porcentaje de postura/día en los primeros 259 días de postura por porcentaje de agua de producción

La tabla 23 presenta los estadígrafos de tendencia central y dispersión de las variables número de huevos/día y porcentaje de huevos/ave-día entre tratamientos. Las aves suministradas con agua control presentaron

una producción mediana de huevo por día superior en 8,8 puntos porcentuales con respecto a las aves tratadas con 100% de ATAEP. Sin embargo, estos cambios no fueron estadísticamente significativos.

Variable	Porcentaje ATAEP	N	Mediana	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Número de huevos/día	0%	259	22 a	22,5	7,918	0	43
	25%	259	21 a	23,5	9,423	0	45
	50%	259	22 a	23,1	7,797	0	38
	100%	259	22 a	21,7	6,987	1	38
	General	1036	22	22,7	8,098	0	45
Porcentaje de huevos/ave-día	0%	259	79,5 a	75,1	20,54	0,0	100,0
	25%	259	79,2 a	72,9	20,73	0,0	100,0
	50%	259	73,6 a	73,6	19,11	0,0	100,0
	100%	259	70,7 a	70,7	19,98	2,5	100,0
	General	1.036	73,1	73,6	20,13	0,0	100,0



Tabla 23. Estadígrafos de tendencia central y de dispersión de huevos/día y porcentaje de postura/día en los primeros 259 días de postura

*Letras similares dentro de una columna para cada variable no presentan diferencias significativas (p<0,05).

Peso del huevo

El peso promedio del huevo en el tratamiento testigo fue de 60,3 g, estadísticamente diferente al peso del huevo en el tratamiento 100% con 59,7 g. Estos dos tratamientos, a su vez, son distintos del peso del huevo con 25% y 50% de ATAEP (tabla 24). La diferencia promedio de peso del huevo entre los tratamientos testigo y de aguas de producción fue de 600 mg.

por porcentaje de agua de producción. El porcentaje obtenido entre tratamientos para Jumbo fue muy similar, oscilando entre 0,4 y 0,5%; para AAA, los valores del tratamiento testigo superaron a los del tratamiento 100% en un 2,2% y, para la categoría AA, en 0,7%. En las categorías A y C los porcentajes fueron superiores para el 100% en 0,6% y 0,1%, respectivamente, mientras que para la categoría B fueron exactamente iguales. Sin embargo, al observar el comportamiento entre tratamientos para todas las categorías, las diferencias son menores al 2,2%, y la respuesta no se asocia a la proporción de consumo de ATAEP.

En la figura 31 se puede observar la distribución porcentual de las categorías de huevo según la clasificación del Icontec (Jumbo, AAA, AA, A, B, C)

Porcentaje ATAEP	N	Mediana (g)	Media(1)	Desviación estándar	Intervalo confianza media 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	5.376	60,2	60,3 a	6,561	60,1	60,4
25%	5.341	59,6	59,3 c	6,675	59,1	59,5
50%	5.475	59,5	59,3 c	6,467	59,2	59,5
100%	5.369	59,9	59,7 b	6,390	59,5	59,8
General	21.651	59,9	59,6	6,534	59,5	59,7



Tabla 24. Estadígrafos de peso del huevo en los primeros 259 días de postura por porcentaje de agua de producción

*Promedios con letras distintas son estadísticamente diferentes (p<0,05).



Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la producción animal de bovinos y aves de corral

- Jumbo
- AAA
- AA
- A
- B
- C



Figura 31. Distribución porcentual de la categoría de huevo por porcentaje de agua de producción. Norma Icontec 1240 de 2012

04

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la reproducción animal de bovinos

José Guillermo Velásquez Penagos
 José Henry Velásquez Penagos
 Diana Patricia Barajas Pardo



Edad al primer parto

ASA

La cohorte inicial para este análisis se conformó con 34 vacas, con edad promedio al ingreso de 56 meses. De ellas, 26 ingresaron preñadas (76%), con promedio de gestación de 198 días (estas preñeces no fueron generadas bajo la influencia de los tratamientos). En promedio, el periodo de consumo de ATAEP de estas vacas gestantes fue de 84 días para su primer parto, lapso en el cual no se presentaron abortos; en efecto, todas estas vacas culminaron con éxito la gestación.

Tanto para las vacas que ingresaron preñadas como para las nacidas en los centros experimentales en el marco del estudio, las condiciones de inclusión para el análisis de edad al primer parto fueron:

- 1 Vacas nacidas en las cohortes.
- 2 Partos antes del 30 de junio de 2013.

El número de vacas con el evento edad al primer parto en las localidades ASA y CI La Libertad fue,

respectivamente, 2 y 7 para el tratamiento testigo, 0 y 5 para el tratamiento 25%, 2 y 5 para el grupo 50%, y 0 y 4 para el tratamiento 100%. Así pues, hubo un total de 4 vacas nacidas en el ASA y 21 en el CI La Libertad.

Con solo cuatro registros, en el ASA se careció de adecuadas unidades experimentales para estimar el efecto al primer parto no solo en la localidad, sino en los tratamientos. Por lo tanto, se llevó a cabo una prueba de t para estimar promedios. Por otra parte, en el CI La Libertad, con 38 registros, se hizo un análisis con estadística no paramétrica de edad al primer parto por tratamientos debido a que la variable no presentó distribución normal por la prueba de Shapiro-Wilks ($p=0,025$).

Con la edad al primer parto se calculó la edad a la primera concepción viable, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Edad concepción [meses]} = \frac{\text{Edad al primer parto [días]} - 282 \text{ días de gestación}}{30}$$

La media general de edad al primer parto para las dos cohortes del ASA fue de 37,7 meses y de 28,3 meses para la primera concepción viable. La tabla 25 presenta la edad a la primera concepción en meses y al primer parto, en días y meses, para el testigo y el tratamiento con 50% de ATAEP en el ASA.

Indicador	Tratamiento	N	Media meses	Error estándar	Estadístico t
Edad a la primera concepción (meses)	Testigo 50%	2	23,8 a	6,152	-1,072
		2	32,8 a	10,25	
Edad al primer parto (días)	Testigo 50%	2	994 a	130,5	-1,072
		2	1265 a	217,0	
Edad al primer parto (meses)	Testigo 50%	2	33,2 a	6,152	-1,072
		2	42,2 a	10,25	

*Letras diferentes dentro de una columna para cada indicador se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($p<0,05$).

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la reproducción animal de bovinos

←
Tabla 25.
 Edad a la primera concepción y al primer parto en dos cohortes del ASA

CI La Libertad

La media general de edad al primer parto para el CI La Libertad fue de 31,6 meses, y para la primera concepción

viable fue de 22,2 meses. Los estadígrafos correspondientes a edad a la primera concepción viable y a edad al primer parto, que no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos, se muestran en la tabla 26.

Edad a la primera concepción viable (meses)					
Tratamiento	N	Media (meses)	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Testigo	7	21,5 a	0,654	19,9	23,1
25%	5	25,1 a	3,057	16,6	33,6
50%	5	21,2 a	1,569	16,8	25,5
100%	4	20,8 a	1,281	16,9	24,9
Total	21	22,2	0,889	20,3	24,0
Edad al primer parto (meses)					
Tratamiento	N	Media (meses)	Error estándar	Intervalo confianza media 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Testigo	7	30,9 a	0,654	29,3	32,5
25%	5	34,5 a	3,057	26,0	43,0
50%	5	30,6 a	1,569	26,2	35,0
100%	4	30,2 a	1,281	26,1	34,3
Total	21	31,6	0,889	29,7	33,4



Tabla 26.

Estadígrafos de edad a la primera concepción viable y edad al primer parto, por porcentaje de ATAEP, para las cohortes del CI La Libertad

*Letras similares en una columna para cada edad de evaluación no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($p < 0,05$).



Intervalo entre partos en el ASA y en el CI La Libertad

La tabla 27 presenta estadígrafos y medidas de tendencia central del intervalo entre partos para el ASA y el CI La Libertad, por porcentaje de ATAEP. La mediana general del intervalo entre partos fue de 437 días en el ASA y de 422 en el CI La Libertad. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

La tabla 28 presenta los tres indicadores asociados con reproducción —intervalo parto-concepción,

intervalo entre partos y tasa de natalidad— para el ASA y el CI La Libertad por porcentaje de ATAEP durante el periodo mayo de 2007 a junio de 2013.

En general, el análisis de las cuatro cohortes en el ASA y en el CI La Libertad en el apartado de desempeño reproductivo arrojó resultados superiores a los encontrados para los sistemas de producción de cría, lechería especializada y doble propósito en la Orinoquia y en Colombia.

Localidad	Porcentaje de agua de producción	N	Mediana (días)	Media (días)	Error estándar
ASA	0%	6	375 a	416	48,96
	25%	16	445 a	443	22,00
	50%	6	462 a	523	95,36
	100%	9	461 a	511	51,34
	Total	37	437	468	23,12
Localidad	Porcentaje de agua de producción	N	Mediana (días)	Media (días)	Error estándar
CI La Libertad	0%	16	414 a	418	24,09
	25%	7	339 a	405	36,37
	50%	19	399 a	510	56,50
	100%	23	466 a	567	64,95
	Total	65	422	496	29,79

*Letras similares dentro de una columna para cada localidad no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

**El intervalo entre partos es el inverso de la tasa de natalidad y viceversa.

Localidad	Porcentaje de agua de producción	Intervalo parto-concepción (días)	Intervalo entre partos (días)	Tasa de natalidad (terneros/vaca-año)
ASA	0%	93	375	0,97
	25%	163	445	0,82
	50%	180	462	0,79
	100%	179	461	0,79
	Total	140	437	0,86
Localidad	Porcentaje de agua de producción	Intervalo parto-concepción (días)	Intervalo entre partos (días)	Tasa de natalidad (terneros/vaca-año)
CI La Libertad	0%	132	414	0,88
	25%	57	339	1,07
	50%	117	399	0,91
	100%	184	466	0,78
	Total	140	422	0,86

*Letras diferentes dentro de cada columna para cada localidad se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la reproducción animal de bovinos



Tabla 27.

Estadígrafos para intervalo entre partos por porcentaje de ATAEP para el ASA y el CI La Libertad



Tabla 28.

Medianas de indicadores de reproducción, por porcentaje de ATAEP, para el ASA y el CI La Libertad

Ahora, en la tabla 29, se presentan como referencia las medianas de estos indicadores de reproducción según tratamiento en el CI La Libertad. Como se puede observar, estos valores fueron similares.

La figura 32 ilustra los valores de la tabla 29 y refleja cómo el intervalo entre el parto 1-2 fue inferior para el tratamiento testigo y de 50%, y superior para los tratamientos de 25% y 100%. La gráfica permite observar asimismo tendencias para todos los tratamientos en razón de tener cinco puntos de la evaluación dinámica de la reproducción de las cohortes del CI La Libertad.

Los tratamientos testigo y de 25% presentaron una dinámica similar de IEP a través de la secuencia de

partos, con excepción del intervalo entre partos 1-2, que fue sensiblemente inferior para el tratamiento testigo. Por otra parte, el tratamiento 50% presenta una imagen invertida, es decir, el IEP no disminuye a través de los partos sucesivos, sino que se incrementa para posteriormente compensar y disminuir drásticamente para los partos 4-5 y 5-6 (figura 32).

Asimismo, el tratamiento 100% presentó una imagen de mayor IEP sostenida hasta el parto 6 (figura 32), aunque siendo gráficamente inferior a los demás tratamientos. Sin embargo, debe resaltarse que, a pesar de las variaciones que la figura presenta, estas no representan diferencias significativas ni entre tratamientos ni dentro de ellos para IEP.

Partos sucesivos	Indicador	Testigo	25% ATAEP	50% ATAEP	100% ATAEP	General
1-2	IEP (días)	415	519	399	499	422
	IPC (días)	133	237	117	217	140
	Terneros / vaca-año	0,88	0,70	0,91	0,73	0,86
2-3	IEP (días)	356	339	426	466	386
	IPC (días)	74	57	144	184	104
	Terneros / vaca-año	1,03	1,08	0,86	0,78	0,95
3-4	IEP (días)	369	338	570	427	452
	IPC (días)	87	56	288	145	170
	Terneros / vaca-año	0,99	1,08	0,64	0,85	0,81
4-5	IEP (días)	463	494	353	457	413
	IPC (días)	181	212	71	175	131
	Terneros / vaca-año	0,79	0,74	1,03	0,80	0,88
5-6	IEP (días)	445	325	351	479	393
	IPC (días)	163	43	69	197	111
	Terneros / vaca-año	0,82	1,12	1,04	0,76	0,93
General	IEP (días)	414	339	399	466	422
	IPC (días)	132	57	117	184	140
	Terneros / vaca-año	0,88	1,08	0,91	0,78	0,86

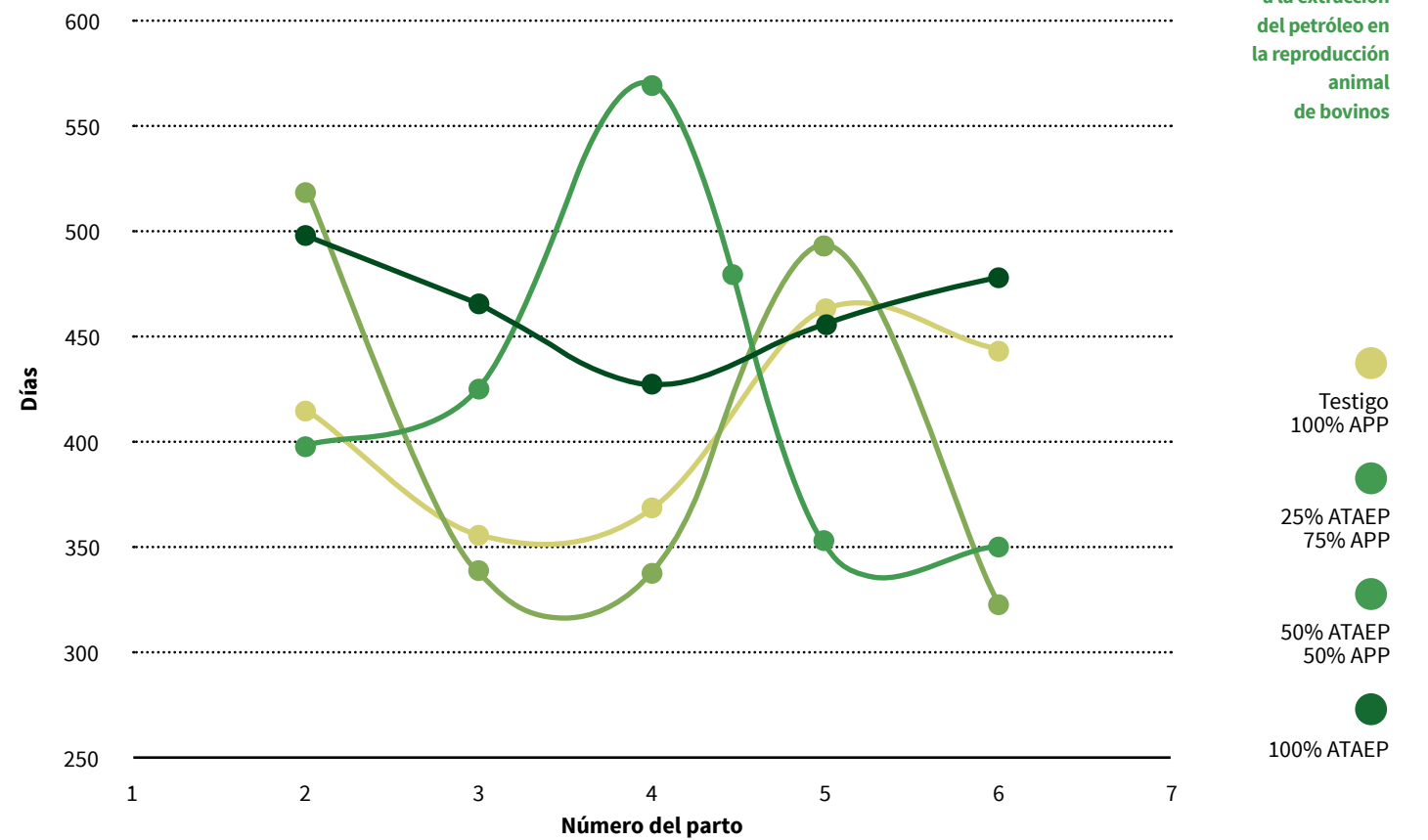
*IEP: intervalo entre partos; IPC: intervalo parto-concepción; terneros/vaca-año = Tasa natalidad.

→ **Tabla 29.** Medianas de intervalo entre partos, intervalo parto-concepción y tasa de natalidad por tratamiento y número del parto para las cohortes del CI La Libertad.

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la reproducción animal de bovinos



Figura 32. Dinámica de intervalo entre partos, por número del parto y porcentaje de agua de producción, durante la vida reproductiva de las cohortes del CI La Libertad



Fertilidad *in vivo* e *in vitro*

La fertilidad es la capacidad de un animal de producir o sustentar una progenie. Esta premisa puede considerarse cierta toda vez que la función reproductiva tanto del macho como de la hembra sean eficientes, parámetro que se determina en forma indirecta mediante la evaluación de calidad seminal y chequeos del tracto reproductivo del macho y de la hembra *in vivo*. También puede recurrirse a procesos *in vitro* siempre y cuando sean superados los exámenes físicos por observación y palpación de la condición corporal, el perímetro testicular, aplomos, epidídimo, pene y prepucio.

En este sentido, en la tabla 30 se pueden observar los cambios del comportamiento de los parámetros de calidad del semen en los cuatro tratamientos conside-

rados en el CI La Libertad. Cabe anotar que los resultados de los reportes individuales de cada evaluación de calidad espermática previos a su análisis no mostraron condiciones que indicaran alteraciones importantes que pudieran afectar la eficiencia reproductiva.

Los reportes por tratamiento para el análisis, realizado mediante medidas repetidas en el tiempo, se enmarcan en un periodo en el que se llevaron a cabo siete pruebas en el CI La Libertad por tratamiento. Las variables consideradas fueron: volumen, concentración, motilidad, viabilidad, morfología e índice de calidad espermática (ICE).

Los resultados nos indican que entre los tratamientos no se presentaron diferencias significativas para la concentración y el ICE (es de resaltar que el ICE integra los indicadores de viabilidad, motilidad y morfología). Por otra parte, los valores obtenidos en los cuatro tratamientos para todas las variables evaluadas se encuentran dentro de los rangos determinados para toros con buenas condiciones como potencialmente reproductores.



Tabla 30. Valores promedio de evaluación de la calidad espermática para concentración e ICE de toros que consumieron diferentes mezclas de ATAEP en el CI La Libertad

Indicador	N.º de pruebas	Tratamiento 1 (100%)	Tratamiento 2 (50%)	Tratamiento 3 (25%)	Tratamiento 4 (0%)
Concentración (EPZ x10 ⁶)	7	960,67 + 238,5 a	993,33 + 5,32 a	890 + 130,77 a	1.019 + 156,31 a
Índice de Calidad espermática ICE	7	0,52 + 0,08 a	0,49 + 0,05 a	0,47 + 0,08 a	0,51 + 0,07 a

*Letras similares dentro de una fila no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

En la tabla 31 se pueden observar algunos resultados de evaluación diagnóstica del tracto reproductivo con apoyo del ultrasonido. Estos resultados no señalan cambios visibles que puedan ser atribuibles al tratamiento para las variables denominadas como estructuras del tracto reproductivo, actividad ovárica, desarrollo embrionario, pérdida embrionaria, quistes foliculares y quistes luteínicos. Los datos obtenidos con respecto a alteraciones estructurales

del tracto reproductivo corresponden a afecciones de tipo inflamatorio a nivel cérvix y vagina, definidos más de tipo infeccioso.

Los resultados obtenidos para toros tratados en el ASA (tabla 32) no muestran diferencias en las variables de calidad espermática concentración e ICE, lo que nos indica, al igual que en el CI La Libertad, que no se observan cambios por efecto del consumo ATAEP.

Variable	Tratamiento 100%	Tratamiento 50%	Tratamiento 25%	Tratamiento testigo
Número de evaluaciones	144	126	126	180
Cambios estructurales del tracto reproductivo vacío encontrados (%)	5,71	5,56	4,76	6,66
Alteración de la actividad ovárica normal (%)	0	0	0	0
Pérdida embrionaria temprana (determinada por repetición o no del celo) (%)	0	0	0	0
Quistes foliculares (%)	0	0	0	0
Quistes luteínicos (%)	0	0	0	0

*0 = alteraciones no detectadas.



Tabla 31. Alteraciones del tracto reproductivo registradas durante las evaluaciones diagnósticas de monitoreo para cada tratamiento de las hembras bovinas en CI La Libertad



Tabla 32. Valores promedio de evaluación de la calidad espermática para concentración e ICE de toros que consumieron diferentes mezclas de ATAEP en el ASA

Indicador	N.º de pruebas	Tratamiento 1 (100%)	Tratamiento 2 (50%)	Tratamiento 3 (25%)	Tratamiento 4 (0%)
Concentración (EPZ x10 ⁶)	3	865,61 + 241,3 a	918,32 + 5,32 a	795 + 280,74 a	1.019 + 156,31 a
Índice de Calidad espermática ICE	3	0,40 + 0,04 a	0,38 + 0,07 a	0,38 + 0,04 a	0,43 + 0,09 a

*Letras diferentes dentro de cada fila son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

De igual forma que en el CI La Libertad, la evaluación del tracto reproductivo por observación con apoyo del ultrasonido tampoco mostró cambios de-

finidos por efecto del consumo de ATAEP. Las alteraciones encontradas fueron más de tipo infeccioso por manipulación (tabla 33).

Variable	Tratamiento 100%	Tratamiento 50%	Tratamiento 25%	Tratamiento testigo
Número de evaluaciones	90	90	72	126
Cambios estructurales del tracto reproductivo vacío encontrados (%)	4,44	3,33	6,94	4,76
Alteración de la actividad ovárica normal (%)	0	1,11	0	0
Pérdida embrionaria temprana (determinada por repetición o no del celo) (%)	0	0	0	0
Quistes foliculares (%)	0	0	0	0
Quistes luteínicos (%)	0	1,11	0	0

*0 = alteraciones no detectadas.



Tabla 33. Alteraciones del tracto reproductivo registradas durante las evaluaciones diagnósticas de monitoreo para cada tratamiento de las hembras bovinas en el ASA



Maduración del ovocito

En la tabla 34 se pueden observar los resultados obtenidos del proceso de maduración ovocitaria de ovocitos extraídos de los ovarios de las vacas que hicieron parte de los diferentes tratamientos evaluados. De igual forma, en la figura 33 se aprecian las ilustraciones de los ovocitos en los diferentes periodos del proceso de maduración desde el ovocito inmaduro, maduro y con tinción en donde podemos apreciar un estado de metafase II (placa metafásica).

Los resultados obtenidos para la variable considerada como ovocito maduro no mostraron diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, lo que indica que en estos animales monitoreados la actividad de maduración de ovocitos no se vio afectada por el consumo de ATAEP.



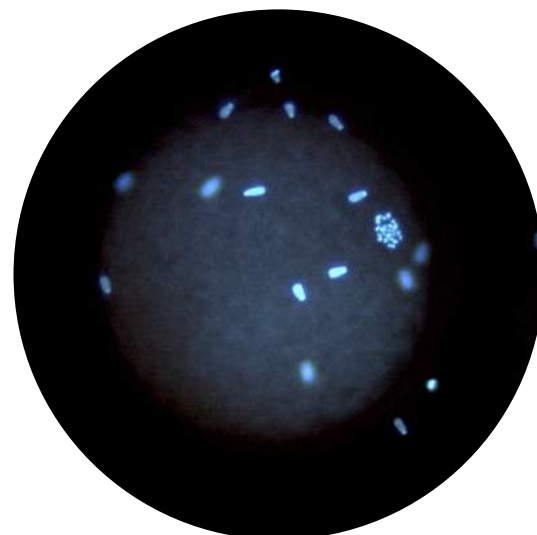
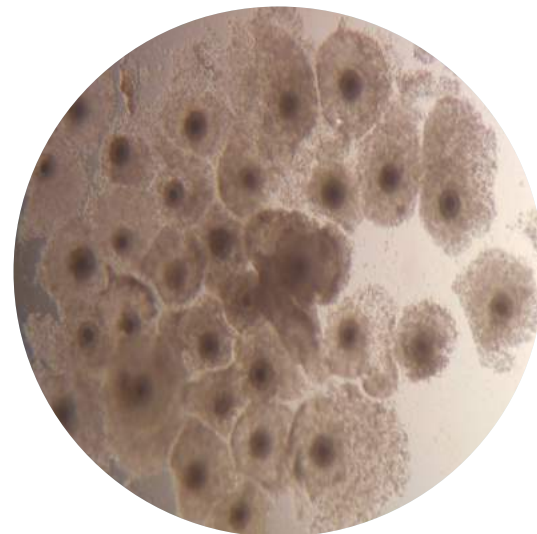
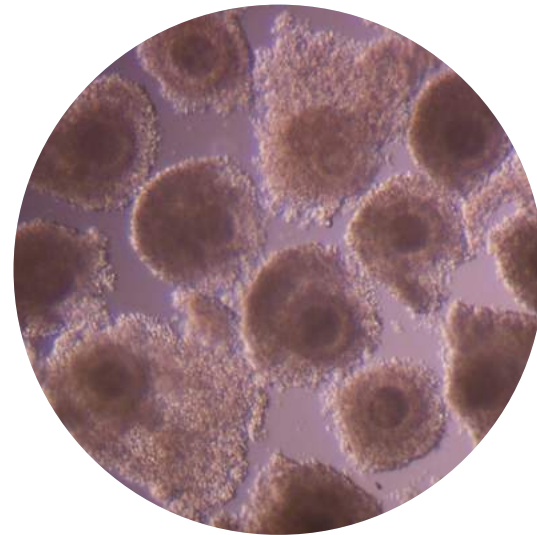
Tabla 34. Procesos de maduración ovocitaria de oocitos obtenidos por aspiración folicular para cada uno de los tratamientos del CI La Libertad

Variable	Tratamiento 100%	Tratamiento 50%	Tratamiento 25%	Tratamiento testigo
Pruebas	3	3	3	3
Ovocitos colectados para maduración	45	38	42	43
Ovocitos maduros %	77,05 ± 4,38 a	81,32 ± 5,07 a	78,35 ± 4,27 a	80,20 ± 3,65 a

*Letras similares dentro de una fila no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).



Figura 33. Imagen superior: ovocitos inmaduros; centro: ovocitos maduros con expansión de las células del cumulus oophorus; inferior: ovocito maduro con placa metafásica



Fecundación in vitro y desarrollo embrionario

En este apartado se presentan los resultados de la evaluación de semen criopreservado de los toros tratados con ATAEP. En la tabla 35 se pueden observar los datos de fecundación y desarrollo embrionario para los sémenes criopreservados previamente de cada uno de los tratamientos evaluados. En estos se observan diferencias significa-

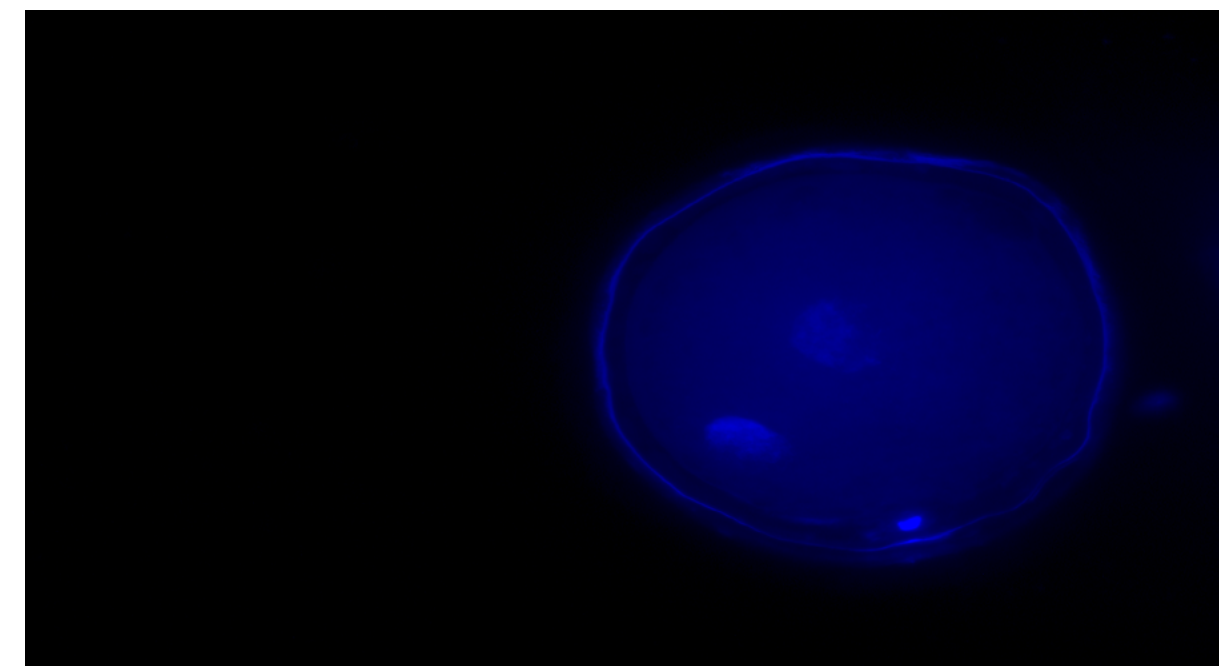
tivas tanto para el proceso de fecundación in vitro como para el desarrollo embrionario, determinado como porcentaje de blastos. Los valores mínimos se presentaron en el tratamiento 50%, y los máximos, en los tratamientos 100% y testigo. Los análisis indican que estos cambios obtenidos no se asocian a los tratamientos de ATAEP a los que se sometieron los grupos experimentales. En la figura 34 podemos observar un ovocito fertilizado en donde se visualizan los pronúcleos masculino y femenino.



Tabla 35. Valores promedio de evaluación de la calidad espermática *in vitro* mediante pruebas de fecundación y desarrollo embrionario en ovocitos de matadero

Indicador	N.º de pruebas	Tratamiento (100%)	Tratamiento (50%)	Tratamiento (25%)	Tratamiento (0%)
Fecundación <i>in vitro</i> (%)	5	66,9 + 7,2 a	53,20 + 1,9 b	61,40 + 3,36 ab	70,8 + 7,3 a
Desarrollo embrionario (%)	5	36,28 + 6 a	24,26 + 4,3 b	29,32 + 3,6 ab	34,28 + 8,4 a

*Letras diferentes dentro de cada fila son estadísticamente diferentes (p<0,05).



Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la reproducción animal de bovinos



Figura 34. Ovocito fertilizado, se observa la presencia de los dos pronúcleos

05

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la salud animal (bovinos y aves)

Diego Ortiz Ortega
 Jorge Luis Parra Arango
 José Guillermo Velásquez Penagos



Bovinos

Evaluaciones clínicas

En el periodo de exposición de los bovinos a consumo de ATAEP en las estaciones Castilla y Apiay no se presentaron abortos; de igual forma, no se detectó ninguna manifestación de posibles mortalidades embrionarias. Por otra parte, en los diagnósticos semiológicos no se determinaron hallazgos de alteraciones de los sistemas cardiorrespiratorio, digestivo y reproductivo.

Asimismo, las evaluaciones clínico-fisiológicas realizadas a los animales experimentales durante todo el desarrollo del proyecto no indicaron evidencias de alteraciones patológicas relacionadas con los tratamientos. La evaluación urogenital fue acompañada de análisis de glucosa, bilirrubina, cetona, presencia de sangre, proteínas en orina, urobilinogeno, nitritos y leucocitos, y los resultados obtenidos no mostraron cambios patológicos; los cambios observados fueron de tipo fisiológico,

por efecto del estado reproductivo y de la etapa de crecimiento. Por otro lado, las muertes registradas fueron algunas accidentales y las programadas para la evaluación macro y microscópica.

En el estudio, los signos vitales (frecuencias cardíaca y respiratoria, y temperatura) fueron determinados como apoyo del diagnóstico clínico. La información obtenida en este punto tuvo una función de soporte para el seguimiento y monitoreo de los animales.

Hematología

Hematocrito

El hematocrito es un indicador del porcentaje volumétrico de los glóbulos rojos que tiene gran significado clínico. La media general de esta variable en los bovinos del ASA fue de 35%. El menor porcentaje (34%) se presentó en el testigo y en el tratamiento 50%, y el mayor (36%), en el tratamiento 25%, sin diferencias significativas entre ellos. El tratamiento 100% por su parte registró un porcentaje intermedio (tabla 36). En cualquier caso, la respuesta obtenida no se asocia con el consumo de ATAEP.

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la salud animal (bovinos y aves)

Tratamiento	N	Hematocrito %	Desviación estándar.	Error estándar	IC media 95%	
					Li	Ls
Testigo	187	34 a	4,659	0,341	33	35
25%	168	36 a	7,101	0,548	35	37
50%	184	34 a	6,470	0,477	33	35
100%	178	35 a	6,861	0,514	34	36

*Li: límite inferior; Ls: límite superior. Letras similares dentro de una columna no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

←
Tabla 36.
 Estadígrafos normales para hematocrito por tratamiento en las cohortes bovinas del ASA

Hemoglobina

La media general de hemoglobina en los bovinos del ASA fue 10,56 g/dl. La respuesta obtenida, al igual que en el caso del hematocrito, no mostró diferencias entre tratamientos (tabla 37).

un valor significativamente superior en esta variable (6,56 g/dl), mientras que el tratamiento 50% tuvo la menor concentración (6,04 g/dl). La tabla 38 muestra los promedios, las medidas de dispersión y el intervalo de confianza de las concentraciones de proteínas séricas por tratamiento. Los valores obtenidos están dentro de los rangos esperados para estos bovinos del sistema doble propósito.

Proteínas séricas

La concentración general de proteínas séricas fue de 6,3 g/dl. El tratamiento testigo presentó



Tabla 37. Estadígrafos normales para hematocrito por tratamiento en las cohortes bovinas del ASA

Tratamiento	N	Hemoglobina g/dl	Desviación estándar g/dl	Error estándar g/dl	IC media 95%	
					Li Hb	Ls Hb
Testigo	187	10,25 a	1,4119	0,1032	10,04	10,45
25%	168	10,82 a	2,1517	0,1660	10,50	11,15
50%	184	10,31 a	1,9607	0,1445	10,02	10,59
100%	178	10,62 a	2,0790	0,1558	10,32	10,93

*Hb: hemoglobina; g/dl: gramos/decilitro; Li: límite inferior; Ls: límite superior. Letras similares dentro de una columna no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).



Tabla 38. Estadígrafos normales para proteínas séricas por tratamiento en las cohortes bovinas del ASA

Tratamiento	N	Proteínas séricas g/dl	Desviación estándar g/dl	Error estándar g/dl	IC media 95%	
					Li g/dl	Ls g/dl
Agua control	186	6,56 b	0,746	0,055	6,45	6,67
25%	168	6,25 a	0,677	0,052	6,15	6,35
50%	184	6,04 a	0,692	0,051	5,94	6,14
100%	178	6,21 a	0,057	0,755	6,10	6,32

*g/dl: gramos/decilitro; Li: límite inferior; Ls: límite superior. Letras distintas dentro de una columna se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

Colesterol

El colesterol y los ésteres de colesterol son lípidos importantes en la dieta que provienen de las grasas y los fosfolípidos de las plantas, y constituyen una fuente energética fundamental para el mantenimiento y producción de la leche y carne en bovinos. Debido a la fisiología especial que presentan los rumiantes, donde aproximadamente un 90% de la glucosa es producida por el hígado, la existencia de un déficit energético en la ración puede ser compensada movilizand las reservas energéticas almacenadas en el tejido lipídico.

tabla 39 se observan los valores promedio de colesterol sérico entre tratamientos evaluados en el CI La Libertad.

Los resultados indican que los menores valores promedio entre tratamientos se presentaron en el grupo testigo, pero al análisis estadístico estas diferencias no fueron significativas (p>0,05), lo que indica que las ATAEP no están asociadas con el comportamiento de este indicador. Estos hallazgos son coherentes con lo observado en la condición corporal para el grupo de tratamiento testigo.

Existe una gran correlación entre la producción y condición corporal y enfermedades reproductivas con el colesterol. Con esto presente, en la

En la tabla 40 se pueden observar los valores promedio de colesterol obtenidos de los animales experimentales en el ASA, los cuales se enmarcan dentro de los de referencia para la especie.



Tabla 39. Promedios de colesterol sanguíneo de los grupos sometidos a diferentes tratamientos de ATAEP en el CI La Libertad

Variable	N.º de muestras	Tratamiento (100%)	Tratamiento (50%)	Tratamiento (25%)	Tratamiento testigo
Colesterol mg/dl	120	116,3 ± 54,4 a	128,0 ± 51,8 a	132,1 ± 64,6 a	102,9 ± 42,2 a

*Colesterol valor de referencia: 68-199 mg/dL. Letras similares dentro de una fila no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).



Tabla 40. Promedios de colesterol sanguíneo de los grupos sometidos a diferentes tratamientos de ATAEP en el ASA

Variable	N.º de muestras	Tratamiento (100%)	Tratamiento (50%)	Tratamiento (25%)	Tratamiento testigo
Colesterol mg/dl	114	113,7 ± 12,3 a	132,3 ± 21,6 a	162,7 ± 13,4 b	128,1 ± 31,5 a

*Colesterol VR: 68-199 mg/dl. Letras similares dentro de una fila no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

Pruebas de función hepática AST y GGT

El test bioquímico de aspartato transaminasa (AST) y gamma-glutamyl-transferasa (GGT) tiene gran significado dentro de la evaluación de la función hepática y puede ayudar a diagnosticar una necrosis hepatocelular. La GGT, específicamente, es un gran indicador

de éxtasis biliar y lesiones hepáticas. Los valores presentados en la tabla 41 son los resultados de esta evaluación en el CI La Libertad. Estos se encuentran dentro de los rangos referenciales, sin diferencia significativa entre tratamientos, y no son indicativos de alteraciones de la función hepática. Lo mismo se puede concluir de los resultados en el ASA (tabla 42)

Variable	N.º de muestras	Tratamiento (100%)	Tratamiento (50%)	Tratamiento (25%)	Tratamiento testigo
AST U/L	120	63,92 ± 30,2 a	68,43 ± 25,3 a	62,99 ± 20,3 a	58,82 ± 24,7 a
GGT U/L	100	10,77 ± 5,92 a	14,11 ± 6,15 a	11,01 ± 5,94 a	12,53 ± 7,23 a



Tabla 41. Valores promedio de ALT, AST y GGT de bovinos sometidos a tratamientos de consumo de ATAEP en el CI La Libertad

*AST VR: 58-100 U/L GGT VR: 12-64 U/L. Letras similares dentro de una fila no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).

Variable	N.º de muestras	Tratamiento (100%)	Tratamiento (50%)	Tratamiento (25%)	Tratamiento testigo
AST U/L	98	67,94 ± 28,2 a	72,48 ± 26,43 a	59,79 ± 23,32 a	55,79 ± 27,82 a
GGT U/L	88	14,78 ± 5,81 a	17,15 ± 7,26 a	16,01 ± 4,92 a	14,33 ± 6,42 a



Tabla 42. Valores promedio de ALT, AST y GGT de bovinos sometidos a tratamientos de consumo ATAEP en el ASA.

*AST VR: 58-100 U/L GGT VR: 12-64 U/L. Letras similares dentro de una fila no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).



Aves

Demografía y tasa de mortalidad

Para analizar los efectos de las ATAEP en pequeñas especies, se hicieron estudios en aves de línea racial y edad homogénea, distribuidas en los mismos tratamientos descritos para bovinos, esto es, 100%, 50%, 25% y testigo (0%). Por grupo experimental, se presentaron variaciones en la estructura de la población debido a sacrificios planeados y mortalidad durante 55 semanas de monitoreo.

En cuanto a los sacrificios planeados, se efectuaron 64, que correspondieron, al 31,8% de la población inicial. De cada tratamiento, se sacrificaron cinco animales en las semanas 10, 33 y 51 de edad, con excepción del grupo testigo, en el que se sacrificaron nueve animales en la semana 10. Los porcentajes de aves de sacrificio planeados fueron 38%, 29%, 30% y 30% para los tratamien-

tos testigo, 25% de ATAEP, 50% de ATAEP y 100% de ATAEP, respectivamente.

Extraídos los 64 animales de sacrificio planeado de la población inicial, se evaluaron las tasas de mortalidad-supervivencia en dos cohortes de 35 aves para los tratamientos 50% y 100%, una cohorte de 36 aves para el tratamiento 25%, y una cohorte de 31 aves para el tratamiento testigo.

La mortalidad no se encontró asociada al porcentaje de ATAEP. Asimismo, no se presentó una tendencia significativa que sugiriera que la mortalidad se incrementa a medida que el porcentaje de aguas de producción es mayor (tabla 43).

La tasa de mortalidad, expresada como la velocidad a la cual se presentó el evento muerte en cada cohorte, se muestra en la tabla 44 y varió desde 0,50 aves muertas/ave-año en el tratamiento testigo hasta 0,61 aves muertas/ave-año, una distancia de casi 10 puntos porcentuales si se traslada la tasa a 100 aves-año. Asimismo, se aprecia cómo el intervalo de confianza de la tasa de mortalidad del tratamiento 25% está contenido dentro de los intervalos de confianza de los tratamientos 50% y 100%, lo cual indica que son iguales entre sí.

Tratamiento	Frecuencia	Muertos	Sobrevivientes	Total
Testigo	Recuento	13	18	31
	% por fila	41,9	58,1	100,0
	% por columna	20,2	24,6	22,6
25%	Recuento	17	19	36
	% por fila	47,2	52,8	100,0
	% por columna	26,6	26,0	26,4
50%	Recuento	17	18	35
	% por fila	47,2	51,4	100,0
	% por columna	26,6	24,7	25,5
100%	Recuento	17	18	35
	% por fila	47,2	51,4	100,0
	% por columna	26,6	24,7	25,5
Total	Recuento	64	73	137
	% por fila	46,7	53,3	100,0
	% por columna	100,0	100,0	100,0

X²: 0,3851; gl: 3; significancia: 0,9433. Tendencia lineal de proporciones: X²: 0,2827; gl: 1; significancia: 0,5949 (Epidat 3.1). *Excluye las aves de sacrificio planeado.

Efectos del consumo de agua tratada asociada a la extracción del petróleo en la salud animal (bovinos y aves)



Tabla 43. Frecuencias y porcentaje de muertos por porcentaje de agua de producción



Tabla 44. Tasa de mortalidad anualizada de aves por porcentaje de ATAEP en primeras 55 semanas de edad

Porcentaje de agua de producción	Aves muertas	Aves-año	Tasa de mortalidad por ave-año	IC 95% tasa de mortalidad	
				Límite inferior	Límite superior
0	13	25,8	0,504	32,1	67,9
25	17	29,0	0,586	40,7	74,5
50	17	28,0	0,607	42,4	76,4
100	17	28,0	0,607	42,4	76,4
Total	64	110,8	0,578	48,4	66,4

Para demostrar que las tasas de mortalidad fueron iguales o diferentes entre sí, se efectuó una evaluación de riesgo relativo, razón de tasas, con las proporciones afectadas con y sin el factor. Se corrieron comparaciones por pares de tratamientos, donde el presunto factor causal fue la mayor concentración de ATAEP con respecto al par menor. En este análisis no se observó causalidad de los tratamientos de ATAEP

en la tasa de mortalidad, ya que no hubo significancia estadística y el límite inferior de los intervalos de confianza del riesgo relativo fue inferior a 1 (tabla 45).

Las tasas de mortalidad más frecuentes fueron picaje (18/110,8 aves-año=16,2/100 aves-año), colibacilosis (7/110,8 aves-año=6,3/100 aves-año) y coccidiosis (5/110 aves-año=4,5/100 aves-año).



Tabla 45. Riesgo relativo y causalidad del porcentaje de agua de producción en la tasa de mortalidad de aves.

Pares de tratamientos	Riesgo relativo (RR)	RR límite inferior 95 %	RR límite superior 95%	z	Significancia
100 % Testigo	1,21	0,59	2,50	0,3451	0,7300 ns
100 % 25 %	1,04	0,53	2,03	-0,0692	0,9448 ns
100 % 50 %	1,00	0,51	1,96	0,1715	0,8638 ns
50 % Testigo	1,21	0,59	2,50	0,3451	0,7300 ns
50 % 25 %	1,04	0,52	2,03	-0,0692	0,9448 ns
25 % Testigo	1,79	0,87	3,68	1,417	0,1565 ns



Evaluación macro y microscópica de tejidos para todas las especies evaluadas

Bovinos

Evaluación macroscópica

En la evaluación macroscópica de los bovinos sacrificados que hicieron parte del estudio no se presentaron cambios significativos. El aspecto de tejidos de los diferentes órganos fue normal.

Evaluación microscópica

Este análisis tomó el concepto de tres expertos. Los diagnósticos de las lecturas de láminas por órgano en diferentes necropsias se relacionan en la tabla 46. Asimismo, en las figuras 35-45 se muestran los registros fotográficos de algunos cambios observados por histopatología.



Cambios encontrados en diferentes lecturas de láminas de semovientes expuestos a ATAEP

Pulmón



Experto A

Engrosamiento de septos interalveolares, congestión vasos sanguíneos, edema bronquiolar, neumía lobular, con infiltrado celular polimorfonuclear neutrófilos y presencia de macrófagos. Zonas edematizadas. Focos neumónicos perilobulillares, con infiltración de células polimorfonucleares neutrófilos, edema y engrosamiento de septos interalveolares Focos neumónicos, infiltrado celular dado por polimorfonucleares neutrófilos.

Zonas enfisematosas, engrosamiento de septos interalveolares, congestión. Infiltración de células mononucleares peribronquiolar, edema septos interalveolares engrosados, infiltración de células mononucleares alrededor de bronquiolos, edema, enfisema.



Experto B

Como hallazgo importante se encontró, en pulmón en el intersticio alveolar, marcada retención de PMN neutrófilos hipersegmentados, lo cual sugiere posiblemente un proceso infeccioso bacteriano. Se debe tener en cuenta que en el total de tejidos evaluados no se encontraron lesiones contundentes que permitan sugerir algún agente patógeno en particular. En la mayoría de vasos sanguíneos, especialmente en pulmón, se encontraron células inflamatorias de la línea linfoide y mioide inmaduras.



Experto C

Congestión de vasos sanguíneos; engrosamiento de septos interalveolares con infiltración de células mononucleares, linfocitos y macrófagos.

Congestión de vasos sanguíneos; engrosamiento de septos interalveolares e hiperplasia de nódulos linfoides sistema BALT.











Testigo

Se encontró leve neumonía intersticial, asociada posiblemente a un proceso septicémico y toxémico bacteriano, ya que se encontró un número importante de PMN neutrófilos y MN en las septas alveolares.



Tabla 46. Diagnósticos de tres expertos en la evaluación microscópica de láminas tomadas en necropsias

	 Experto A	 Experto B	 Experto C	 Testigo
Tej. muscul. estriado	Presencia de quistes protozoarios <i>Sarcocystes bovis</i> .	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.
Bazo	Infiltración perivascular. Congestión pulpa roja.	Marcados cambios depléticos en áreas T y B, y leve infiltración de PMN neutrófilos en forma difusa.	Infiltración grasa pericapsular; congestión de pulpa roja con presencia de monocitos. No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	Se encontraron de moderados a marcados cambios depléticos en centros germinales en áreas T y B y leve infiltración difusa de PMN neutrófilos.
Hígado	Infiltración mononuclear peripostal dada por monocitos y algunas células plasmáticas. Congestión degeneración vacuolar intracitoplasmática. Congestión sinusoidal, megalocitosis de hepatocitos. Congestión de sinusoides, megalocitosis.	Leves cambios degenerativos y regenerativos centrolobulillares. No se debe descartar un proceso hepatotóxico previo por plantas tóxicas.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes. Cambios vacuolares intracitoplasmáticos, megalocitosis, congestión sinusoidal y necrosis de coagulación multifocal con infiltrado celular de tipo mononuclear.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes. Congestión degeneración vacuolar intracitoplasmática.
Riñón	Congestión de vasos arciformes e interlobulillares.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes. Congestión de zona medular.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.
Musc. cardíaco	Se observan fibras musculares cardíacas con presencia de formas quísticas parasitarias del protozooario <i>Sarcocystes bovis</i> .	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.
Médula espinal	Congestión de vasos sanguíneos.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.
Mus. esquelético	Infiltración grasa pericapsular. Congestión de vasos sanguíneos.			
Rumen	Infiltrado mononuclear la lámina propia y en agregados nodulares dado por linfocitos. Congestión de vasos sanguíneos, infiltración grasa.			
Timo	Infiltración grasa pericapsular, depleción linfoidea.		No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	
Páncreas	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.		No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	
Ganglio linfático			Médula con infiltración celular en seno medular dada por macrófagos, linfocitos y PMN.	

	 Experto A	 Experto B	 Experto C	 Testigo
Íleon	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.		Placas de Peyer hiperplásicas (hiperplasia nodular linfoidea).	
Intestino delgado		Leve enteritis parasitaria por coccidias.	Placas de Peyer hiperplásicas (hiperplasia nodular linfoidea). Infiltración celular en lámina propia de tipo mononuclear dada por linfocitos, macrófagos. Congestión de capilares sanguíneos. Infiltración grasa peritoneal.	
Intestino grueso			Infiltración de células mononucleares en lámina propia y submucosa dadas por linfocitos y macrófagos que producen engrosamiento de la mucosa. Congestión de vasos capilares sanguíneos. Hiperplasia nodular linfoide; infiltración de células mononucleares en lámina propia y submucosa dadas por linfocitos y macrófagos. Congestión de vasos capilares sanguíneos.	
Abomaso			Se observa proliferación de tipo mononuclear dada por macrófagos y linfocitos en la mucosa y submucosa, con conformación de células gigantes. Las lesiones observadas corresponden a una necrosis de tipo granulomatoso compatible con PTB I TBC.	
Testículo	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.		
Duodeno	Infiltración de células mononucleares en lámina propia.			
Cerebro: hipocampo	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.
Cerebro: hipocampo	Congestión de vasos meníngeos.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.	No se presentaron cambios histopatológicos aparentes.
Coprológico		<i>Coccidia</i> sp.: Escasas <i>Coccidia</i> sp.: ++, <i>Trichostrongylus</i> sp.: +		

2 Diagnósticos sobresalientes de las lecturas realizadas

Experto A

Dx. La mayoría de los órganos observados se encuentran congestivos debido al tipo de sacrificio que se realizó.

Es destacada en este grupo la presencia de parásitos protozoáricos (*Sarcozystes bovis*), los cuales afectan musculatura estriada (cardíaca y esquelética).

Se destacan también los problemas respiratorios con francas pleurobronco neumonías.

Los daños hepáticos se caracterizan por degeneraciones vacuolares intracitoplasmáticas que se relacionan con efectos hepatotóxicos, lo cual vale la pena corroborar con resultados toxicológicos.

Experto B

Dx. No obstante las lesiones no son contundentes en los tejidos evaluados, se sugiere un proceso infeccioso agudo bacteriano.

Experto C

Dx. En este grupo se observaron algunos animales con reacciones granulomatosas en intestino grueso, situación que permite sospechar de paratuberculosis bovina, por lo que se sugiere confirmar el diagnóstico con coloración diferencial de Ziehl-Neelsen.

Los problemas respiratorios se destacan en este grupo, aunque con menor intensidad.

Los daños hepáticos también se caracterizaron por degeneraciones vacuolares intracitoplasmáticas que nuevamente se relacionan con efectos hepatotóxicos.

Testigo

Dx. Se sugiere un proceso septicémico agudo bacteriano, cuyo origen no se pudo establecer.

Los daños hepáticos también se caracterizaron por degeneraciones vacuolares intracitoplasmáticas que nuevamente se relacionan con efectos hepatotóxicos.



Figura 35. Submucosa de intestino grueso de bovino. Flecha verde: infiltración de células de tipo mononuclear dada por macrófagos y linfocitos. Flecha roja: conformación de células gigantes. Las lesiones observadas corresponden a una necrosis de tipo granulomatoso compatible con PTB o TBC. Hematoxilina y eosina (X400)

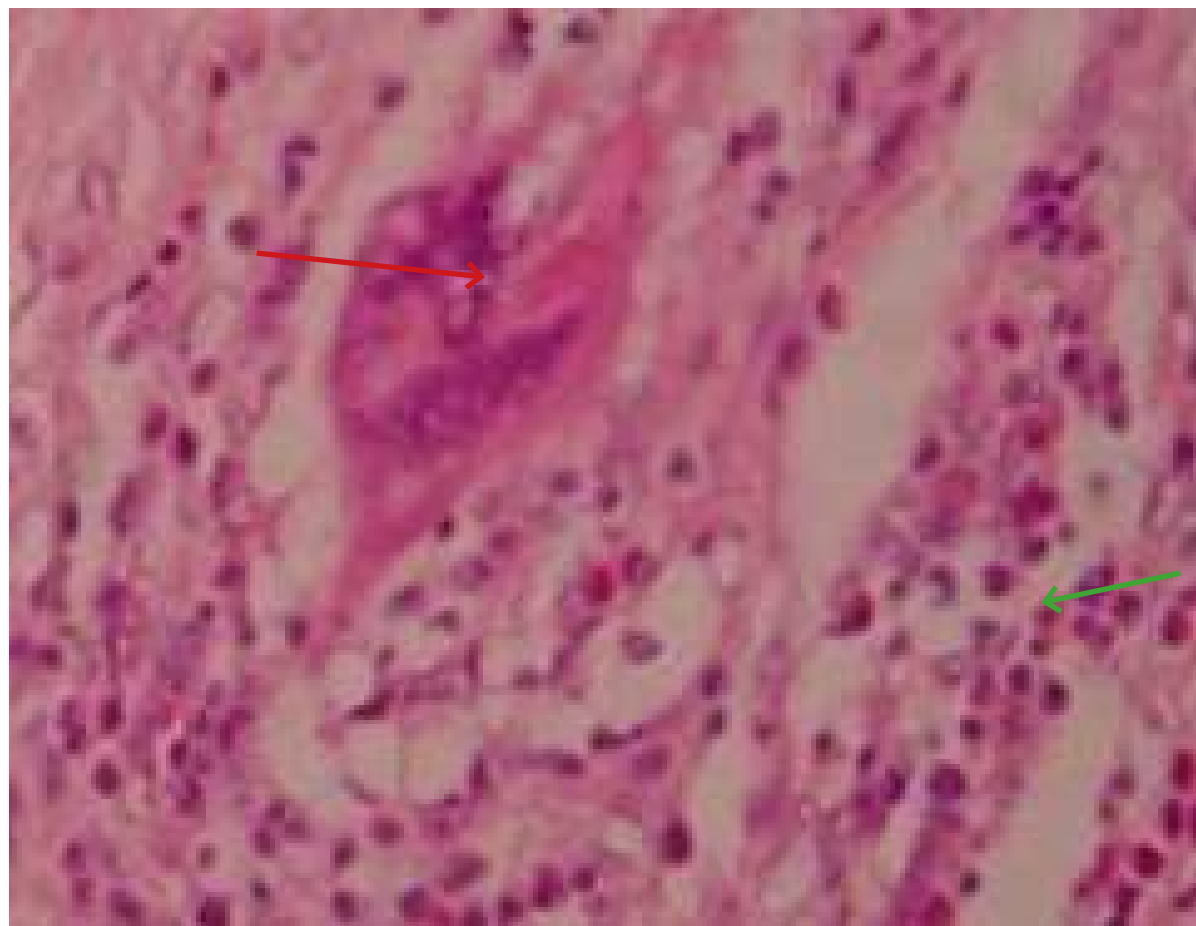


Figura 36. Submucosa de intestino grueso de bovino. Flecha verde: infiltración de células de tipo mononuclear dada por macrófagos y linfocitos. Flecha roja: conformación de células gigantes. Las lesiones observadas corresponden a una necrosis de tipo granulomatoso compatible con PTB o TBC. Hematoxilina y eosina (X400)



Figura 37. Hiperplasia nodular linfóide en submucosa y capa muscular de intestino grueso dada por infiltración de células mononucleares linfocitos y macrófagos (flecha roja). Hematoxilina y eosina (X400)

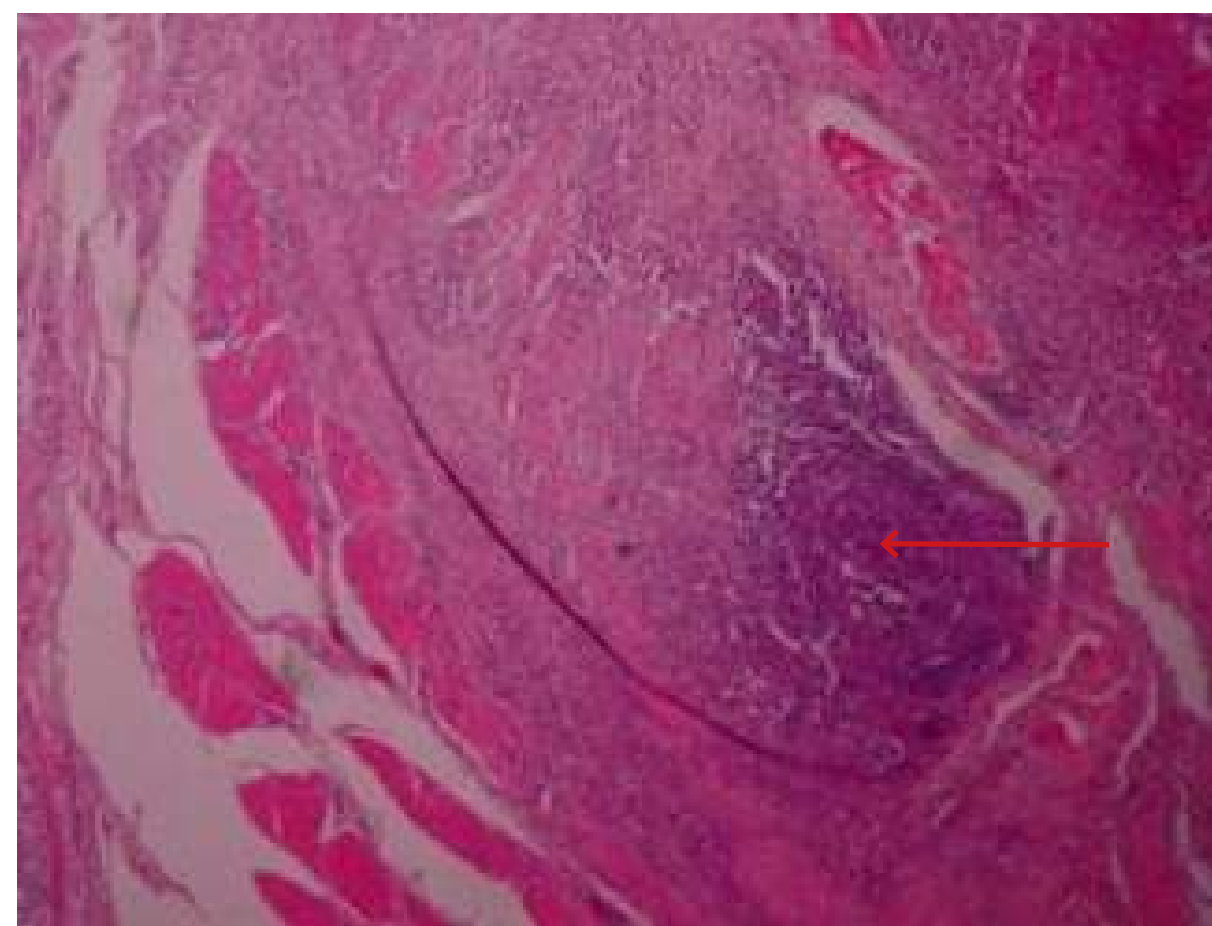




Figura 38. Hiperplasia nodular linfoide en submucosa y capa muscular de intestino grueso dada por infiltración de células mononucleares linfocitos y macrófagos (flecha roja). Hematoxilina y eosina (X400)

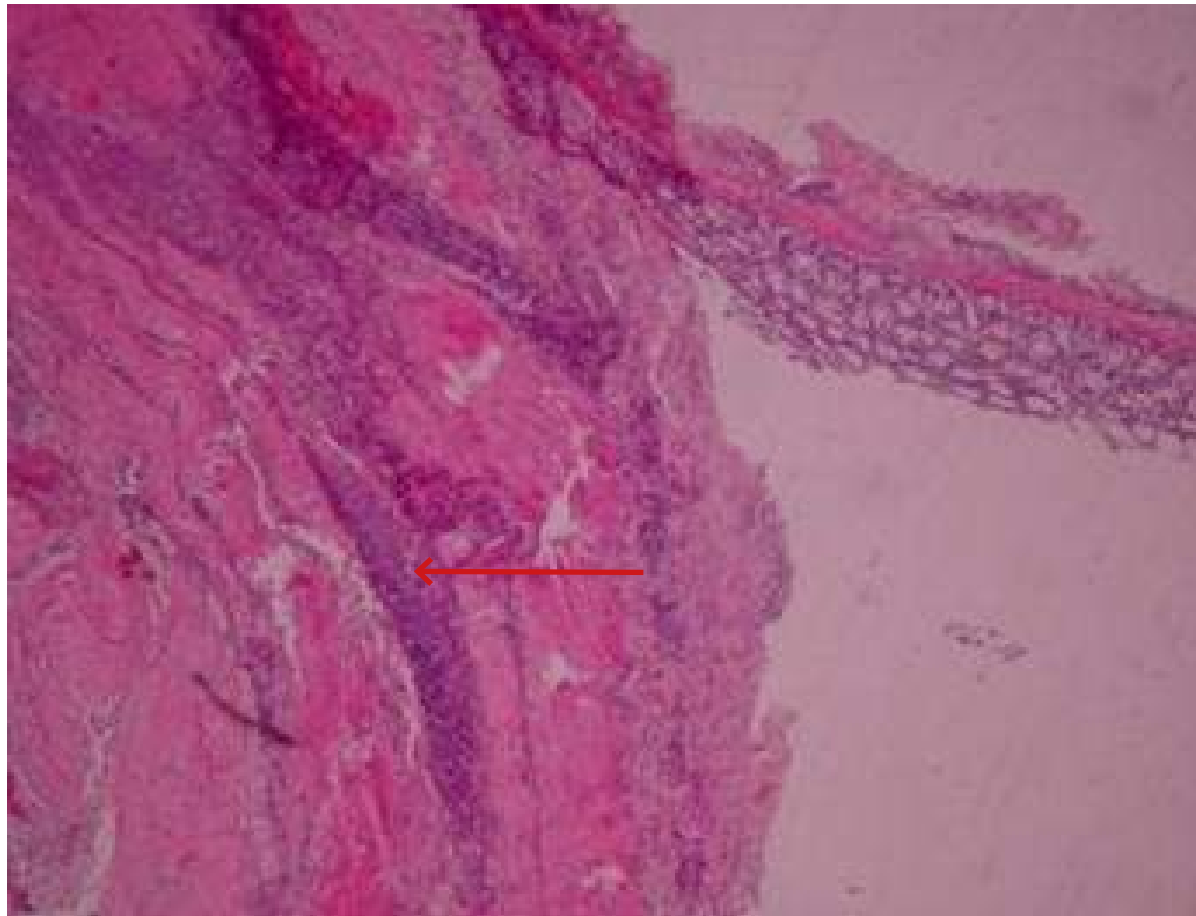


Figura 39. Histopatología de intestino grueso en la que se observa infiltración de tejido conectivo laxo adiposo (flecha roja). Hematoxilina y eosina (X400)

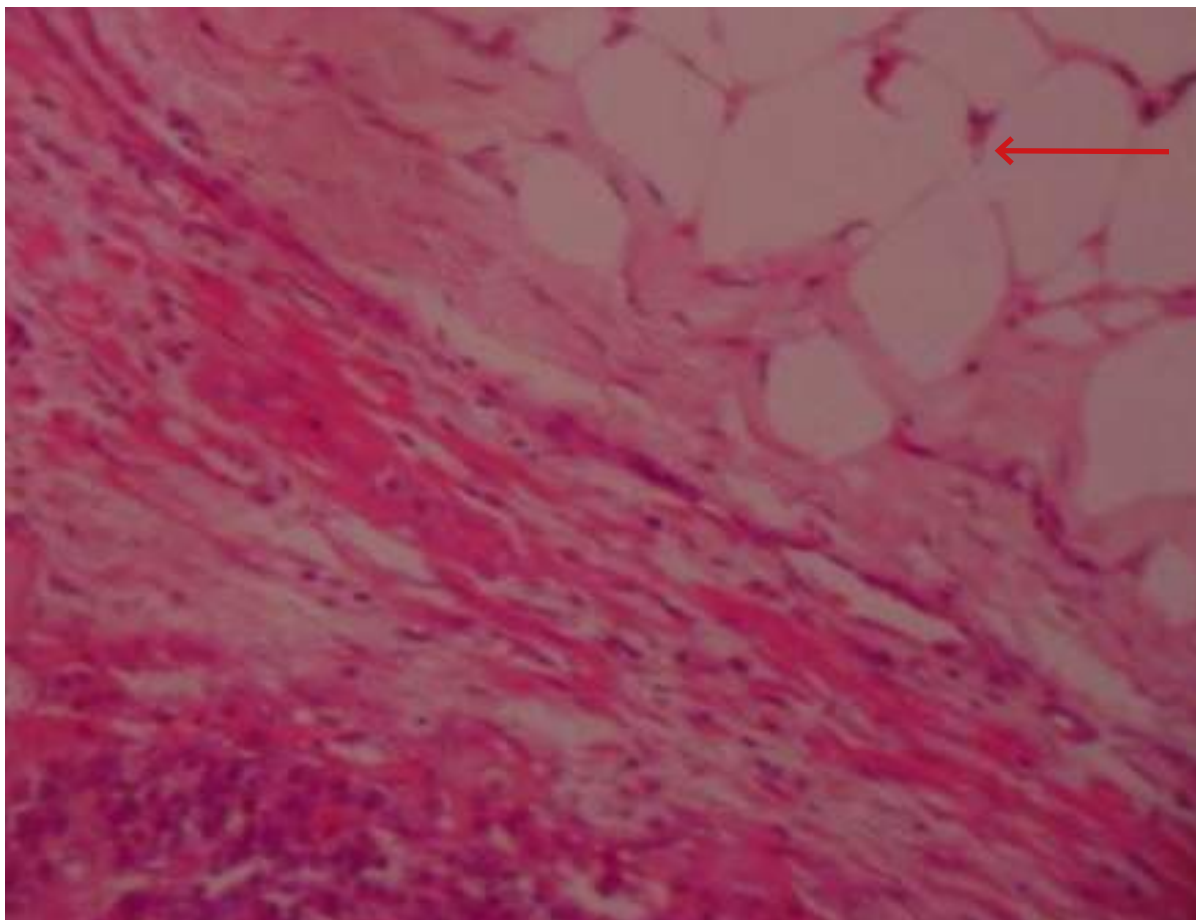


Figura 40. Histopatología de intestino grueso en la que se observa infiltración de células mononucleares linfocitos (flecha roja). Hematoxilina y eosina (X400)

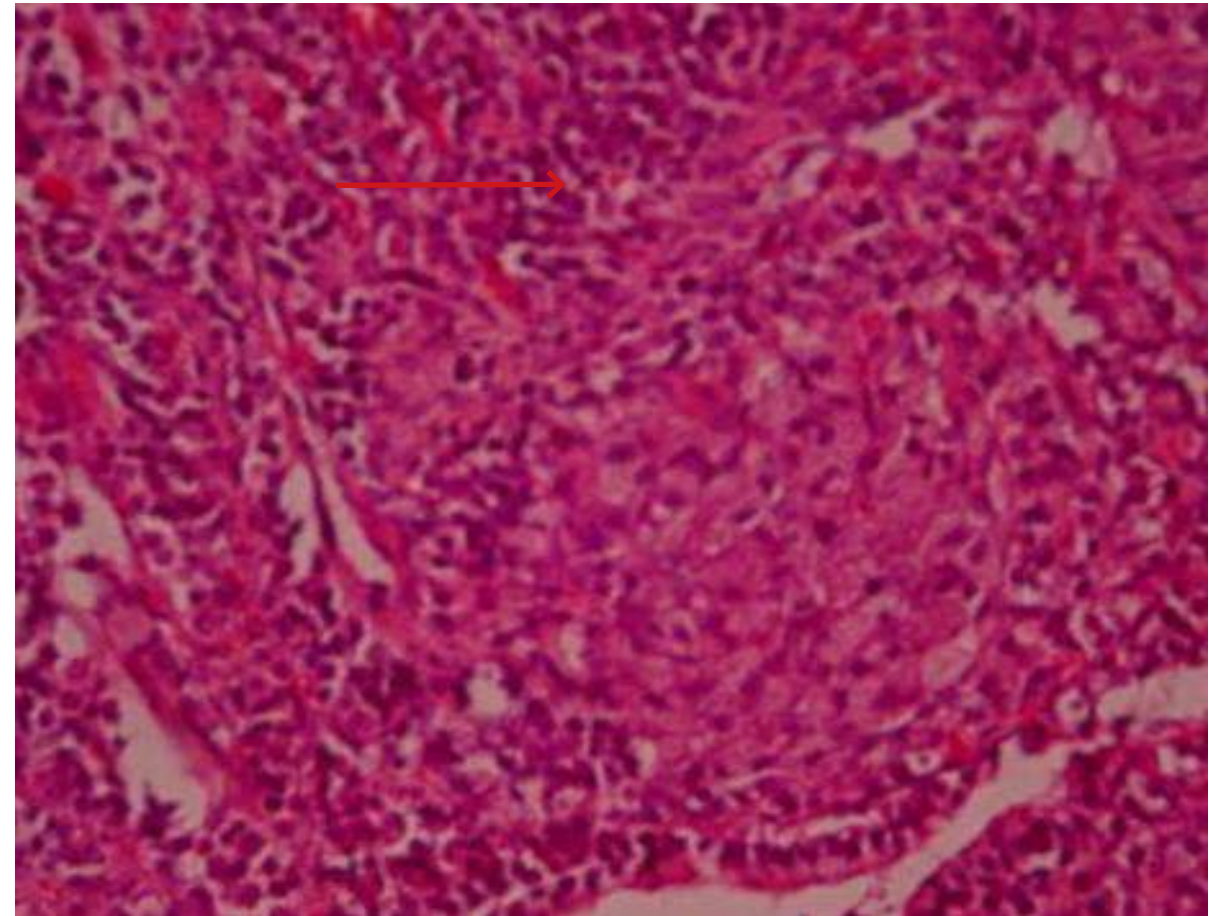
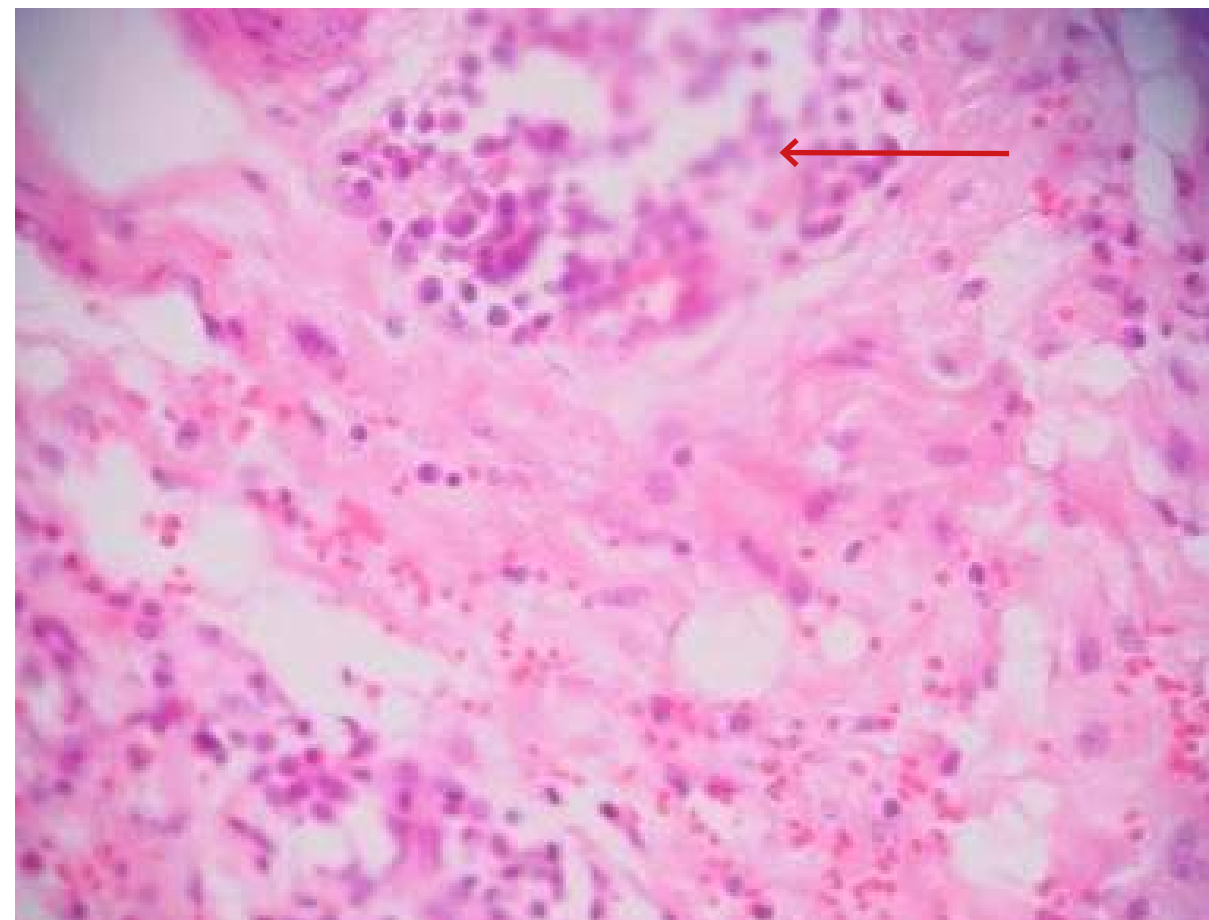
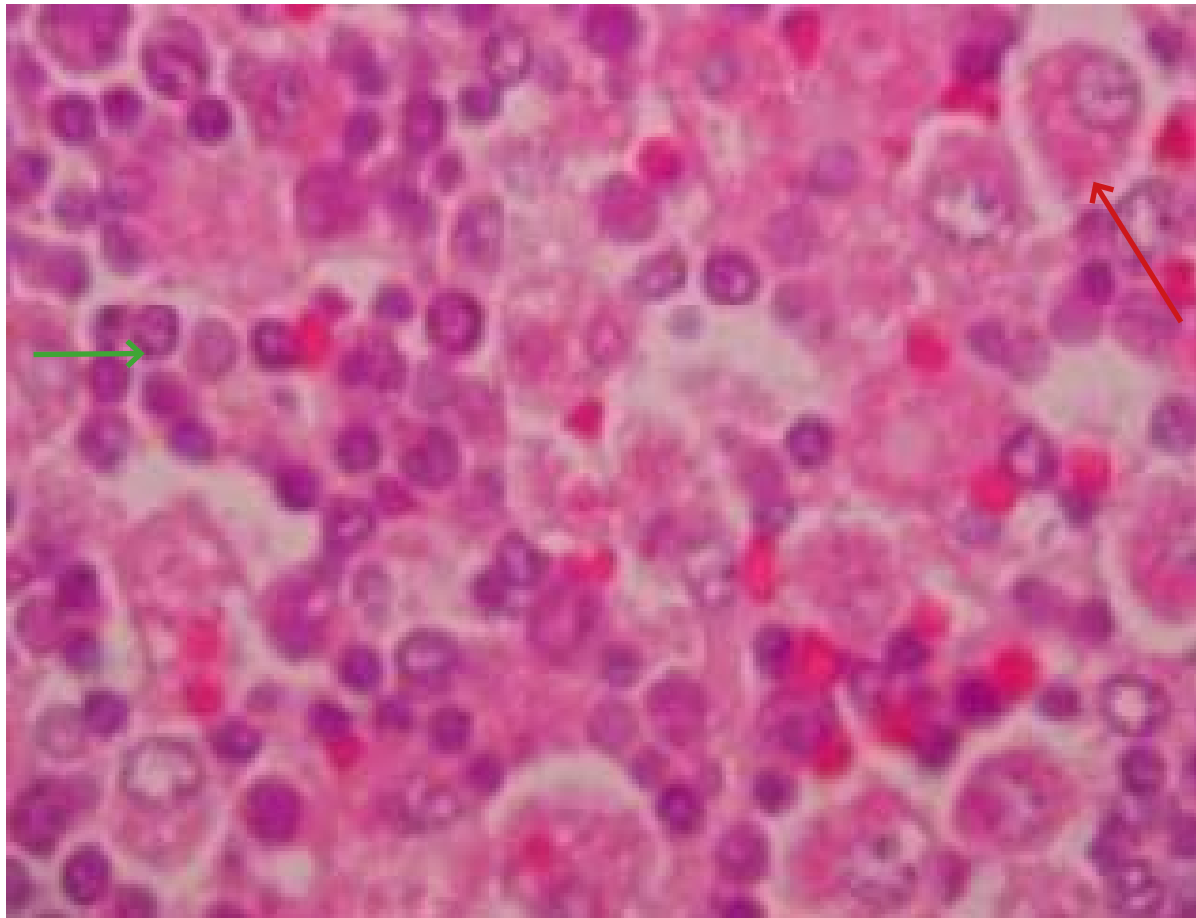
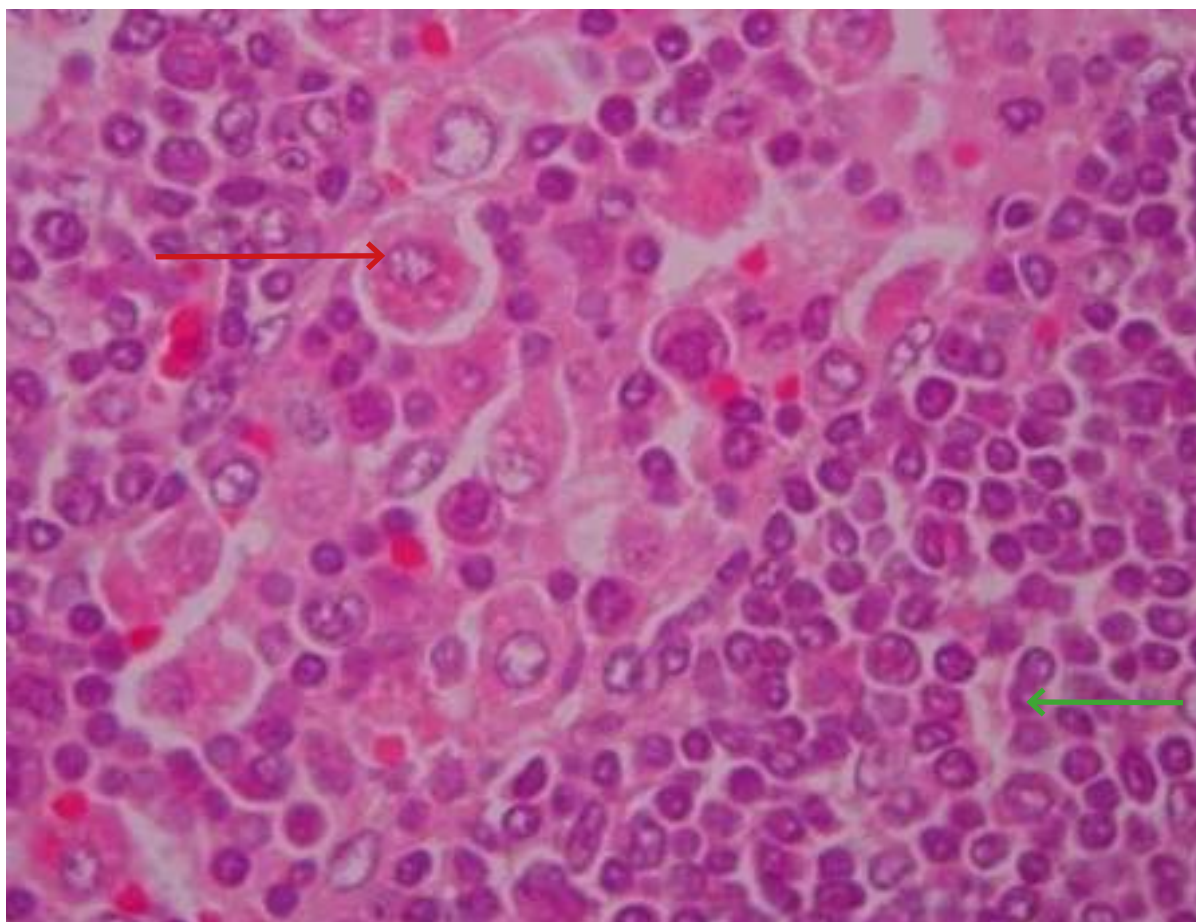


Figura 41. Histopatología de intestino grueso en la que se observa una zona de necrosis caseosa con daño de la arquitectura del tejido, congestión e infiltración de células mononucleares, linfocitos y macrófagos (flecha roja). Hematoxilina y eosina (X400)

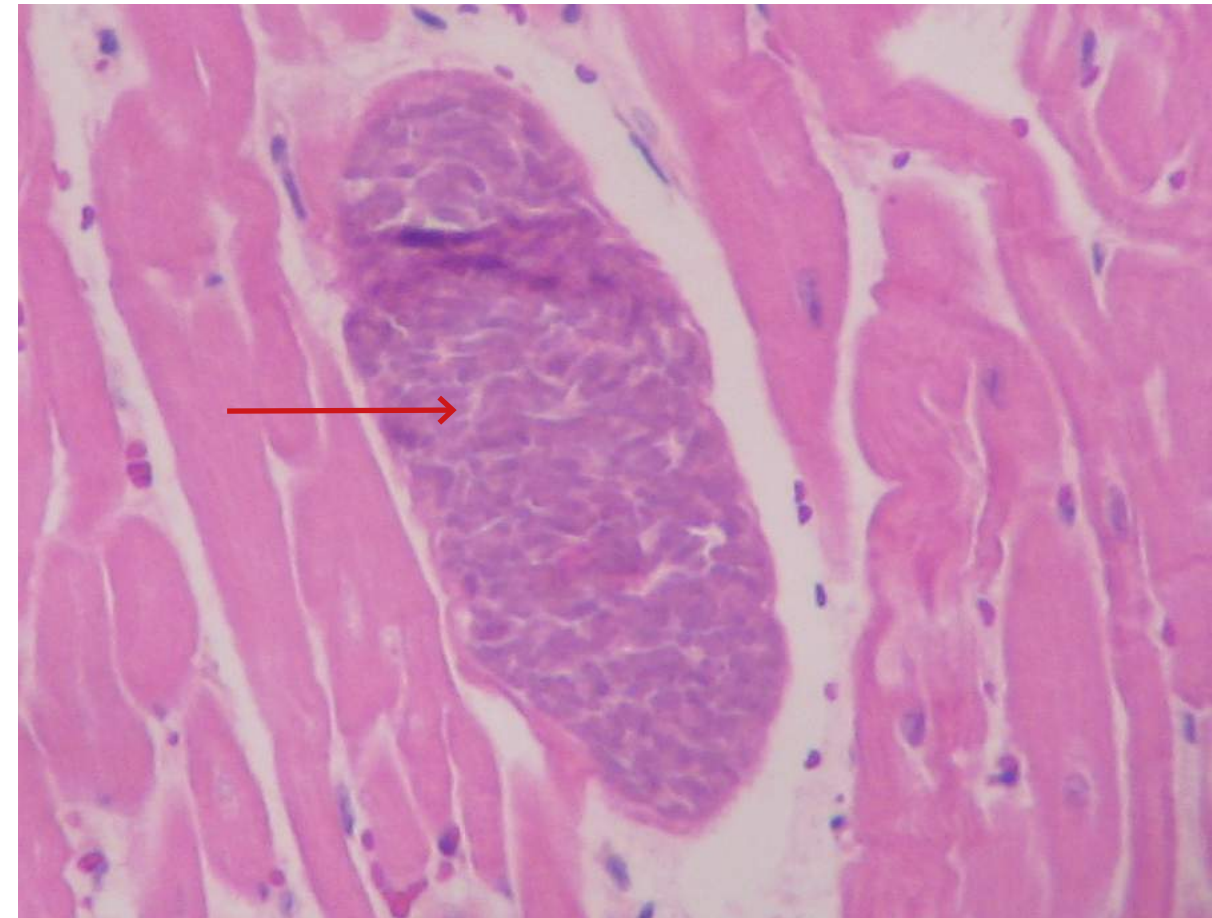




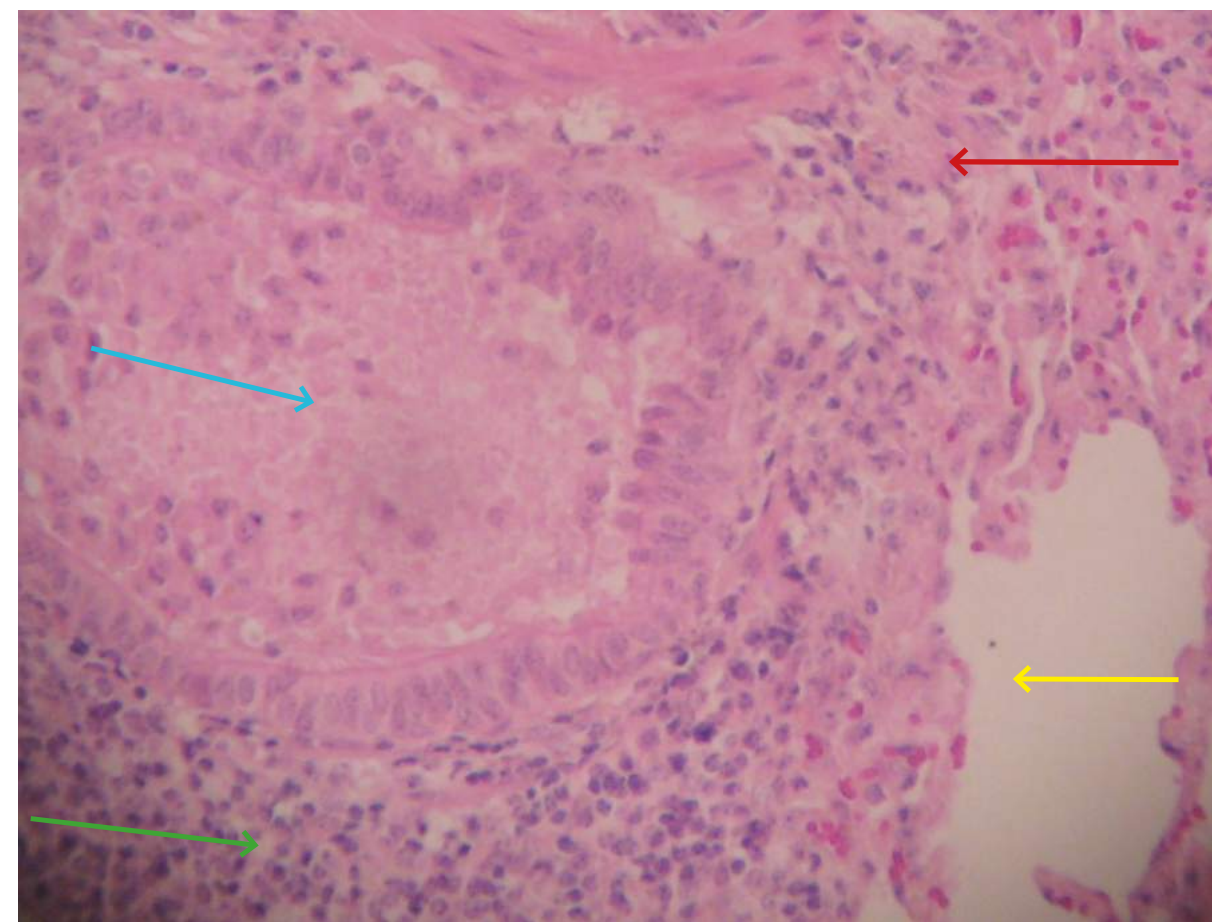
→ **Figura 42.** Histopatología de lámina propia de intestino grueso en la que se observa infiltración de células mononucleares: macrófagos (flecha roja) y linfocitos (flecha verde). Hematoxilina y eosina (X400)



→ **Figura 43.** Histopatología de lámina propia de intestino grueso en la que se observa infiltración de células mononucleares: macrófagos (flecha roja) y linfocitos (flecha verde). Hematoxilina y eosina (X400)



← **Figura 44.** Histopatología de músculo estriado cardíaco en el que se muestra la presencia del protozooario *Sarcocystis bovis* de color basófilo (flecha roja). Hematoxilina y eosina (X400)



← **Figura 45.** Histopatología de pulmón de bovino (tipo I). Flecha roja: septos interalveolares engrosados; flecha verde: infiltración de células mononucleares alrededor de bronquiolos; flecha azul: edema; flecha amarilla: enfisema. Hematoxilina y eosina (X400)

Aves

La evaluación macroscópica de todas las aves examinadas post mortem no reveló cambios significativos. El aspecto de los tejidos no presentó alteraciones que permitieran inferir sobre un efecto del tratamiento con ATAEP. De igual forma, la evaluación microscópica no arrojó información que definiera situaciones que afectaran la salud por efecto del consumo de este tipo de agua.

Hidrocarburos aromáticos polinucleados (PAH) en tejidos de bovinos

En la evaluación de PAH por tiempo de permanencia, la más alta concentración mediana, significativamente diferente a las demás, se dio en el primer año, con 170,7 µg/kg, mientras que en los años siguientes la tendencia es decreciente. El 81,7% de los PAH detectados se encontró en tejidos procedentes de animales hasta con un año de permanencia en el experimento (tabla 47).

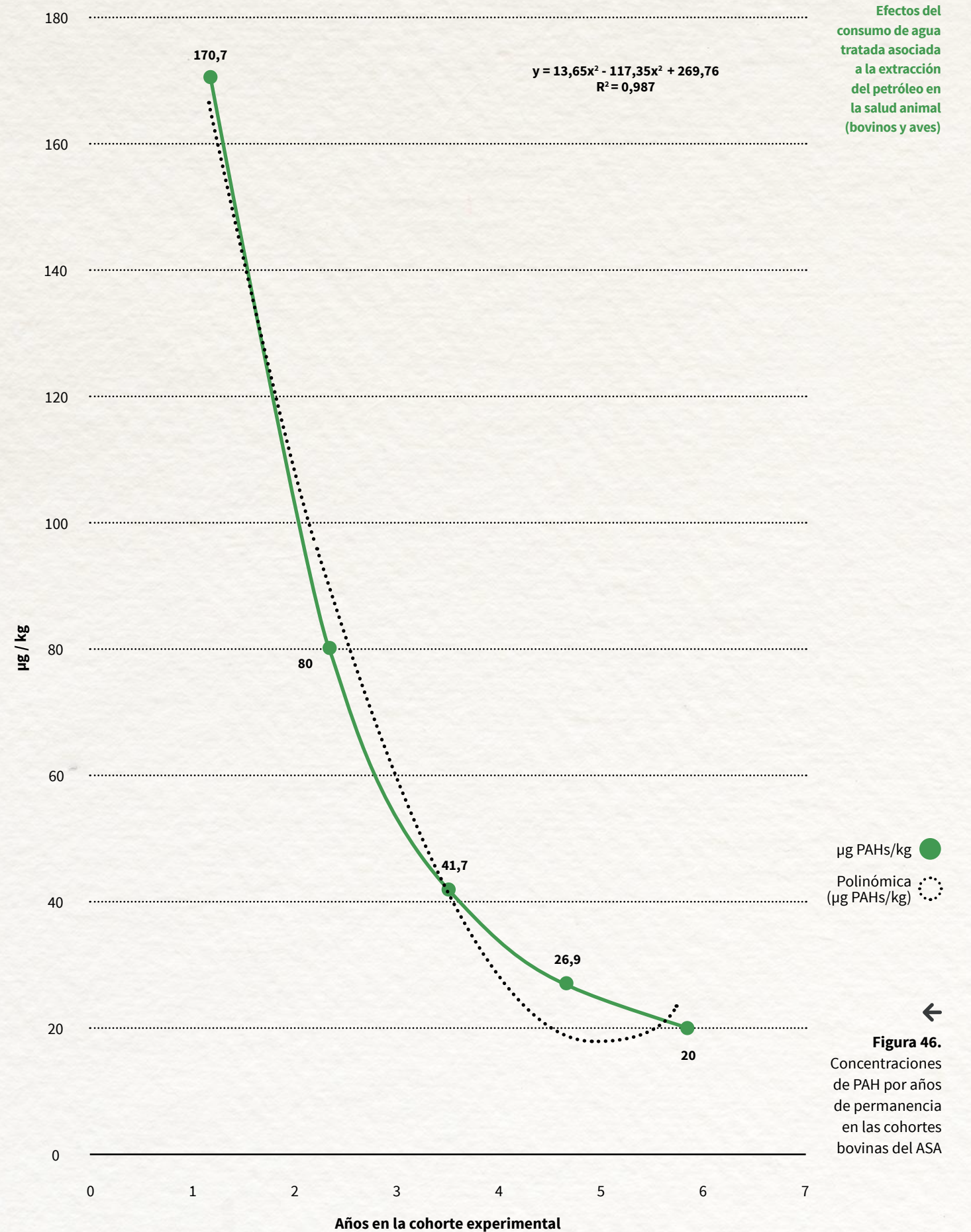
La figura 46 presenta la significativa tendencia cuadrática decreciente, con la respectiva ecuación, de las concentraciones de PAH en tejidos por años de permanencia en la cohorte entre uno y cinco años en el ASA. Estos resultados se podrían interpretar como un efecto asociado a la mejora en la calidad del agua, como se puede apreciar en la figura 23.



Tabla 47. Concentraciones en órganos con PAH por tiempo de permanencia en las cohortes del ASA

Años de permanencia en el tratamiento	N	Mediana µg/kg	Media µg/kg	Σ PAH detectados µg	% suma
1	110	170,7 c	1734,0	190.743,4	81,7
2	191	80,0 b	126,5	24.161,1	10,4
3	121	41,7 ab	100,6	12.173,6	5,2
4	39	26,9 a	45,9	1.790,2	0,8
5	64	20,0 a	35,1	2.247,2	1,0
≥ 6	31	36,4 a	71,4	2.213,6	0,9

*Letras diferentes dentro de una columna se corresponden con diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0,05).



06



Efecto de las ATAEP en la producción de especies animales pecuarias

En el estudio se evaluó el efecto del consumo de ATAEP de las estaciones Castilla y Apiay en la producción de especies animales vinculadas al sector pecuario, considerando su ciclo productivo bajo distintos tratamientos. Las conclusiones que podemos generar para este apartado se enmarcan en la diferencia entre mezclas (0%, 25%, 50% y 100%).

Calidad y producción de la leche

- ✓ Los resultados obtenidos indican un efecto del tratamiento 100% de ATAEP en la grasa y los sólidos totales de la leche. Para las variables proteína y lactosa, no se encontró ninguna diferencia significativa entre tratamientos. Los valores promedios obtenidos en la leche de los animales para grasa, sólidos totales y proteína se encuentran dentro de los rangos determinados como normales para este tipo de sistema de producción doble propósito.
- ✓ La producción de leche al ordeño por día no se vio afectada por el consumo de ATAEP de la estación Acacias cuando se compara con el tratamiento testigo. El comportamiento de producción durante las lactancias de los animales en estudio mostró una curva esperada, con sus mayores valores en su primer tercio, que fueron disminuyendo en el tiempo hasta

su finalización. Los valores de producción láctea obtenidos están dentro de los esperados para el sistema doble propósito de la región.

- ✓ La cantidad de leche residual consumida por el ternero después de su ordeño no se vio afectada por el consumo de ATAEP en la estación de Acacias cuando se compara con el grupo testigo; por el contrario, se ve un efecto de mayor leche residual consumida por el ternero.
- ✓ La producción de leche total diaria de las vacas que consumieron ATAEP en la estación de Acacias muestran un mejor comportamiento para la mezcla de agua 25%, seguida del testigo, el 100% y el 50%. Este efecto es algo confuso pues no guarda coherencia para definir un cambio en la producción que se deba al consumo de ATAEP. De cualquier forma, las producciones obtenidas en todos los tratamientos evaluados se encuentran dentro del rango normal de producción láctea del sistema doble propósito para la región.

Ahora bien, el comportamiento descrito no se observa cuando las curvas de lactancia se ajustan a los 210 días para las producciones de leche de las vacas que consumieron agua tratada de la estación Castilla. Aquí hay diferencia significativa únicamente para el tratamiento 50%; los demás tratamientos muestran un comportamiento similar, que sugiere que las ATAEP evaluadas, no se asocian con los cambios de producción, y estas, como se dijo, están dentro de los promedios de la región.

Producción y calidad de la carne

Bovinos

- ✓ Los pesos al nacimiento y al destete de los terneros de vacas que consumieron ATAEP en las estaciones Castilla y Apiay no evidenciaron diferencias con el grupo testigo.
- ✓ La condición corporal en bovinos fue valorada por observación entre los grupos de tratamientos en la estación Apiay. Las mejores apreciaciones fueron para el grupo de consumo de ATAEP 100%.

Conclusiones

✓ La evaluación de calidad de la carne en los bovinos, realizada con apoyo de ultrasonido, indicó mejor área de ojo de lomo para el tratamiento testigo y 50%, y mejor grasa de cobertura a nivel del anca para los tratamientos 100% y testigo. Por otra parte, para las variables cobertura de grasa nivel de lomo y marmóreo no se observaron diferencias entre los tratamientos. Finalmente, al evaluar el peso de las canales, se obtuvieron los mejores registros en el grupo tratado con 100% de ATAEP.

✓ Las variables consideradas para evaluar el efecto de las ATAEP sobre la producción bovina en esta investigación no señalan cambios contundentes que evidencien un efecto adverso. Por otra parte, los promedios de producción obtenidos se encuentran dentro de los rangos que se reportan para la región.

Aves

Peso y ganancia de peso de aves

✓ Los resultados de peso y ganancia de peso de las aves de la estación Acacias que consumieron ATAEP en un 100% son significativamente menores que los de las aves que consumieron mezclas de agua de producción en mezclas de 50%, 25% y 0%. Las diferencias, en todo caso, fueron mínimas, de manera que sus valores no se desmarcaron de los referenciales para la línea de producción.

Número de huevos al día, porcentaje de postura por día y peso

✓ El número de huevos puestos al día no muestra una diferencia significativa entre las aves que consumieron ATAEP y el grupo testigo en la estación Acacias. Sin embargo, cuando se evalúa el porcentaje de huevos puestos al día por ave, el efecto es significativamente menor para las aves que consumieron 100% de ATAEP respecto a los demás tratamientos. De todos modos, en términos de producción, todos los valores están dentro de los rangos normales para la línea animal estudiada.

✓ El peso del huevo en los primeros 259 días de las gallinas que consumieron ATAEP en la

estación Acacias muestra diferencia significativa entre tratamientos. El de mejor producción fue el grupo testigo, que difiere del tratamiento 100% en un 0,6%. Los valores de esta variable en todos los tratamientos están dentro de lo esperado para la raza.

✓ Con respecto a la clasificación del huevo, se observó que la producción de huevos Jumbo fue superior en los tratamientos testigo y 50%, y la de AAA y AA en los tratamientos testigo y 100%. Esta respuesta, en cualquier caso, no define un efecto claro del consumo de ATAEP en la calidad del huevo en la estación Acacias.

✓ **Las variables consideradas para evaluar el efecto de las ATAEP sobre la producción de aves en este estudio no evidencian diferencias en términos generales entre los tratamientos.**



Efecto de las ATAEP en la reproducción de especies animales pecuarias

Edad a la primera concepción y parto

✓ No se registraron diferencias en la edad a la primera concepción y el primer parto entre las vacas que consumieron ATAEP y el grupo testigo de la estación Acacias. Se resalta que las edades tanto a la primera concepción como al primer parto estuvieron dentro de los rangos esperados.

✓ De igual forma, la edad a la primera concepción y al primer parto no se vio afectada por el consumo de ATAEP en la estación Apiay, donde tampoco se observó diferencia entre tratamientos. Llama la atención, sin embargo, que los promedios obtenidos a nivel general superan en cuanto a eficiencia los rangos normales para la región del sistema doble propósito.

Intervalo entre parto

✓ El intervalo entre partos es un indicador robusto de eficiencia reproductiva. Los resultados obtenidos al respecto, tanto para las vacas que consumieron ATAEP como para las del grupo testigo en las dos estaciones, no reflejan efectos de los tratamientos. Asimismo, no se presentaron diferencias significativas entre los grupos, y los promedios logrados se encuentran dentro de los rangos de mejor eficiencia de la ganadería del sistema doble propósito.

Tasa de natalidad

✓ Los valores de tasa de natalidad obtenidos para todas las vacas, en las dos estaciones, se encuentran dentro del rango normal superior para el sistema doble propósito de la región.

Fertilidad in vivo e in vitro

✓ Según las determinaciones de calidad seminal la fertilidad de los toros reproductores no se vio afectada por efecto del consumo de ATAEP en ninguna de las estaciones.

✓ En los periodos evaluados del estudio no se encontraron alteraciones del tracto reproductivo del macho y de las hembras bovinas que afectarían su desempeño productivo.

✓ Los procesos desarrollados de maduración de ovocitos *in vitro* de vacas que consumieron ATAEP no mostraron evidencia de efectos de los tratamientos. Tampoco se encontró diferencia entre estos grupos. Los porcentajes de maduración de ovocitos están dentro de los rangos esperados.

✓ Los procesos de fecundación in vitro y desarrollo embrionario mostraron diferencias significativas entre tratamientos, con los mejores promedios para los tratamientos 100% y testigo. Los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos normales.

✓ **El desempeño reproductivo de las vacas que consumieron ATAEP en Castilla y en Apiay no se vio afectado. Los indicadores de eficiencia fueron superiores a los encontrados para los sistemas de producción de cría, lechería especializada y doble propósito en la Orinoquia y en Colombia. Debe tenerse en cuenta que la evaluación reproductiva de las cohortes para algunos casos abarcó un periodo experimental de seis años, tiempo “adecuado” para inferir sobre efectos de los tratamientos en el desempeño animal.**



Efecto de las ATAEP en la salud de especies pecuarias

Bovinos

✓ En el periodo de exposición de los bovinos a consumos de ATAEP en las estaciones Castilla y Apiay en el estudio no se presentaron abortos en hembras bovinas preñadas. De igual forma, no se detectó ninguna manifestación de posibles mortalidades embrionarias.

Indicadores de salud

Signos vitales y sistemas tegumentario, esquelético, digestivo mamario y urogenital

- Los indicadores de evaluación clínica (frecuencias cardíaca y respiratoria y temperatura corporal), metabolismo proteico y energético y condición corporal no registraron cambios visibles debidos al consumo de ATAEP en ninguna de las dos estaciones. Las alteraciones observadas en los sistemas tegumentario, esquelético, digestivo y mamario se asocian a situaciones normales del estado fisiológico del animal o a manifestaciones postraumáticas de confrontaciones entre animales. La evaluación urogenital fue acompañada de análisis de glucosa, bilirrubina, cetona, presencia de sangre, proteínas en orina, urobilinogeno, nitritos y leucocitos, y los resultados no mostraron posibles patologías; los cambios observados son de tipo fisiológico por efecto del estado reproductivo y de la etapa de crecimiento. Las muertes registradas son las programadas para la evaluación macro y microscópica y accidentales.

Perfil hemático, determinación de proteínas y colesterol

- Las determinaciones de proteínas séricas tienen un gran significado clínico pues reflejan el estatus nutricional y del metabolismo proteico, así como el hematocrito da cuenta del porcentaje volumétrico de los glóbulos rojos (perfil hemático). En el estudio, los valores promedios de estas evaluaciones, en los animales que consumieron ATAEP en las dos estaciones, se encontraron dentro de los rangos normales.
- Las evaluaciones de concentración de proteínas muestran para el tratamiento testigo el valor más alto de forma significativa, a pesar de esta respuesta los valores obtenidos en todos los tratamientos están dentro de los rangos considerados como normales.

- La media general de hematocrito en los bovinos tratados en Castilla fue de 35%. El menor porcentaje se presentó en los del grupo testigo y en la mezcla del 50% de ATAEP, y el mayor se observó en los animales del tratamiento 25%, sin que se encontraran diferencias entre ellos. Estos valores se encuentran dentro del rango normal para la especie, y su comportamiento no genera información que indique una alteración clínica. Esto mismo se concluyó para la hemoglobina.

- El indicador de estatus energético, representado por el colesterol, no se vio afectado por el consumo de ATAEP tanto en Apiay como en Castilla. Los valores encontrados a nivel general y en cada uno de los tratamientos están dentro de los de referencia reportados.

Pruebas de función hepática

- La evaluación del test bioquímico de AST y GGT es una clara valoración de la función hepática. Los resultados obtenidos en este caso no superan los valores de referencia y no indican cambios entre los animales tratados con diferentes mezclas de ATAEP tanto en Castilla como en Apiay.
- En términos generales, las determinaciones diagnósticas no evidencian diferencias contundentes entre los tratamientos de consumo de ATAEP al 100% y al 0%. Se resaltan los resultados de los indicadores indirectos de funcionamiento hepática, que muestran valores dentro de los rangos de referencia.**

Aves

Tasa de mortalidad

- La tasa de mortalidad no se encontró asociada al porcentaje de ATAEP. Asimismo, no se presentó una tendencia significativa que sugiriera que la tasa de mortalidad se incrementa a medida que el porcentaje de ATAEP es mayor.

- Los problemas de salud más frecuentes en el desarrollo del estudio fueron picaaje, colibacilosis y coccidiosis, cuyas frecuencias fueron similares entre tratamientos. El porcentaje de ATAEP no se encontró asociado a un evento específico de salud, y las tasas de mortalidad se distribuyeron así:

Por picaaje	18/110,8 aves-año = 16,2/100 aves-año
Por colibacilosis	7/110,8 aves-año = 6,3/100 aves-año
Por coccidiosis	5/110 aves-año = 4,5/100 aves-año

- Los eventos específicos de salud y tasa de mortalidad no se encontraron asociados con el consumo de ATAEP en las aves experimentales.**

Evaluación macro y microscópica de tejidos para todas las especies evaluadas

- La evaluación macroscópica de todos los bovinos sacrificados no reveló cambios aparentes a entidades patológicas. El aspecto de las carcasas fue normal, y en algunos animales hubo hallazgos específicos no asociados al consumo de ATAEP.
- La evaluación macroscópica de todas las aves examinadas post mortem no señaló cambios significativos en el tiempo. El aspecto de la carcasa y de los órganos fue normal, y no se observaron alteraciones que permitieran inferir sobre un efecto del tratamiento.
- La evaluación microscópica no arrojó información que definiera situaciones que afectarían la salud por efecto del consumo de ATAEP.
- Los hallazgos tanto macro como microscópicos en tejidos post mortem no se relacionan con el consumo de ATAEP; son observaciones específicas compatibles con otras patologías.**



Calidad de ATAEP en sistemas de producción pecuaria

Hidrocarburos

- Los análisis realizados en el periodo 2011-2015 de ATAEP permiten concluir que las concentraciones de hidrocarburos descendieron en el tiempo, posiblemente por las mejoras que ha venido implementando Ecopetrol en el manejo del agua. Este descenso se observó también en los exámenes de órganos de las especies tratadas, lo que permite posiblemente suponer que el efecto residual de estos hidrocarburos no es tan crítico.
- Los valores mínimos de hidrocarburos presentes en el agua señalan que las estrategias de manejo de Ecopetrol para mejorar la calidad de este recurso han funcionado.**

Parámetros fisicoquímicos del agua

- Los valores obtenidos en los indicadores fisicoquímicos para alcalinidad, dureza, nitritos, amonio no ionizado e ionizado, conductividad, temperatura y pH se encuentran dentro de los rangos que permiten un buen desarrollo, por ejemplo para la actividad acuícola.
- La calidad del agua, desde el punto de vista fisicoquímico, se encuentra dentro de los rangos normales para la supervivencia por ejemplo para el caso de los peces.**

Los autores

José Guillermo Velásquez Penagos

jvelasquez@agrosavia.co

Médico veterinario con maestría en reproducción bovina, suficiencia investigadora en estudios avanzados de fisiología animal y doctorado en ciencias biomédicas con énfasis en reproducción. En la actualidad trabaja en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) como investigador PhD en el campo de la ecofisiología y biotecnología de la reproducción, donde lidera como investigador principal delegado los macroproyectos de investigación del convenio Agrosavia-Ecopetrol y de doble propósito del piedemonte llanero. Es director nacional del grupo de investigación Reproducción Tropical y ha participado en proyectos con British Petroleum, Petrominerales, Colciencias, MADR y la Comunidad Europea, entre otros.

Édgar Fernando Almansa Manrique

ealmansa@agrosavia.co

Ingeniero agrícola de la Universidad Nacional de Colombia, experto en manejo y conservación de suelos y aguas. Ha participado en proyectos con Pacific Rubiales, Banco Mundial, MADR y Colciencias, entre otros. Se desempeñó como director de laboratorio de suelos del CI La Libertad y fue coordinador nacional del proyecto de pequeña irrigación. En la actualidad es investigador de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), donde lidera como investigador principal de proyectos del convenio Agrosavia-Ecopetrol.

José Henry Velásquez Penagos

jvelasquezp@agrosavia.co

Médico veterinario y zootecnista con maestría en reproducción animal. Experto en reinicio de la

actividad ovárica y en biotecnología de la reproducción con énfasis en la transferencia de embriones en grandes y pequeñas especies. Cuenta con conocimiento sobre plantas asociadas a problemas reproductivos. Profesor de cátedra en maestría e investigador en Agrosavia desde el año 1994, en donde viene desarrollando proyectos de investigación y validación de tecnología. Actualmente se desempeña como investigador principal y asociado de proyectos de reproducción.

Jorge Luis Parra Arango

jlparra@unillanos.edu.co

DMV, MSc. en ciencias de la reproducción animal de la Universidad Nacional de Colombia. Ha desempeñado labores de investigación, desarrollo tecnológico y docencia en el ICA, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) y la Universidad de los Llanos alrededor de temas como enfermedades de la reproducción bovina, salud animal en sistemas de producción bovina de la Orinoquia, calidad e inocuidad en leche, epidemiología veterinaria y análisis de datos.

Diana Patricia Barajas Pardo

dianap.barajas@campusucc.edu.co

Médica veterinaria de la Universidad de La Salle (Bogotá), con estudios avanzados de fisiología animal de la Universidad de Murcia, España. Doctorada de la Universidad de Murcia (España) en biología y tecnología de la reproducción de mamíferos. En la actualidad es profesora de reproducción y coordinadora de investigaciones de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Cooperativa de Colombia. Ha realizado estudios

de investigación en biología celular y molecular en temas de maduración de ovocitos, fertilización *in vitro* y desarrollo embrionario y proteómico de plasma seminal en razas bovinas criollas y comerciales. También tiene trabajos en salud pública.

Hernando Flórez Díaz

hflorez@agrosavia.co

Médico veterinario zootecnista de la Universidad de los Llanos con maestría en reproducción animal y doctorado en nutrición de rumiantes. Investigador PhD de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). Ha trabajado en torno a la fisiología del estrés, la salud de terneros, la calidad y la composición de la carne bovina y la implementación de sistemas sostenibles de alimentación para ganaderías del trópico. Actualmente es miembro del Comité Científico de la Red de Ganadería y Especies Menores e investigador principal delegado del macroproyecto de producción sostenible de carne bovina de calidad en Colombia. Asimismo, se desempeña como investigador principal del proyecto “Estrategias para mejorar la cadena de valor de la carne bovina en la Orinoquia”.

Diego Ortiz Ortega

dortiz@agrosavia.co

Médico veterinario con maestría en salud animal y doctorado en ciencias de salud animal con énfasis en epidemiología animal. Capacitado para formular, ejecutar y evaluar proyectos en salud animal y para desarrollar estudios epidemiológicos sobre vigilancia y control, así como en la generación de políticas sanitarias (normatización y legislación)

y en programas técnicos en salud animal y salud pública. Cuenta con experiencia en la dirección, planeación y coordinación de laboratorios (histopatología, microbiología, parasitología, hematología, reproducción animal) y con preparación para diseñar modelos epidemiológicos, mapas de riesgo y material de capacitación, y para organizar y dictar cursos en las áreas afines a la materia. Asimismo, tiene capacidades gerenciales para planeación, organización y manejo de grupos multidisciplinarios.

Sonia Lucía Gutiérrez Parrado

slgutierrez@agrosavia.co

Médica veterinaria y zootecnista de la Universidad de los Llanos. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), en donde realiza actividades dentro de proyectos del convenio entre Agrosavia-Ecopetrol y MADR en biotecnología de la reproducción; específicamente, alrededor de temas de calidad seminal, procesos de criopreservación y producción de embriones. Participa en varios proyectos de reproducción de la agenda de investigación.

Hugo Humberto Ballesteros Chavarro

hballesteros@agrosavia.co

Zootecnista de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia. En la actualidad se desempeña como profesional de desarrollo de negocios de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), donde apoya el proceso de transferencia de los resultados de investigación y desarrollo de la entidad.

- Almansa, E. F., Velásquez, J. G. y Rodríguez, G. (2018). Efecto del uso de aguas provenientes de la producción petrolera en actividades agrícolas y pecuarias. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuaria*, 19(2), 403–420.
- Amador, I., Palacios, A. y Maldonado, M. (1995). *Sistema ICTA de clasificación de canales y cortes de carne bovina*. [En línea]. Recuperado de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/32113/39100_22497.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Arthur, J. D., Langhus, B. G. y Patel, C. (2005). *Technical Summary Of Oil & Gas Produced Water Treatment Technologies*. [En línea]. Recuperado de <http://www.all-llc.com/publicdownloads/ALL-Consulting-WaterTreatmentOptionsReport.pdf>.
- Breitbart, H. (2002). Intracellular calcium regulation in sperm capacitation and acrosomal reaction. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 187(1–2), 139–144. [https://doi.org/10.1016/S0303-7207\(01\)00704-3](https://doi.org/10.1016/S0303-7207(01)00704-3).
- Bríñez, J., Valbuena, E., Castro, G., Tovar, A. y Ruiz, J. (2008). Algunos parámetros de composición y calidad en leche cruda de vacas doble propósito en el municipio machiques de perijá . Estado Zulia , Venezuela. *FCV-LUZ*, XVIII(5), 607–617.
- Calderón, A., García, F. y Martínez, G. (2006). Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. *MVZ Córdoba*, 11(1), 725–737.
- Cantor, F. (2007). *Manual de producción de tilapia*. [En línea]. Recuperado de <https://es.slideshare.net/JCAMILOMOR/manual-de-produccion-de-tilapia>.
- Castiblanco, L. (2017). *Control de agua en yacimientos de crudo pesado con acuífero activo y con contacto agua-petróleo: Alternativas tecnológicas para los campos de los llanos orientales*. [En línea]. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/63335/1/80224322.2017.pdf>.
- De Araújo, P. (2011). *Caracterização de água produzida na indústria de petróleo para fins de descarte e otimização do processo de separação óleo / água*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Ecopetrol. (2014). *El petróleo y su mundo*. [En línea]. Recuperado de [file:///C:/Users/Lenovo-PC/Documents/corpoica/doc para cartilla/LIBRO/agua/el-petroleo-y-su-mundo.pdf](file:///C:/Users/Lenovo-PC/Documents/corpoica/doc%20para%20cartilla/LIBRO/agua/el-petroleo-y-su-mundo.pdf)
- Ecopetrol. (2018). *Reporte integrado de gestión sostenible*. [En línea]. Recuperado de <https://www.ecopetrol.com.co/Asamblea2019/reporte-integrado-gestion-sostenible-2018.pdf>.
- Gobernación del Meta. (2009). *Vivamos la naturaleza “7”*. Villavicencio, Colombia: Gerencia Ambiental.
- Gomes, E. (2009). *Tratamento combinado da água produzida de petróleo por eletroflotação e processo fenton*. Universidade Tiradentes-Unit.
- Guerrero, C., Escobar, S. y Ramírez, D. (2005). Manejo de la salinidad en aguas asociadas de producción de la industria petrolera. *Revista Ingeniería e Investigación*, 25(3), 27–33.
- Jaimes, D. y Pico, M. (2009). *Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras- aplicación campo Colorado*. Universidad Industrial de Santander.
- Manfra, L., Maggi, C., Bianchi, J., Mannozi, M., Faraponova, O., Mariani, L., Onorati, F., Tornambè, A., Lamberti, C. y Magaletti, E. (2010). Toxicity evaluation of produced formation waters after filtration treatment. *Natural Science*, 2(1), 33–40.
- Martel, J., Foroughbakchik, R. y Benavides, A. (2016). Produced Waters Of The Oil Industry As An Alternative Water Source For Food Production. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 32(4), 463–475. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.10>.
- Mesa, S. L., Orjuela, J. M., Ortega, A. T. y Sandoval, J. A. (2018). Revisión del panorama actual del manejo de agua de producción en la industria petrolera colombiana. *Gestión y Ambiente*, 21(1), 87–98.
- Pardo, S., Rojas, D., Roldán, F., Brandão, P. y Almansa, E. (2017). Biodegradación de fenol en aguas tratadas de la industria petrolera para re-uso en cultivos agrícolas. *Revista Biología Tropical*, 65(2), 685–699.
- Parra, J. L., Martínez, M., Pardo, H. y Vargas, S. (1998). *Mastitis y calidad de la leche en el piedemonte del meta y cundinamarca*. [En línea]. Recuperado de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/33136/24947_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- PDVSA. (s.f.). *Producción; Cuaderno de soberanía petrolera*. [En línea]. Recuperado de <http://www.pdvsa.com/images/pdf/cuadernos/Produccion.pdf>.
- Rodríguez, E., Morais, J. y Alves, M. (2013). Tratamiento da água de produção de petróleo através de processos combinados. *Revista Aidis*, 6(1), 89–99.
- Rodríguez, H. y Anzola, E. (2001). La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura. En *Fundamentos de acuicultura continental* (pp. 43–71). [En línea]. Recuperado de http://digitool.gsl.com.mx:1801/webclient/StreamGate?folder_id=0&id=1438133977033~62.
- Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizada en conjunto con las Asociaciones administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia. Cantón de Alajuela, *Revista Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica*, 9 (12–13), 125–134.
- Sánchez, J. (2013). *Tratamiento y disposición final del agua producida en yacimientos*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Shapiro, A. S. S. y Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika Trust*, 52(3–4), 591–611.
- Vera, N., Marciales, L. y Otero, A. (2011). Impacto del agua asociada a la producción de una explotación petrolera sobre la comunidad fitoperifítica del río Acacias (Meta , Colombia) durante la temporada de lluvias. *Orinoquia*, 15(1), 31–40.
- Villegas, J. P., Arcila, N., Ortega, D., Franco, C. A. y Cortés, F. B. (2017). Remoción de hidrocarburos de aguas de producción de la industria petrolera utilizando nanointermedios compuestos por SiO2 funcionalizados con nanopartículas magnéticas. *Redalyc*, 84(202), 65–74. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n202.63686>.





Las aguas residuales pueden usarse para la producción agrícola mediante el riego, pero hacerlo requiere de investigación y gestión diligente de los riesgos sanitarios a través de un tratamiento adecuado o un uso apropiado. Con tal premisa en mente, en esta publicación se presentan en forma resumida algunas de las experiencias realizadas dentro del marco del convenio entre Agrosavia y Ecopetrol que tiene como objetivo “aunar esfuerzos técnicos, científicos, operativos y financieros para el desarrollo de la investigación sobre el uso y manejo integral de las aguas asociadas a la producción de hidrocarburos en sistemas agropecuarios del área de influencia de Ecopetrol”.

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria

