

**UNIVERSIDAD NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR**

**ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS**

**LICENCIATURA EN AGRONOMÍA CON ÉNFASIS EN AGRICULTURA ALTERNATIVA**

**USO DE RESIDUOS ORGÁNICOS COMO SUSTITUTO PARCIAL DE ALIMENTOS  
BALANCEADOS SOBRE LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE BOVINA EN  
LA FINCA EXPERIMENTAL SANTA LUCÍA**

**Trabajo final de graduación en modalidad de tesis de grado sometido a consideración del  
Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para  
optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía con énfasis en Agricultura  
Alternativa**

**ING. JOHN CISNEROS CHAVES**

**Campus Omar Dengo**

**Heredia, Costa Rica**

**Enero, 2023**

**Trabajo final de graduación en modalidad de tesis de grado sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía con énfasis en Agricultura Alternativa**

**MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR**

---

PhD. Martha Orozco Aceves  
Representante del Decanato de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

---

Andrés Alpízar Naranjo, M Sc.  
Director de la Escuela de Ciencias Agrarias

---

Miguel Castillo Umaña, M Sc.  
Tutor

---

Jose Jiménez Castro, M Sc.  
Asesor

---

Julián Rojas Vargas, M Sc.  
Asesor

---

Bach. John Cisneros Chaves  
Postulante

## **Resumen**

Con el propósito de evaluar el uso de residuos orgánicos (RO) procesados mediante una compostera automatizada, como sustituto parcial de los alimentos balanceados (AB) utilizados en la Finca Experimental Santa Lucía sobre la producción y composición de la leche en ganado Jersey, además de analizar el efecto en los costos de producción por cada dieta. Se utilizaron 9 vacas multíparas a las cuales se les asignó un cuadrado latino 3x3 replicado en dos cuadrados, evaluando tres tratamientos experimentales T0 (100% AB), T15 (85% AB + 15%RO) y T30 (70% AB + 30% RO). Para equilibrar las dietas isoenergética e isoproteíca se utilizó melaza y urea a diferentes raciones en los tres tratamientos. Además de los mencionado anteriormente la dieta incluyó en todos los tratamientos 10 kg King Grass/día, agua y pastoreo a base de Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis*) a libre consumo. Los residuos orgánicos presentaron contenidos nutricionales con valores de de PC (9.31%), MS (83,46%), FND (47.17%), FAD (28.45%), EE (14.24%), Lignina (3.93%) CE, (6.57%), EM (2.85 Mcal/kg) y ENL (1.81 Mcal/kg). La composición bromatológica de la leche no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que la producción de leche presentó diferencias significativas entre los tratamientos con inclusión de RO. Además, tomando en cuenta el costo de suplementación por kg de leche se nota una disminución económica a favor del T15; por lo cual, esta alternativa ofrece una viabilidad tanto económica como productiva, en la cual se puede dar un uso eficiente a estos materiales produciendo un alimento de calidad a un menor costo.

**Palabras claves:** Residuos orgánicos, Jersey, alimento balanceado, cuadrado latino, compostera automatizada, bromatología.

## **Dedicatoria**

*El presente trabajo se lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.*

*A mi madre Esther Chaves Vega quien ha sido mi apoyo durante toda mi vida y me ha guiado en todas las decisiones que he tomado hasta el día de hoy. Además mi padrastro Gonzalo Garro Monge y mis hermanos Johnny, Jonathan y Johanna, quienes son las personas que me han acompañado e inspirado siempre a seguir adelante y ser una mejor persona cada día.*

*A mi novia y compañera de vida Aliza Obaldía Herrera, quien estuvo presente durante todo este proyecto y ha sido un apoyo indispensable para seguir adelante y alcanzar mis metas, por estar conmigo en todo momento.*

*A mis hijas, Alanna y Svitlana por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso, por ser uno de mis principales motores e inspiración para salir adelante.*

*A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.*

*Y todos los que de una forma u otra pusieron su granito de arena en el desarrollo del experimento, análisis de datos y redacción de este documento.*

## **Agradecimientos**

Le agradezco a Dios por acompañarme y guiarme durante todo este proceso, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por permitirme que todo saliera de la manera correcta.

Le doy gracias a mi madre, por apoyarme en todo momento, por darme la oportunidad de tener una excelente educación y sobre todo por los valores que me ha inculcado y ser un excelente ejemplo de vida.

A Gonzalo, Johnny, Jonathan y Johanna por ser parte de mi familia y estar ahí siempre, incluso en los momentos difíciles.

A mi compañera de vida, por ser una parte muy importante en mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por la paciencia y amor incondicional.

A Svitlana y Alanna, por ser parte de mi vida y brindarme alegrías y amor cuando más lo he necesitado.

A mi Tutor el M Sc. Miguel Castillo Umaña por brindarme una parte de su gran conocimiento y valioso tiempo.

A mis asesores, M Sc. Julián Rojas Vargas y M Sc. Jose Pablo Jiménez Castro, por haber compartido conmigo sus conocimientos y valioso tiempo.

A UNA Campus Sostenible y su equipo de trabajo, quien de la mano de Julián Rojas Vargas fue parte fundamental con su apoyo técnico y económico durante todo el proceso.

Al Proyecto Producción Sustentable de Leche Bovina en Finca Santa Lucía, por brindarme sus instalaciones y financiamiento para poder realizar esta tesis. Al igual que a su equipo de trabajo, en especial al Lic. José Padilla Fallas, Lic. Luis Mauricio Arias Gamboa, Ing. Adrián Garro Quesada, y Lic. Jose Mario Núñez Arroyo, por su apoyo durante la etapa que estuve realizando el trabajo de campo en la Finca Experimental Santa Lucía.

A todo el equipo de trabajo de la finca Experimental Santa Lucía, en especial a los encargados de las labores de la lechería Jose Enrique León Camacho y Leonel Hernández Guerrero, quienes fueron un apoyo incondicional durante el periodo experimental de este trabajo.

A la Escuela de Ciencias Agrarias, especialmente al Laboratorio de Análisis de Productos Vegetales y Animales, quien de la mano del Lic. Jose Mario Núñez Arroyo me brindaron su colaboración.

A la Universidad Nacional de Costa Rica por permitirme formarme como profesional y forjar en mí valores éticos que me permiten ser un mejor ser humano.

## Índice de contenidos

1. Introducción .....	1
2. Objetivos .....	3
2.1 Objetivo general .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
3. Hipótesis experimental .....	3
4. Marco Teórico .....	4
4.1 La Leche bovina y su importancia.....	4
4.2 Composición bromatológica de la leche bovina.....	4
4.3 Panorama mundial, regional y nacional del sector lechero .....	5
4.4 Problemática del sector lechero nacional .....	6
4.5 Alternativas en la suplementación alimenticia .....	7
4.6 Problemática mundial y regional de la generación de residuos orgánicos .....	8
4.7 Manejo de residuos orgánicos en Costa Rica .....	8
4.8 Características de la composición bromatológica de los residuos orgánicos .....	9
4.9 Uso de residuos orgánicos en alimentación animal.....	9
5. Metodología .....	11
5.1 Determinación de la composición bromatológica de los residuos orgánicos (RO) vegetales procesados. ....	11
5.1.1 Recolección y procesamiento de RO .....	11
5.1.2 Análisis bromatológicos realizados a los RO .....	12
5.2 Comparación de la producción y composición bromatologica de la leche en ganado bovino Jersey suplementado parcialmente con residuos orgánicos vegetales procesados respecto a vacas suplementadas totalmente con alimento balanceado. ....	13
5.2.1 Ubicación, características y condiciones climáticas de la Finca Experimental Santa Lucía .....	13
5.2.2 Tratamientos experimentales .....	13
5.2.3 Animales utilizados en la experimentación y manejo del hato .....	14
5.2.4 Variables a evaluar.....	15
5.2.5 Diseño experimental .....	16
5.2.6 Periodo experimental.....	17
5.2.7 Análisis estadístico.....	17
5.3 Valoración económica de la suplementación .....	18

6. Resultados y discusión.....	21
6.1 Composición bromatológica de los residuos orgánicos.....	21
6.1.1 Materia seca.....	21
6.1.2 Fibra neutro detergente y Fibra ácido detergente .....	22
6.1.3 Extracto etéreo.....	23
6.1.4 Lignina .....	24
6.1.5 Proteína cruda.....	24
6.1.6 Cenizas .....	25
6.1.7 Energía neta de lactancia (ENL).....	26
6.2 Producción y composición bromatológica de la leche .....	26
6.2.1 Producción de leche .....	26
6.2.2 Composición bromatológica de la leche.....	28
6.3 Valoración económica de la suplementación .....	31
6.3.1 Costo de elaboración de los RO. ....	31
6.3.2 Costo de suplementación/animal/día .....	32
6.3.3 Costo de suplementación por kg de leche .....	33
7. Conclusiones.....	34
8. Recomendaciones.....	35
9. Referencias.....	36
10. Anexos.....	43

## Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de los tratamientos experimentales para suplementación alimenticia en vacas Jersey. Finca Experimental Santa Lucía, Heredia.....	14
Tabla 2. Diseño experimental para la evaluación de los tratamientos.....	16
Tabla 3. Composición bromatológica de los residuos orgánicos (RO). Santa Lucía, Barva. Heredia. ....	21
Tabla 4. Producción de leche (kg/vaca/día) en vacas suplementadas con distintos niveles de sustitución del AB por RO. Santa Lucía, Barva. Heredia. 2019.....	27
Tabla 5. Efecto de los diferentes niveles de sustitución del AB por RO sobre la composición nutricional de leche. ....	28
Tabla 6. Costo de producción de 50 kg de RO procesados.....	31
Tabla 7. Costo de suplementación por tratamiento experimental. ....	32
Tabla 8. Costo de suplementación por kg de leche producida. ....	33

## Índice de figuras

Figura 1. Principales países exportadores de productos lácteos en Centroamérica. Datos del I trimestre del 2019 en millones de US\$.....	5
Figura 2. Estructura de costos porcentual de una finca lechera nacional.....	7

## Índice de anexos

Anexo 1. Composición bromatológica de melaza, alimento balanceado y pastos King grass y Estrella utilizados en las dietas de la FESL.....	43
Anexo 2. Análisis de mico toxinas de los RO.....	44
Anexo 3. Composición bromatológica de la fibra de coco adicionada a los RO.....	45



## Índice de abreviaturas

<b>Siglas</b>	<b>Significado</b>
<b>\$</b>	Signo de dólares estadounidenses
<b>₡</b>	Signo de colones costarricenses
<b>AB</b>	Alimento balanceado
<b>ANOVA</b>	Análisis de varianza
<b>Ca</b>	Calcio
<b>CE</b>	Cenizas
<b>CMT</b>	California Mastitis Test
<b>CS</b>	Costo de suplementación
<b>ECA</b>	Escuela de Ciencias Agrarias UNA
<b>EE</b>	Extracto etéreo
<b>EEM</b>	Error estándar entre las medias
<b>EM</b>	Energía metabolizable
<b>ENL</b>	Energía neta de lactancia
<b>ESPH</b>	Empresa de Servicio Públicos de Heredia
<b>FAD</b>	Fibra Ácida Detergente
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>FC</b>	Fibra Bruta
<b>FESL</b>	Finca Experimental Santa Lucía
<b>FND</b>	Fibra Neutro Detergente
<b>g</b>	Gramos
<b>h</b>	Hora
<b>Ha</b>	Hectárea
<b>INEC</b>	Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica
<b>INTA</b>	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
<b>K</b>	Potasio
<b>Kcal</b>	Kilo-calorías
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>Km</b>	Hora
<b>kWh</b>	Kilowatt hora
<b>L</b>	Litro
<b>LAPAV</b>	Laboratorio de Análisis de Productos Vegetales y Animales
<b>m</b>	Metro

<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados
<b>Mcal</b>	Mega-calorías
<b>MEIC</b>	Ministerio de industria y comercio
<b>MF</b>	Materia fresca
<b>mL</b>	Mililitro
<b>MS</b>	Materia seca
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>NRC</b>	Nutrient Requirements of Dairy Cattle
<b>P</b>	Fosforo
<b>PC</b>	Proteína cruda
<b>PL</b>	Producción de leche
<b>Proleche</b>	Cámara Nacional de productores de leche
<b>RO</b>	Residuos orgánicos
<b>SNG</b>	Sólidos no grasos
<b>ST</b>	Sólidos totales
<b>TONC</b>	Trabajo de ocupación no calificada
<b>UA</b>	Unidad animal
<b>UNA</b>	Universidad Nacional

## 1. Introducción

El sector lechero costarricense ha tenido un fuerte impacto a nivel centroamericano, ocupando en el año 2015 el primer lugar en producción de lácteos con 1.113.708,90 ton, seguido de Nicaragua y Honduras con 841.867,20 ton y 758.851,30 ton respectivamente (Proleche, 2017). Sin embargo, a nivel mundial la región tiene poco impacto en este sector, ya que según Corrales (2019), el 35% de las exportaciones de productos lácteos se producen en Europa, seguido por Oceanía (30%), América de Norte (16%), Asia (9%) y América del Sur (6%); mientras que, en América Central y África representan el 2%. Estos datos demuestran que la región debe hacer grandes esfuerzos para mejorar la eficiencia productiva y así lograr competir a nivel mundial.

El consumo per cápita de productos lácteos en el país ha venido en aumento en relación con los años anteriores. Para el año 2011, el consumo per cápita nacional de productos lácteos fue de 195 kg/persona/año, mientras que para el 2016 fue de 217 kg/persona/año (Proleche, 2017). Esta situación propicia un alza en la compra de materias primas para la obtención de alimentos balanceados en las fincas lecheras para lograr satisfacer el incremento de la demanda nacional.

Uno de los principales problemas que enfrentan los productores es el alto valor que representa la alimentación dentro de la estructura de costos de una finca lechera, donde el 52% de los costos provienen de la alimentación (Coto, 2019). Esto ocurre debido a la dependencia de la importación de granos como maíz y soya, los cuales son base de los concentrados utilizados en la alimentación animal.

Según datos del Ministerio de Economía Industria y Comercio (MEIC, 2016), el maíz amarillo y la harina de soya representan cerca del 40 y 16% de los costos de producción, respectivamente. En Costa Rica, el costo operativo de una vaca en producción es de ₡4.743,20/día y en ese rubro, en alimentación se gasta ₡2.515,50/día (Castro, 2019), lo que hace referencia a la importancia que tiene este factor dentro de la producción lechera.

A nivel mundial entre el 25 y 30% de los alimentos que se producen para consumo humano son desperdiciados; esto corresponde a 1.300 millones de toneladas de alimentos. Entre los productos de mayor desperdicio se encuentran los cereales (30%), las raíces, frutas, hortalizas y semillas oleaginosas (40-50%), los pescados (35%) y la carne y productos lácteos (20%) (Benítez, 2020). Según Mosquera & Rivera (2017), el 6% de las pérdidas mundiales de alimentos se dan en América

Latina y el Caribe, y aproximadamente el 15% de los alimentos aprovechables se pierden cada año en la región.

Chaves, Campos, Brenes y Jiménez (2019) afirman que, en las últimas décadas la generación de residuos sólidos ha ido aumentando potencialmente en el mundo, incluyendo a países como Costa Rica. Además, Según FAO (2017), en los países en desarrollo un 40% de las pérdidas ocurre en las etapas de pos cosecha y procesamiento, por lo que en estos procesos es donde ocurre el mayor desperdicio de alimentos a nivel nacional.

La utilización de insumos de bajo costo en la alimentación animal es una alternativa viable para disminuir la carga de concentrados utilizados en las fincas lecheras. Ramírez, Peñuela y Pérez (2017), demostró que incorporando residuos de cocina en la suplementación animal se puede suplir los requerimientos nutricionales a partir de materia prima a bajo costo y de gran calidad nutricional e inocuidad.

En UNA Campus Sostenible, se viene innovando en el manejo de los residuos orgánicos procedentes de las sodas o comedores estudiantiles, mediante un procesamiento térmico que consiste en la deshidratación de estas materias primas. Rojas & Bogantes (2018), demostraron que en los campus Omar Dengo y Benjamín Núñez de la Universidad Nacional, los residuos orgánicos ocuparon el segundo lugar en el orden de mayor generación de desechos. Además, determinaron que, la posibilidad de reciclaje de estos restos es de 95,5% con relación al total generado, por lo que la utilización de estas materias es viable debido a su alta producción y potencial para poder ser aprovechado.

Como parte de un proyecto asociado entre el Programa de Producción Sustentable de leche bovina de la Escuela de Ciencias Agrarias (ECA) y el Programa UNA Campus Sostenible, se evaluó el uso de residuos orgánicos vegetales procesados en la alimentación de vacas Jersey, como sustituto parcial de los alimentos balanceados utilizados en el hato lechero de la Finca Experimental Santa Lucía de la UNA. En este sentido, se estimaron los efectos sobre la producción y calidad de leche de estos animales con el propósito de generar alternativas alimenticias para sistemas de producción lechera que sean de menor costo a partir de recursos disponibles, y que a su vez, sean inocuos y con el potencial nutritivo necesario para satisfacer los requerimientos nutricionales al ser utilizado como suplemento en las dietas alimenticias utilizadas en las fincas lecheras.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar la utilización de residuos orgánicos vegetales procesados por medio de compostaje automatizado, como sustituto parcial a los alimentos balanceados utilizados en la alimentación del ganado bovino Jersey, analizando la producción y calidad bromatológica de leche en el módulo productivo de la Finca Experimental Santa Lucía.

### **2.2 Objetivos específicos**

Determinar la composición bromatológica de los residuos orgánicos vegetales procesados para la suplementación alimenticia en vacas Jersey.

Comparar la producción y calidad de leche en ganado bovino Jersey suplementado parcialmente con residuos orgánicos vegetales procesados respecto a vacas suplementadas totalmente con alimento balanceado.

Valorar la viabilidad económica de la utilización de los residuos orgánicos vegetales procesados como alternativa en la suplementación alimenticia en vacas Jersey.

## **3. Hipótesis experimental**

H<sub>0</sub>: Los indicadores productivos (producción y calidad de leche) de las vacas lecheras de la Finca Experimental Santa Lucía, no deben presentar diferencias significativas si se sustituye parcialmente el alimento balanceado comercial por residuos orgánicos vegetales procesados en su dieta, a la vez se debe lograr una disminución en el costo de la suplementación por kg de leche del ganado.

H<sub>a</sub>: Los indicadores productivos (producción y calidad de leche) de las vacas lecheras de la Finca Experimental Santa Lucía, presentan diferencias significativas si se sustituye parcialmente el alimento balanceado comercial por residuos orgánicos vegetales procesados en su dieta, a la vez se debe lograr una disminución en el costo de la suplementación por kg de leche del ganado.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1 La Leche bovina y su importancia**

La leche es el producto de la secreción de la glándula mamaria de las hembras en los mamíferos, su función es vital para la sobrevivencia y la alimentación en las primeras etapas de vida (Hershberger, 2012). Igualmente, Hershberger (2012) afirma que este fluido suele tener un pH entre 6,5 y 6,7 y es una emulsión de grasas en agua, estabilizada por una dispersión coloidal de proteínas en una solución de sales, vitaminas, péptidos, lactosa, oligosacáridos, caseína y otras proteínas. Miller, Jarvis y Bean (2007) mencionan que la leche está constituida en un 88,0% por agua y en promedio contiene 12% de sólidos totales. Asimismo, se le otorgan más de 100 diferentes componentes de suma importancia para la nutrición humana, como es el caso de las vitaminas (D, A, B12), minerales (Ca, K y P), proteínas (caseína) y otros factores determinantes para la salud.

De acuerdo con FAO (2015b), como parte de una dieta balanceada, la leche y los productos lácteos pueden ser una fuente importante de energía, proteínas y grasas. Según Wakida *et al.* (2019) la leche de vaca es considerada una fuente primordial para la nutrición de los niños, principalmente cuando no se tiene acceso a leche materna en sus primeras etapas de vida.

### **4.2 Composición bromatológica de la leche bovina**

La producción y composición de la leche depende de factores genéticos, fisiológicos, nutricionales y ambientales (Rodríguez, Saavedra y Gómez, 2015). Según Gómez y Mejía (2005), la leche bovina contiene un 3,20% de proteína, 3,40% de grasa, 4,70% de lactosa y 0,70% de minerales; entre los minerales presentes se encuentra el sodio, potasio, magnesio, calcio, manganeso, hierro, cobalto, cobre, fósforo, fluoruros, yoduros, aluminio, molibdeno y plata.

La raza es determinante en la composición bromatológica y la cantidad de la leche bovina producida. Según Manterola, (2007) la raza Holstein se caracteriza por producir altos volúmenes de leche y presentar bajos contenidos de sólidos totales, mientras que la raza Jersey por el contrario presenta niveles de producción inferiores a los animales de la raza Holstein, pero con una calidad de leche superior. Se ha encontrado en la raza Jersey contenidos de grasa en leche entre el 4,50% y 5,20%, un nivel de proteína entre el 3,50% y 3,90% y porcentajes superiores al 4% de lactosa.

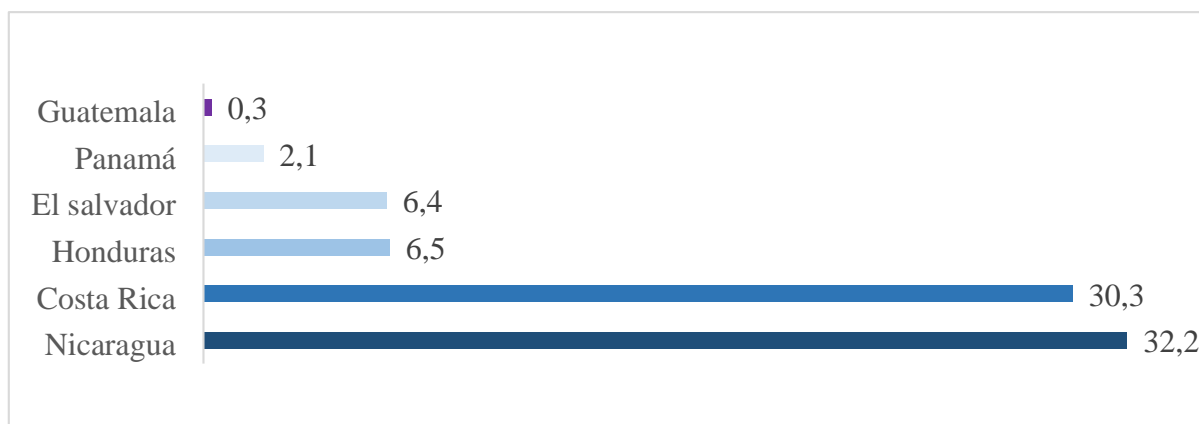
### 4.3 Panorama mundial, regional y nacional del sector lechero

La producción mundial de leche ha tenido un aumento del 49% en las últimas décadas, siendo India, Estados Unidos, Brasil, China, Rusia, Alemania y Nueva Zelanda los principales países productores de leche, acaparando el 60% de la producción total (FAO, 2015a).

La producción mundial de leche tuvo un aumento de 1,60% en 2018, impulsado por un incremento de 3% en India y por la creciente producción en los tres principales exportadores de lácteos (la Unión Europea, Nueva Zelanda y Estados Unidos); Adicionalmente se espera que el consumo de los productos lácteos alcance un incremento de 20 millones de toneladas en equivalente de sólidos lácteos para el 2028 (OCDE, 2019).

Coto (2019), indica que Costa Rica es el país con mayor producción de leche de la región centroamericana, reportando para el año 2017 una producción de 1.144 millones de toneladas métricas, seguido por Honduras, Nicaragua, salvador, Guatemala y Panamá, con 691, 567, 560, 491 y 176 millones de toneladas métricas, respectivamente.

Sin embargo, como señala Giraldo (2019), el principal exportador de productos lácteos de la región es Nicaragua, seguido de Costa Rica, Honduras, El Salvador, Panamá y por último Guatemala, tal como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Principales países exportadores de productos lácteos en Centroamérica. Datos del I trimestre del 2019 en millones de US\$.

**Fuente:** Giraldo (2019).

En el mercado nacional existe una gran variedad de productos lácteos. De acuerdo con Giraldo (2019), el principal producto lácteo de consumo en el país es la leche fluida, seguido de quesos, leche en polvo, helados, mantequilla y yogurt.

El consumo per cápita nacional es de 216 litros por persona por año, mismo que se encuentra por encima del promedio de la región el cual es de 115 litros por persona por año (Giraldo, 2019).

A nivel nacional se cuenta con 1.278.817 cabezas de ganado vacuno, el cual está compuesto por el 42,10% de ganado de carne, 32% ganado doble propósito y el restante 25,60% corresponde a ganado de leche, lo que corresponde a un total de 327.377 cabezas de ganado dedicadas a la lechería, siendo las razas Holstein, Jersey y sus respectivas cruces las más predominantes. La provincia de Alajuela es la que cuenta con la mayor cantidad de fincas dedicadas a la explotación bovina de leche (INEC, 2015).

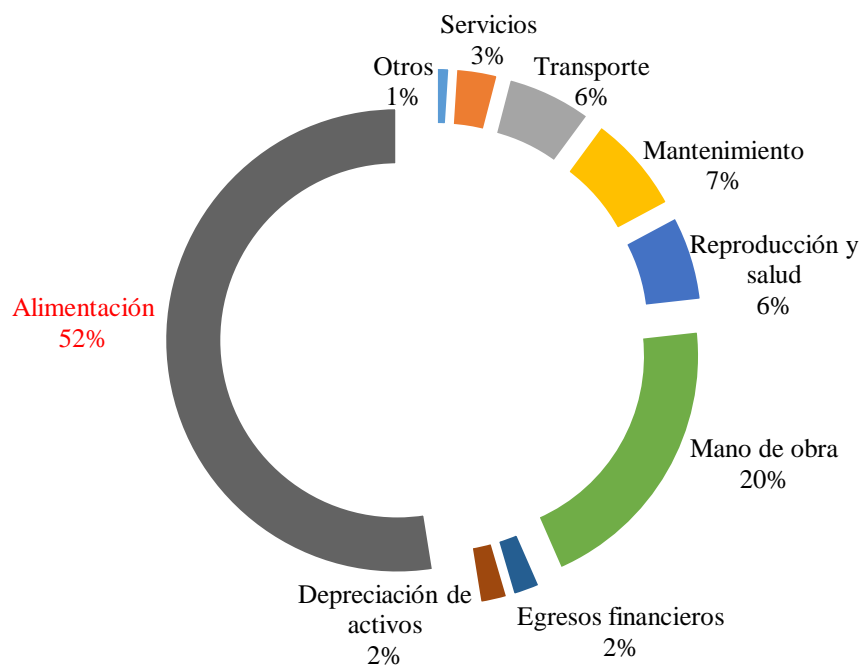
Como lo indica Vilaboa y Díaz (2011), en el país más del 80% de las fincas ganaderas poseen extensiones menores a 50 hectáreas (ha), el 39% de los sistemas productivos cuentan con una extensión menor a 10 ha, mientras que sólo el 9% de las fincas contienen superficies mayores a 80 ha, las cuales concentran el 42% del hato nacional. De esta actividad dependen más de 140.000 personas de manera directa y cerca de 8.750 de manera indirecta.

#### **4.4 Problemática del sector lechero nacional**

Los pastos de las zonas tropicales son bajos en proteína digestible y altos en fibra, además de que presentan una reducción de biomasa durante la época seca, lo cual trae como consecuencia balances nutricionales negativos en las vacas de mayor rendimiento productivo (Lezcano *et al.*, 2012). Esta situación provoca que en los sistemas productivos lecheros se suplementen los animales con alimento balanceado comercial, como señala O'neal (2019) en el país alrededor del 60% de los costos variables de la producción consisten en la compra de granos, lo cual pone en desventaja a Costa Rica frente a países como Estados Unidos, los cuales producen cereales, tienen una producción a gran escala y aplican subsidios.

De acuerdo con lo anterior el costo implicado en la alimentación es el factor que representa el valor más alto dentro de la estructura de costos de una finca lechera (Coto, 2019), tal como lo muestra la Figura 2.





**Figura 2.** Estructura de costos porcentual de una finca lechera nacional.

**Fuente:** Coto (2019).

Los altos costos en las fincas lecheras del país tienen una influencia debido al alto costo de las materias primas empleadas en la elaboración de los alimentos balanceados comerciales. Según Castro (2019), en Costa Rica el costo operativo de una vaca en producción es de ₡4.743,20/día y solo en alimentación se invierte ₡2.515,50/día. Dentro de las materias primas el maíz amarillo y la harina de soya representan cerca del 40 y 16% de los costos de producción (MEIC, 2016).

#### 4.5 Alternativas en la suplementación alimenticia

Existen diversas prácticas que se pueden implementar para no depender completamente de la suplementación a base alimento balanceado comercial. De acuerdo con Mejía, Vergara, Raun y Hernández (2018) el ensilaje es una excelente alternativa en la alimentación de ganado bovino. Según Garcés, Berrio, Ruiz y Serna (2004) esta es una de las técnicas más utilizadas en los sistemas lecheros. Otra estrategia utilizada en los sistemas ganaderos, es la implementación de sistemas silvopastoriles,

en los cuales se logra una mejora en la disponibilidad de nutrientes a un bajo costo económico y ambiental (Alpizar, 2014).

Con base en Giraldo, Sinisterra y Murgueitio (2011) los bancos de proteína y forrajeros son prácticas para disminuir la dependencia de alimentos balanceados en la alimentación animal basándose en la incorporación de cultivos con altos valores proteicos en los sistemas productivos.

En los últimos años, la necesidad de conservación del medio ambiente ha hecho de la utilización de residuos orgánicos una alternativa para el reciclaje nutrientes que permita obtener materia prima a un bajo costo para la suplementación en las dietas animales. Ensayos realizados por Ramírez, Peñuela y Pérez (2017) e Itza (2019) demostraron que, incorporar residuos orgánicos en la suplementación animal puede suplir los requerimientos nutricionales a partir de materia prima a bajo costo y de gran calidad nutricional e inocuidad.

#### **4.6 Problemática mundial y regional de la generación de residuos orgánicos**

A nivel global entre el 25 y 30% de los alimentos que se producen para consumo humano se desperdician y corresponden a unos 1.300 millones de toneladas de alimentos alrededor del mundo. Entre los productos de mayor desperdicio se encuentran los cereales (30%), las raíces, frutas, hortalizas y semillas oleaginosas (40-50%), los pescados (35%) y la carne y productos lácteos (20%) (Benítez, 2020).

Además, Este desperdicio significa una pérdida económica de \$750 billones y en términos de gases de efecto invernadero repercute en 3,30 billones de toneladas de CO<sub>2</sub>e (Álvarez, 2014). Según Mosquera y Rivera (2017), el 6% de las pérdidas mundiales de alimentos se dan en América Latina y el Caribe, y aproximadamente el 15% de los alimentos aprovechables se pierden cada año en la región. Asimismo, FAO (2017), afirma que en los países en desarrollo un 40% de las pérdidas ocurre en las etapas de pos cosecha y procesamiento.

#### **4.7 Manejo de residuos orgánicos en Costa Rica**

En Costa Rica, el sector de los residuos agrícolas orgánicos ha incursionado en la producción de gas a base de cascarilla de arroz, compostaje de residuos de caña de azúcar y café y generación de biogás para el sector bovino y porcino (Coto, 2013).

En el sector municipal, teniendo en cuenta el Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos (2016), este señala que las municipalidades deben encargarse de la recolección y tratamiento de los residuos orgánicos; sin embargo, los gobiernos locales no implementan esto en sus territorios.

En el Campus Omar Dengo y Benjamín Núñez, ambos de la Universidad Nacional, se ha implementado este tipo de manejo, en el cual, los residuos orgánicos ocuparon el segundo lugar en el orden de mayor generación de desechos, además de presentar una probabilidad de reciclaje de un 95,50% (Rojas y Bogantes, 2018).

#### **4.8 Características de la composición bromatológica de los residuos orgánicos**

Dependiendo de la fuente de la se obtenga los residuos orgánicos su composición bromatológica puede ser muy variable. En un estudio realizado por Ramírez *et al.* (2017) determinaron el contenido energético y nutricional de los desperdicios de comedor y cocina deshidratados. En este estudio se obtuvo resultados de materia seca del 95,10 %, cenizas 4,90%, proteína cruda 16,90%, fibra cruda 3,10%, extracto etéreo 14,70%, extracto libre de nitrógeno 62 % y energía metabolizable (Mcal/kg) 3,28.

Con base en Rojas y Cisneros (2021), la composición bromatológica de los residuos de cocina después de un proceso de compostaje y deshidratación de la Universidad Nacional es de materia seca 43,70%, proteína cruda 12,30%, fibra cruda 70,20%, extracto etéreo 12,10% y cenizas 12,30%.

Otros autores como, Delgado y Asensio (2018) reportan valores de composición nutricional de otros residuos orgánicos como ensilaje de pulpa de café con valores de materia seca de 89,30%, cenizas 16,80%, extracto etéreo 3,30%, proteína cruda 31,30%, fibra cruda 29,40% y extracto libre de nitrógeno 26,50%.

#### **4.9 Uso de residuos orgánicos en alimentación animal**

La utilización de residuos orgánicos en la alimentación se implementa desde hace varios años. Sobre esta línea, Cerda *et al.* (1995) llevaron a cabo un estudio tendiente a caracterizar el valor nutritivo y posible utilización de residuos de cultivos hortícolas como maíz, melón, tomate, lechuga y pepino en rumiantes.

En estudios similares, Ramírez, Peñuela y Pérez (2017) e Itza (2019) realizaron estudios en otras especies animales, quienes evaluaron la utilización de residuos de cocina en la suplementación

alimenticia porcina. Asimismo, Llacua y Elizabeth (2016) utilizaron residuos de cocina y evaluaron el aprovechamiento de los mismos para producir harina orgánica para la alimentación de conejos.

Otros autores han optado por dar un tratamiento adicional a los residuos orgánicos para luego ser utilizados en la suplementación animal. Tal como Gallego (2017) quien propuso la elaboración de un ensilado con microorganismos eficientes como aditivo a los residuos de cocina para la alimentación de cerdos y gallinas ponedoras. Por otra parte, Ramírez (2018) determinó el uso de residuos de cocina para realizar ensilados evaluando características organolépticas, composición bromatológica y calidad microbiológica antes y después de 21 días del proceso de ensilado, para el uso de este material en la suplementación porcina.

Para el caso de un hato lechero; Borrero, Cujía y Gutiérrez (2017) han implementado métodos de aprovechamiento de residuos orgánicos los cuales buscaron utilizar los residuos de mango en combinación con lactosuero (un subproducto para alimentación animal con altos niveles de proteínas). El objetivo de esta investigación fue determinar los beneficios de elaboración de ensilados con estos productos a fin de contrarrestar el efecto negativo que provocan los períodos secos en la producción bovina. En dicho estudio se determinó que la combinación de mango y lacto suero permite el aumento de proteína en la dieta para rumiantes.

## **5. Metodología**

### **5.1 Determinación de la composición bromatológica de los residuos orgánicos (RO) vegetales procesados.**

#### **5.1.1 Recolección y procesamiento de RO**

Se recolectaron residuos orgánicos procedentes de una cadena de supermercados internacional en una de sus sedes en Heredia, para luego ser transportados hacia las instalaciones de UNA Campus Sostenible ubicadas en la sede Omar Dengo de la Universidad Nacional en Heredia, donde se realizó el proceso de compostaje. Para efectos de esta investigación, los residuos estuvieron compuestos por verduras, frutas y eventualmente fibra de coco que se desechan como residuos orgánicos y que no son comercializados.

El primer paso, luego de su recolección y pesaje en Campus Sostenible, consistió en triturar dichos residuos utilizando una trituradora marca TROY-BILT con el fin de disminuir el tamaño de las partículas y posteriormente, se extrajo parte del líquido contenido en el material utilizando un extrusor de alimentos modelo Nano.

Después de este proceso, al material se le añadió salvadillo pellets de soya, y luego se introdujo en un compostador automatizado, marca Compostech<sup>®</sup>, modelo CT-100 donde se aplicó un proceso térmico y de deshidratación continua durante 24 h a una temperatura entre 70 a 90° C.

Cumplido el tiempo, se procedió a extraer el alimento composteado y pesar la producción total obtenida. Luego al total producido se le realizó un proceso de secado de 4 a 5 días al sol para aumentar porcentaje de materia seca del material, con fin de obtener al final de este proceso una materia seca superior al 85%; este proceso se realizó en uno de los invernaderos de la Finca Experimental Santa Lucía donde se procedió a extender el material y hacer volteos diarios hasta verificar que el contenido de humedad se encontrara en los parámetros ideales.

Una vez finalizado el proceso de compostaje y secado de los residuos orgánicos, se procedió a empacar en sacos el material para su posterior uso en el proceso experimental. Dicho almacenaje se realizó en la bodega de almacenamiento de la lechería de la Finca Experimental Santa Lucía, con el fin de mantener la calidad e inocuidad del producto.

### **5.1.2 Análisis bromatológicos realizados a los RO**

Los análisis bromatológicos de los residuos orgánicos se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Productos Vegetales y Animales (LAPAV) de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional (UNA), sede Omar Dengo. Este laboratorio se ubica entre las coordenadas 9°59'56" N y 84°06'41" O.

Una vez procesado la totalidad del material necesario para iniciar con el proceso experimental, se mezcló todo hasta obtener un material homogéneo, de ahí se recolectaron submuestras de distintos puntos hasta lograr conformar una muestra compuesta con un peso de 1,50 kg, la cual se colocó en una bolsa plástica para ser trasladadas al LAPAV, para llevar a cabo los análisis bromatológicos.

A partir de la muestra compuesta se realizaron análisis de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), extracto etéreo (EE), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CE) y energía neta de lactancia (ENL) en el LAPAV.

Para la determinación de la MS, se procedió a pesar la muestra de 1 kg inmediatamente al ser colectada, luego de esto se introdujo en una estufa con una temperatura de 60° C y se mantuvo ahí durante un mínimo de 2 días. Pasados 48 horas, se procedió a pesar nuevamente y se guardó en una estufa para al siguiente día volver a pesar y verificar que el peso se mantuvo constante, Luego se determinó el porcentaje de M.S con base en el peso inicial (AOAC, 1980).

Posterior al secado de las muestras a 60°C, éstas se colocaron en un horno de 105°C durante 4 horas, con la finalidad de eliminar el contenido de humedad de las muestras, según la metodología propuesta por la (AOAC, 1980).

El contenido de PC se determinó mediante el procedimiento propuesto por AOAC (1980), la concentración de fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA), fueron determinadas siguiendo las metodologías descritas por Van Soest, Robertson y Lewis (1991). El contenido de extracto etéreo (EE) y de cenizas (CE) se determinó mediante el procedimiento propuesto por AOAC (2000). La ENL se obtuvo mediante ecuaciones del Nacional Research Council (NRC 2001).

Los datos obtenidos de composición bromatológica de los residuos orgánicos, además de los valores nutricionales de los componentes de la dieta utilizada en la FESL (Anexo 1), fueron utilizados para la elaboración de balances nutricionales para cada uno de los tratamientos evaluados en los tres

ciclos experimentales utilizando el software para balance de raciones de ganado lechero (NRC 2001). Los tratamientos fueron equilibrados isoproteica e isoenergéticamente utilizando melaza de caña y urea en distintas proporciones por cada tratamiento.

## **5.2 Comparación de la producción y composición bromatológica de la leche en ganado bovino Jersey suplementado parcialmente con residuos orgánicos vegetales procesados respecto a vacas suplementadas totalmente con alimento balanceado.**

### **5.2.1 Ubicación, características y condiciones climáticas de la Finca Experimental Santa Lucía**

La suplementación de estos residuos al hato lechero se realizó en la Finca Experimental Santa Lucía (FESL) perteneciente a la UNA. La FESL se ubicada en Santa Lucía, Barva de Heredia, entre las coordenadas 10° 1' 0" N y 84° 06' 59" O a una altitud de 1200 metros sobre nivel del mar (msnm).

La extensión de la Finca Experimental Santa Lucía es de 32 ha, y el 55% de esa área es ocupado por el proyecto "Producción Sustentable de Leche Bovina". El pasto predominante es Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis*) con una extensión aproximada de 15 has, dividido en 30 aparto; el área de cada aparto ronda entre los 4.500 y 8.500 m<sup>2</sup>. El área restante está conformada por 3,5 ha de forrajes de corte, entre los cuales destacan el Camerún y King grass (*Pennisetum. purpureum*), Morera (*Morus alba*), Maíz forrajero (*Zea mays*), entre otros (Arias, 2018). De acuerdo con Gómez y Montes de Oca (1999), el suelo predominante es de origen volcánico (Andisoles) y una pequeña parte pertenece a Entisoles. La topografía varía de plana a escarpada de superficiales a profundos moderadamente fértiles, bien estructurados y mucha pedregosidad.

La zona cuenta con una precipitación anual de 2403 mm, una humedad relativa de 80%, temperatura media anual de 20,30°C, con 15,40°C de promedio entre las mínimas y 25,20° C de promedio entre las máximas (Instituto Meteorológico Nacional, 2018).

### **5.2.2 Tratamientos experimentales**

El material procesado de los residuos orgánicos fue utilizado para sustituir parcialmente el alimento concentrado utilizado en la alimentación de vacas lecheras. Se ofrecieron 3 tratamientos en donde los animales consumieron una dieta base de forrajes más la suplementación exclusiva según correspondía a cada tratamiento (Tabla 1).

**Tabla 1.** Descripción de los tratamientos experimentales para suplementación alimenticia en vacas Jersey. Finca Experimental Santa Lucía, Heredia.

Tratamiento	Descripción	Abreviatura
1	Pastoreo + suplementación del 100% AB (6,70 kg MF/animal/día, equivalentes a 5,83 kg en MS/día) + 10 kg King grass MF/animal/día + 150 g melaza/animal/día.	T0
2	Pastoreo + suplementación conformada por el 85% de AB (5,70 kg MF/animal/día) + 15%* de RO (1,50 kg MF/animal/día) + 10 kg King grass MF/animal/día + 200 g melaza/animal/día + 14 g urea/animal/día.	T15
3	Pastoreo + suplementación conformada por el 70% de AB (4,70 kg MF animal/día) + 30%* de RO (2,10 kg MF/animal/día) + 10 kg King grass MF/animal/día + 230 g melaza/animal/día + 40 g urea/animal/día .	T30

\*El porcentaje de residuos orgánicos vegetales procesados (RO) utilizado corresponde al reemplazo de MS del alimento balanceado (AB).

### 5.2.3 Animales utilizados en la experimentación y manejo del hato

Para esta investigación se utilizaron 6 vacas adultas de raza Jersey multíparas, que se encontraron entre el primero y segundo tercio de la lactancia con una producción de leche media de 17 kg/vaca/día.

La base de la alimentación de las vacas fue el consumo de pasto Estrella Africana (*C. nlemfluensis*) en pastoreo directo y de forma conjunta; el cual se encontró dentro de los apartos distribuidos para el sistema de pastoreo rotacional dentro de FESL, en un área promedio de 3000 m<sup>2</sup>, lo que equivale a una oferta de aproximadamente 86 m<sup>2</sup>/animal/día. Los animales tuvieron un periodo de ocupación de 1 día/aparto, mientras que el periodo de recuperación fue de 29 días/aparto. La carga animal fue de 1,9 UA/Ha.

Además del pastoreo, los animales fueron suplementados dos veces al día en cepos individuales de la sala de alimentación con alimento balanceado comercial y los residuos orgánicos,



según los tratamientos establecidos. Adicionalmente, se les brindó pasto de corta King grass (*Pennisetum purpureum*), melaza, sales minerales y agua a libre consumo todo el día.

Los ordeños fueron mecanizados dos veces al día, el proceso se realizó de la siguiente forma: 1) ingreso de los animales a la sala de ordeño, 2) lavado de pezones, 3) secado de pezones con toallas de papel desechable, 4) prueba de CMT, para verificar si hay presencia o no de mastitis 5) colocado de pezoneras para ordeño, 6) chequeo de flujo de leche y masaje intermedio de la ubre para estimular la secreción de la leche alveolar, 7) verificado de pezones para cerciorarse que no queden residuos de leche en ninguno de los cuartos, 8) sellado de pezones con solución líquida a base de yodo.

#### **5.2.4 Variables a evaluar**

##### **Producción de leche**

La producción diaria de leche se determinó utilizando medidores de leche electrónicos, los cuales están instalados junto al sistema de ordeño. Los datos de producción de leche se transfirieron en tiempo real al software GimenezFazenda y se registró acorde al número de identificación de cada animal.

##### **Composición bromatológica de la leche**

Para la determinación de la composición bromatológica de la leche fueron recolectadas muestras de cada una de las vacas durante 7 días correspondiente a la última semana de cada período experimental, tanto en el ordeño de la mañana como el ordeño de la tarde, de aproximadamente 25 ml/animal/día. Se obtuvo un total de 84 muestras por cada ciclo experimental, por lo que se alcanzaron 252 muestras durante todo el periodo. Las muestras se recolectaron con la ayuda de un lactómetro (Waykato), el cual se colocó en cada punto de ordeño.

Todas las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas con cierre hermético (especiales para la recolección y transporte de leche). Posteriormente, cada bolsa se rotuló y se colocó dentro de una hielera para mantener la temperatura ideal para el transporte.

En la planta de lácteos de la Finca Experimental Santa Lucía (FESL), se determinó el contenido de grasa, proteína, sólidos totales y sólidos no grasos de la leche, utilizando el equipo EkoMilk Ultra Pro. Este dispositivo es un instrumento portátil que utiliza el paso de ondas ultrasónicas para determinar grasa, proteína, sólidos totales y sólidos no grasos en leche bovina (Michilena, 2015).

### 5.2.5 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un cuadrado latino 3x3 replicado en 2 cuadrados y balanceado para efectos residuales (Williams, 1948). El tratamiento corresponde al factor ración alimenticia que cuenta con tres niveles (T0, T15 y T30). En este diseño, el periodo de medición correspondió a las columnas y el grupo de animales corresponderá a las filas. Tal y como se muestra en la Tabla 2.

La agrupación inicial de los animales se realizó considerando peso vivo y la producción de leche. Los animales dentro de los cuadrados se distribuyeron aleatoriamente a cada grupo de alimentación en cada periodo experimental.

**Tabla 2.** Diseño experimental para la evaluación de los tratamientos.

Cuadrado	Vaca	Periodo		
		1	2	3
1	1	T0	T15	T30
	2	T15	T30	T0
	3	T30	T0	T15
2	4	T30	T15	T0
	5	T0	T30	T15
	6	T15	T0	T30

### **5.2.6 Periodo experimental**

El periodo de evaluación fue de 63 días y se dividió en tres ciclos de 21 días, donde se dieron 14 días de adaptación a la suplementación de los tratamientos y 7 días de medición de las variables a investigar por cada ciclo.

**Paso 1.** Traslado de los residuos orgánicos de UNA Campus Sostenible hacia el LAPAV para darle el proceso de secado final (en caso de ser necesario) y luego a las instalaciones de la lechería de la FESL para la evaluación del uso de este material en los animales.

**Paso 2.** Preparación de las mezclas de suplementación, según tratamientos experimentales. Los RO fueron ofrecidos juntos con el AB que le corresponde en la mañana y en la tarde.

**Paso 3.** Se realizó el ordeño de los animales a las 5:00 am y 4:00 pm siguiendo los pasos establecidos en la rutina de ordeño.

**Paso 4.** Se ofreció la suplementación a las vacas, dependiendo del tratamiento experimental que correspondiera. El consumo fue en canoa de forma individual y la cantidad diaria se dividió en dos tiempos al día. Se dió 2 horas en la mañana y en la tarde para que los animales puedan consumir el total de la ración ofrecida posterior al ordeño.

**Paso 5.** Después de finalizado el paso anterior, las vacas se trasladaron nuevamente al sistema de pastoreo, ahí permanecieron hasta el próximo ordeño.

### **5.2.7 Análisis estadístico**

La recolección y tabulación de los datos se realizó con el servicio de plataforma Excel de Microsoft®. Para el análisis estadístico, se utilizará el programa SAS® v 9.0.

Para determinar si existieron diferencias significativas entre las medias, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de los tratamientos. Cuando se encontró diferencias, se aplicó la prueba Tukey al 5% de significancia. Además, se realizó la comprobación de los supuestos homogeneidad de varianza y distribución normal, mediante la observación del gráfico de residuos contra valores predichos y la prueba de Shapiro-Wilk.

El modelo estadístico por utilizar se presenta a continuación;

$$y_{ijk}(\mathbf{I}) = \mu + \tau_i + \gamma_j + \beta_k + \Omega_{l(k)} + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde:

**yijk (I)** = Variable de respuesta (Producción y composición bromatológica de la leche)

**μ**= Media general.

**τ<sub>i</sub>** = Efecto producido por el i-ésimo nivel de los periodos de medición.

**γ<sub>j</sub>** = Efecto producido por la j-ésima factor tratamiento.

**β<sub>k</sub>**= Efecto producido por el k-ésimo nivel del cuadrado.

**Ω<sub>l(k)</sub>** = Efecto asociado al l-ésimo factor aleatorio animal anidado en el cuadrado.

**ε<sub>ijklm</sub>**= Error experimental.

### 5.3 Valoración económica de la suplementación

Para realizar la valoración económica se realizó un análisis de costos que determine el costo de la suplementación por kg de leche producido en cada uno de los tratamientos.

Para el análisis de costos se tomó en cuenta el costo de los ingredientes de la ración total, mano de obra y costos fijos.

El precio de AB, melaza y urea utilizado para balancear nutricionalmente las raciones se estableció según el valor comercial del proveedor de la FESL.

Finalmente, se determinó el costo de la suplementación por kg de leche de cada uno de los tratamientos.

El costo por kg de material fresco de RO se determinó tomando en cuenta dos fases, la primera que corresponde al proceso de recolección y transporte de los residuos hacia el lugar donde se realizó el proceso de compostaje (Campus Sostenible), donde se tomó en cuenta el costo implicado en esa labor. La segunda corresponde a la etapa productiva, donde se tomó en cuenta los valores de mano de obra, insumos y servicios utilizados en el proceso de elaboración.

## **Fase I: Etapa recolección de residuos**

El costo implicado en el transporte para la recolección de residuos orgánicos se determinó tomando en cuenta la cantidad de kilómetros recorridos ida y vuelta (4,60 km) hasta el lugar donde se almacenaron los mismos y el costo de combustible durante el periodo experimental. (¢421/L).

La mano de obra implicada en la recolección de los residuos se determinó conforme a las horas dedicadas al proceso de recolección de residuos orgánicos, el cual se estableció en 1h. El costo de mano de obra se fijó conforme al jornal TONC, el cual según el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social es de ¢10.620/jornal.

## **Fase II: Etapa de procesamiento**

Para realizar este apartado se fijó la vida útil de los equipos, la cual, según Julián Rojas Vargas encargado del proceso del compostaje automatizado en UNA Campus Sostenible es de 30 años.

Para determinar la depreciación de la compostera automatizada se consideró el valor unitario de equipo en ¢17.402.550 y un ciclo productivo de 1 día.

De igual manera se determinó la depreciación del triturador y extrusor tomando el precio comercial de los mismos (¢800.000 triturador y ¢ 1.923.900 extrusor) tomando en cuenta la duración en horas de trabajo (1h).

Además de los residuos orgánicos, los cuales no tienen un valor económico en este apartado debido a que no se paga por ellos (solo se deben recoger en el lugar destinado), al procesamiento de los RO se adicionó cascarilla de soya, la cual tiene un valor de ¢12.000/quintal. Por lo que el costo implicado en este aspecto se tomó en cuenta utilizando la cantidad de cascarilla de soya adicionada por ciclo productivo (3kg).

Con base en el pago de servicios se tomó en cuenta el costo implicado en la electricidad requerida para el funcionamiento del equipo durante el periodo del ciclo productivo. El tiempo implicado en este aspecto fue de 24 h, ya que es el tiempo que dura la compostera automatizada en funcionamiento por cada tanda productiva

Con base en la ficha técnica se obtuvo la potencia del equipo, la cual se utilizó para determinar la energía requerida para el funcionamiento en kilowatt hora (kWh). Para determinar el costo del

consumo de energía se utilizó el precio por kWh de la tarifa preferencial de la Empresa de Servicio Públicos de Heredia (ESPH) durante el periodo experimental.

Las fórmulas utilizadas se presentan a continuación:

Energía (kWh)= Potencia \* Tiempo

Costo total= Energía (kWh) \* Precio kWh

Para determinar el costo de mano de obra implicada en el procesamiento de los RO se utilizó el total de horas dedicadas a la trituración, extrusión y llenado de la compostera automatizada con los residuos orgánicos. Dicho valor se fijó en 2 h, el cuál fue el tiempo promedio de duración de los encargados de realizar este proceso en UNA Campus Sostenible. Este costo se determinó tomando en cuenta el jornal TONC, el cual según el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social es de ¢10.620/jornal durante el periodo experimental.

## 6. Resultados y discusión

### 6.1 Composición bromatológica de los residuos orgánicos

En la tabla 3 se presenta la composición bromatológica de los residuos orgánicos evaluados durante el periodo experimental.

**Tabla 3.** Composición bromatológica de los residuos orgánicos (RO). Santa Lucía, Barva. Heredia.

<b>Muestra</b>	<b>RO</b>
<b>% M.S 60</b>	83,46
<b>% FND</b>	47,17 ± 0,71
<b>% FAD</b>	28,45 ± 0,47
<b>% EE</b>	14,24 ± 0,12
<b>% LIG</b>	3,93 ± 0,34
<b>% PC</b>	9,31 ± 0,47
<b>% CE</b>	6,57 ± 0,04
<b>EM Mcal/kg</b>	2,85
<b>ENL Mcal/kg</b>	1,81

\*MS: materia seca, FND: fibra neutro detergente, FAD: fibra ácido detergente, EE: extracto etéreo, LIG: lignina, PC: proteína cruda CE: cenizas, EM: energía metabolizable, ENL: energía neta de lactancia

**Fuente:** LAPAV, 2021

#### 6.1.1 Materia seca

El contenido de MS de los residuos orgánicos utilizados en esta investigación fue de 83,50%, este resultado es inferior a los citados en las investigaciones realizadas Ramírez, Peñuela y Pérez

(2017) y Delgado y Asensio (2018), quienes reportaron contenidos de MS del 95,10% y 89,30%, respectivamente; en desperdicios de comedor y ensilaje de pulpa de café.

Por otra parte, Rojas y Cisneros (2021) reportó un contenido de MS menor, el cual se encontró entre 43,70 - 70,80% en muestras que estaban compuestas por residuos de cocina, cáscaras de frutas y verduras de la Universidad Nacional.

La diferencia en el contenido de MS entre el material analizado en este estudio y los mencionados por los autores anteriores, puede estar influenciada por el tipo de residuo orgánico utilizado en cada una de estas investigaciones, así como los procesos de tratamiento recibidos. Sin embargo, los valores de MS reportados en este estudio son similares a los encontrados en alimentos balanceados, los cuales de acuerdo con López (2017) no deben exceder un 12 - 13% de humedad, ya que en condiciones con un valor de MS menor tienden a fermentarse, propiciar un ambiente adecuado para el crecimiento de hongos y por tanto, de mico toxinas, generando disminución de la calidad nutricional de los alimentos. Sin embargo, el análisis de mico toxinas realizado a estos residuos no arrojó presencia de estos microorganismos en niveles críticos (ver anexo 2).

### **6.1.2 Fibra neutro detergente y Fibra ácido detergente**

El contenido de FDN fue de 47,17%, mismo que está influenciado por la naturaleza de la materia prima utilizada en la elaboración de este material (cáscaras y desperdicios de frutas y verduras) las cuales poseen altos contenidos en fibra. Este valor es similar al arrojado en el estudio realizado por Rojas y Cisneros (2021) quien reportó un contenido de FND de 43% en un material compuesto por cáscaras de frutas y verduras procedente de las sodas de la Universidad Nacional.

El valor de FND obtenido en esta investigación fue superior al reportado por López (2017) quien obtuvo un contenido de FND de 30,91% en pellets elaborados a partir de sub productos agropecuarios. Esta diferencia se ve influenciada por el tipo de productos evaluados en el presente estudio, los cuales poseen altos contenidos de Fibra.

El valor de FDA obtenido fue de 28,40%, mismo que fue superior al valor reportado en el estudio realizado por López (2017) quien obtuvo un contenido de FDA de 21,20% en pellets elaborados a partir de sub productos agropecuarios. No obstante, este valor es inferior al estudio realizado por Rojas y Cisneros (2021) quien obtuvo un 32,40% de FDA en un alimento compuesto por cáscaras de frutas y verduras procedentes de las sodas de la Universidad Nacional.



Valores inferiores a los obtenidos en esta investigación se presentaron en un estudio realizado por Gallego (2017) quien al analizar la composición bromatológica de ensilaje de residuos de comedor con un aditivo de microorganismos eficientes, se encontraron valores de FND y FDA de 17,22% y 13,23%, respectivamente a los 4 meses de ensilaje.

El contenido de FDN presente en los RO es adecuado para el consumo del hato lechero. Sin embargo, cuando se habla de fibra físicamente efectiva se tiene que tomar en cuenta el tamaño de partícula del alimento que se ofrece, por lo que además del contenido de fibra presente en el alimento, se debe procurar que el tamaño de partícula favorezca la masticación y la rumia. Esto aumenta la salivación y evita la disminución excesiva del pH ruminal, cuando las dietas utilizan altos contenidos de alimentos fermentables como los alimentos concentrados. En fincas donde la alimentación se basa en pastoreo y suplementación con concentrados, el mínimo de FDN debe ser de 27-33%, mientras que el mínimo de fibra físicamente efectiva debe ser de 20% (Keim, 2013).

Debido a que el tamaño de partícula de los RO es inferior a los 6,50 mm, el pastoreo y la suplementación con el pasto de corta King grass ofrecido durante el periodo experimental fueron de vital importancia para aumentar la salivación y la rumia evitando problemas como la acidosis ruminal.

### **6.1.3 Extracto etéreo**

El valor obtenido en esta investigación fue de 14,20%. Resultados similares fueron reportados en residuos orgánicos compuestos por materia prima diferente a la evaluada en este estudio. Tal es el caso de Ramírez *et al.* (2017) quienes encontraron valores de 14,70% en residuos de comedor deshidratados, al igual que Rojas y Cisneros (2021) quien reportó contenidos de 12,30% en la muestra compuesta por residuos de cocina de las sodas de la Universidad Nacional.

Contenidos de EE menores, se encontraron en el estudio realizado por Rojas y Cisneros (2021) en un material compuesto por cáscaras de frutas y verduras, donde se reportó valores de 4,90%. La diferencia en los valores de EE en estos estudios puede estar influenciada en la incorporación de broza de coco en los RO, el cual presenta un contenido de EE superior al 20% (ver anexo 3).

En otros estudios similares, Borrero, Cujía y Gutiérrez (2017) analizaron la composición bromatológica de cascaras y semillas de mango obteniendo valores de extracto etéreo en las cáscaras de 1,40%, mientras que en las semillas el contenido fue de 11%, este último está mayoritariamente

compuesto por lípidos neutros (94,7%). Mientras que Asensio y Delgado (2018), reportaron contenidos de extracto etéreo de 3,30% en ensilaje de pulpa de café.

#### **6.1.4 Lignina**

El valor de lignina obtenido en los RO fue de 3,93% (tabla 3). Este valor es similar al del alimento balanceado “Lechera 18” con 2,70%, mismo que se utiliza en la FESL, lo cual indica que el material evaluado en este estudio podría presentar una alta digestibilidad.

En materiales similares al evaluado en este estudio, Solano (2011) se presentaron contenidos de lignina en banano verde, cáscara de piña y cáscara de yuca de 1,69%, 2,70% y 3,28%, respectivamente; siendo la cáscara de yuca el material con mayor similitud en cuanto al valor de lignina con relación a la presente investigación.

Por otra parte, el contenido de lignina obtenido en este estudio es inferior al presente en otros materiales utilizados en la suplementación del ganado lechero, como el caso de plantas forrajeras, como *T. diversifolia* de 11,50% (Arias, 2018) y 6,20% (Verdecia et al., 2011); mientras que en *Cratylea argentea* se reportaron contenidos de 12,10% (López y Briceño, 2016), esto puede ser debido a que los forrajes presentan mayor contenido de lignina con forme aumenta su estado de maduración (Verdecia et al., 2011)

#### **6.1.5 Proteína cruda**

Los RO presentaron contenidos de PC de 9,30%. Este valor es inferior a los reportados por Ramírez Peñuela y Perez (2017) y Delgado & Asensio (2018) quienes obtuvieron valores de 16,90% y 31,30% en residuos de cocina y ensilaje de pulpa de café. Esta diferencia de valores puede tener influencia en la materia prima utilizada en los tipos de residuos analizados, los cuales para todos los casos varían su composición.

Esta variación se ve reflejada en el estudio realizado por Rojas y Cisneros (2021) donde al analizar tres tipos de residuos orgánicos (crudo, cocinado y mixto) procesado utilizando el mismo proceso descrito en esta investigación, se obtuvieron valores de PC de 6,70%, 11,60% y 12,30% para el material crudo, cocinado y mito, respectivamente.

Además, analizando tres distintas fuentes de residuos por separado como lo son la cáscara de maracuyá, cáscara de plátano y semilla de mango, los valores de PC fueron de 14,50%, 8,10% y 16,60%, respectivamente (Guerra *et al.*, 2017).

Valores inferiores de PC a los arrojados en esta investigación se presentaron en el estudio realizado por Gallego (2017) quien determinó la composición bromatológica de ensilaje de residuos de comedor con un aditivo de microorganismos eficientes, donde se obtuvieron contenidos de PC de 7,18%, 7,22% y 7,61% a los 45 días, 2 meses y 4 meses respectivamente.

El resultado de PC obtenido en esta investigación fue inferior al alimento balanceado utilizado en la suplementación de las vacas lecheras, el cual es de 18% (anexo 1). Sin embargo, esto resulta interesante debido a que de un material del cual se solía ver como desecho está aportando el 50% de la proteína que ofrecen los alimentos balanceados comerciales para etapa productiva.

Lo anteriormente mencionado supone un valor mayor al tomar como referencia la cantidad de proteína cruda que ofrece los alimentos balanceados utilizados para satisfacer la necesidad nutricional de las vacas secas, los cuales deberían rondar el 12% de PC (Wheeler, 2006). Por lo que el uso de los RO en animales en esta etapa fisiológica supone un aporte cercano al 80% de la totalidad de PC requerida.

#### **6.1.6 Cenizas**

El contenido de cenizas de los RO fue 6,60%, este valor es similar al del concentrado “Lechera 18” el cual es de 5,1% (anexo 1), y al valor reportado por Ramírez, Peñuela y Perez (2017) quienes obtuvieron un dato de 4,90% de cenizas en los residuos de cocina.

De acuerdo con Rojas y Cisneros (2021) los residuos de cáscaras de frutas y verduras de las sodas de la Universidad Nacional presentaron valores de cenizas de 11,40%, mientras que la muestra con residuos de comedor el contenido de cenizas fue igual al obtenido en esta investigación.

En otros estudios similares como el realizado por Delgado y Asensio (2018) el contenido de cenizas del ensilaje de pulpa de café fue 16,80%. Este valor se es muy similar al reportado por Gallego (2017) quien obtuvo un valor promedio de cenizas de 15% en de ensilaje de residuos de comedor con un aditivo de microorganismos eficientes.

De acuerdo con Morillas y Delgado (2012) el contenido de cenizas representa la cantidad mineral presentes en el alimento, lo cual indica que los RO presentan un bajo contenido de minerales en comparación a los citados anteriormente.

### **6.1.7 Energía neta de lactancia (ENL)**

La ENL de esta investigación fue de 1,81 Mcal/kg, este valor es similar al presente en el concentrado “Lechera 18”, el cual es de 1,86 Mcal/kg (anexo 1). Este dato es de vital importancia, ya que se puede notar que con la inclusión de estos residuos en la alimentación del ganado podemos cubrir casi la totalidad del aporte de mega calorías de ENL en vacas productivas utilizando una cantidad similar de RO.

Contenidos de ENL similares al de esta investigación se obtuvieron en el estudio realizado por Campos y Rojas (2019) quienes, al evaluar la composición nutricional de mezclas ensiladas de subproductos de cervecería con melaza, melaza deshidratada y pulpa de cítricos, obtuvieron un valor de ENL promedio de 1,86 Mcal/kg.

Sin embargo, el valor de ENL obtenido en esta investigación es superior al arrojado en el estudio realizado por López, WingChing y Rojas (2015), en el cual se evaluó ensilajes de cáscara de piña con distintos porcentajes de adición de heno y urea, obteniendo un valor de ENL promedio de 1,38 Mcal/kg.

La inclusión de fibra de coco a los RO supone uno de los grandes factores por el cual se logró obtener este valor de ENL, ya que este material al contener valores altos de EE (24,03%) representa una gran fracción del aporte de energía obtenida en los RO.

## **6.2 Producción y composición bromatológica de la leche**

### **6.2.1 Producción de leche**

En la tabla 4 se muestran los resultados de la producción de leche promedio obtenida en cada uno de los tratamientos experimentales.

**Tabla 4.** Producción de leche (kg/vaca/día) en vacas suplementadas con distintos niveles de sustitución del AB por RO. Santa Lucía, Barva. Heredia. 2019.

<b>Tratamiento</b>	<b>PL (kg)</b>
<b>T0</b>	16,26 <sup>ab</sup>
<b>T15</b>	16,67 <sup>a</sup>
<b>T30</b>	15,24 <sup>b</sup>
<b>EEM</b>	<b>0,92</b>
<b>p-valor</b>	<b>0,0158</b>

\*Letras diferentes a y b en la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).  
PL: Producción de leche, EEM: Error estándar de las medias

La producción de leche presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ( $P < 0,05$ ), siendo el T15 el que mostró un valor superior para esta variable, mismo que no fue distinto al T0, pero si significativamente diferente al T30.

Si bien todos los tratamientos son isoenergéticos e isoproteicos, que exista diferencia significativa entre T15 y T30 podría tener influencia en la palatabilidad de los RO, lo cual podría influir negativamente en el consumo del tratamiento con mayor contenido de RO (T30).

Tanto T15 como T30 no presentaron diferencia significativa para la producción de leche, en comparación con el tratamiento testigo (T0). Lo cual indica que la utilización de residuos orgánicos como fuente de suplementación en vacas Jersey lecheras de alta producción a niveles de sustitución de hasta un 30% del AB, no presenta un efecto negativo en la producción de leche diaria promedio con relación a la dieta basada en 100% concentrado.

Que no exista diferencia significativa en la sustitución del 15 y 30% de alimento balanceado por RO con base al tratamiento compuesto 100% de alimento balanceado puede estar relacionado al balance isoenergético e isoproteico realizado para proporcionar dietas nutricionalmente equitativas en todos los tratamientos (tabla 1).

Los resultados obtenidos en esta investigación se asemejan a los reportados por Navarro, Blandon y Torres (2012) quienes no encontraron diferencias significativas en la producción de leche al evaluar el efecto de la inclusión de ensilaje de pulpa de café sobre una dieta a base de concentrado en ganado lechero.

Por otra parte, García (2017) evaluó la adición de 6 kg de papa/animal/día al sustituir del 70% del alimento balanceado comercial sobre la cantidad y calidad de la leche en vacas Holstein, arrojando diferencia significativa en la producción de leche a favor de la dieta que incluyó papa.

Además, Anrique y Dossow (2003) en vacas de la raza Frisón Negro demostró que existe evidencia significativa en la producción de leche al incluir en la dieta 30% de ensilaje de pulpa de manzana más concentrado y otros componentes sobre una dieta donde no se incluyó este alimento, obteniendo mayor producción de leche en la dieta que incluyo pulpa de manzana.

### 6.2.2 Composición bromatológica de la leche

En la tabla 5 se presentan los resultados obtenidos en las variables de calidad bromatológica de la leche, según los diferentes niveles de sustitución de AB por RO en la suplementación de las vacas lecheras.

**Tabla 5.** Efecto de los diferentes niveles de sustitución del AB por RO sobre la composición nutricional de leche.

<b>Tratamiento</b>	<b>%Gr</b>	<b>%Prot</b>	<b>%SNG</b>	<b>%ST</b>
<b>T0</b>	3,71	3,09	8,17	11,88
<b>T15</b>	3,61	3,11	8,24	11,85
<b>T30</b>	3,77	3,08	8,18	11,95
<b>EEM</b>	0,24	0,05	0,13	0,24
<b>p-valor</b>	0.7760	0.5482	0.5914	0.8665

\*Gr: grasa, Prot: proteína, SNG: sólidos no grasos, ST: sólidos totales, EEM: error estándar de las medias

Como se observa en la tabla 5, los niveles de sustitución de AB por RO analizados en esta investigación como suplemento en la dieta de las vacas lecheras de la raza Jersey no presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) en las variables grasa, proteína, sólidos totales y sólidos no grasos. Lo anterior sugiere que la utilización de residuos orgánicos como fuente de suplementación en vacas Jersey lecheras de alta producción a niveles de sustitución de hasta un 30% del AB, no presenta un efecto en la calidad de la leche con relación a la dieta basada en 100% concentrado (T0).

Que no exista diferencia significativa ( $P>0,05$ ) en los distintos tratamientos puede estar influenciado, al igual que en la producción de leche, por el balance isoenergético e isoproteico que se realizó en todas las dietas, por lo que el contenido nutricional de la leche no debe presentar variación entre tratamientos.

#### **6.2.2.1 Grasa**

Los resultados de esta investigación son mayores a los arrojados por Montoya, Pino y Correa (2004) quienes reportaron contenidos de grasa en leche de 2,76% y 2,78%, respectivamente en vacas lecheras suplementadas con 6 y 12 Kg de papa fresca como sustituto parcial al uso de alimento balanceado.

Contenidos de grasa mayores a los reportados en esta investigación se obtuvieron en los estudios realizados por García (2017) quien reportó valores de 4,10% en animales suplementados 6 kg de papa y alimento balanceado; mientras que Gutiérrez (2011) en ganado Holstein obtuvo un valor de 4.30% al utilizar en la dieta subproductos de manzana como sustituto parcial del concentrado.

En estudios similares como el realizado por García (2017) y Montoya, Pino y Correa (2004) no encontraron diferencias significativas al evaluar la sustitución de alimento balanceado por la inclusión de papa en la alimentación de vacas lecheras.

Sin embargo, en la investigación realizada por Gutiérrez (2011) donde se evaluó la inclusión de un subproducto de manzana en la alimentación de vacas lecheras, se encontró diferencia significativa a favor del tratamiento que incluyó los sub productos de manzana. De acuerdo con el autor mencionado anteriormente, este aumento se debe a que el tratamiento con subproductos de manzana proporcionó una fuente de fibra de mayor calidad, y estos a su vez propician la formación de ácidos grasos volátiles como el acético y el butírico, los cuales son fundamentales para la formación de grasa láctea.

Además, en cuanto al contenido de grasa uno de los factores que repercuten en que no exista un aumento en el porcentaje de grasa es el tamaño de partícula de los RO. Urrutia y Muñoz (2022), afirman que el tamaño de partícula determina cuán efectiva es la fibra en estimular la rumia, lo que provoca que los niveles de pH favorezca la acción de los microorganismos que digieren la fibra y la transforman a acetato, el cual es el principal precursor de la grasa láctea. Debido a que el tamaño de partícula ofrecido en los tres tratamientos fue similar, este factor no tuvo influencia en cuanto a una posible variación en el porcentaje de grasa.

#### **6.2.2.2 Proteína**

Los resultados obtenidos en esta investigación se asemejan a los arrojados por García (2017), quien no encontró diferencias significativas de proteína en leche en animales suplementados parcialmente con papa y alimento balanceado.

De igual manera, en el estudio realizado por González (2019) no se encontró diferencia significativa en el porcentaje de proteína en leche al evaluar cuatro subproductos agroindustriales (polvillo de arroz, arrocillo, torta de coco y cascarilla de cacao) en un hato lechero.

Por el contrario, en el estudio de Gutiérrez (2011) se encontró una diferencia significativa a favor del tratamiento testigo, lo que indicó una disminución del valor de proteína en leche al incluir subproductos de manzana en la dieta de las vacas. De acuerdo con el autor este resultado está relacionado al aumento de la grasa láctea presente en dicho estudio, la cual tiene una correlación negativa con la proteína láctea, por lo cual, el aumento de grasa provocó una disminución de la proteína en leche.

#### **6.2.2.3 Sólidos no grasos y sólidos totales**

Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los arrojados por García (2017) quienes obtuvieron valores de sólidos totales (ST) y sólidos no grasos (SNG) de 12% y 8,30%, respectivamente, en animales suplementados con alimento balanceado y papa.

En un estudio similar, Foster (2004) evaluó el efecto de la inclusión del banano verde de rechazo sobre la producción y composición de la leche en el ganado Jersey, obteniendo contenidos de SNG y ST promedios de 9,10% y 14,11%, respectivamente. En esta investigación se logró observar un ligero incremento de SNG y ST conforme aumentó el nivel de suplementación de banano verde; sin embargo, esto no representó diferencia significativa.



De igual manera, Fonseca y Borrás (2014) evaluaron el efecto de la inclusión de papa fresca sobre la producción y calidad de leche en vacas Holstein, obteniendo un valor promedio de ST de 8,10% en las vacas suplementadas con papa. En dicho estudio no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Los datos de SNG y ST obtenidos en esta investigación tienen influencia en la similitud de los contenidos de proteína y grasa, los cuales tampoco presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Además tomando en cuenta los SNG, se pudo demostrar que el contenido mineral en leche no varió su composición al sustituir el alimento balanceado hasta un 30% por residuos orgánicos.

### 6.3 Valoración económica de la suplementación

#### 6.3.1 Costo de elaboración de los RO.

En la tabla 6 se muestra el costo de producción de 50 kg de RO procesados, tomando en cuenta cada uno de los aspectos para llevar a cabo este proceso.

**Tabla 6.** Costo de producción de 50 kg de RO procesados.

<b>Rubro</b>	<b>Costo (₡)</b>	<b>% del costo total</b>
Depreciación de equipo	1.599,64	19,31
Insumos	782,61	9,45
Mano de obra	2.655,00	35,05
Recolección	1.511,06	18,24
servicios	1.599,84	19,31
<b>Costo total</b>	<b>8.282,97</b>	
<b>Costo/kg producido</b>	<b>165,66</b>	

El costo mayor implicado en este proceso fue la mano de obra (35,05% del costo total), seguido de los costos de servicios y la depreciación del equipo con un 19,31% para ambos rubros. El restante 26,33% representa a los insumos y la recolección de la materia prima.

El costo/kg RO producido (¢165,66) es inferior en relación al costo/ kg del alimento balanceado utilizado en la FESL durante el periodo experimental (¢229,02), lo que representa una diferencia de ¢ 63,36/kg. Por lo anterior, esta alternativa presenta una viabilidad económica alta al darle un uso eficiente a los residuos orgánicos produciendo un alimento de calidad e inocuo a un precio menor al de los productos usados en la alimentación convencional.

### 6.3.2 Costo de suplementación/animal/día

En la tabla 7 se observa el costo de suplementación diaria por animal de cada uno de los tratamientos experimentales evaluados en este estudio.

**Tabla 7.** Costo de suplementación por tratamiento experimental.

Insumo	costo/kg (¢)	costo suplementación/día (¢)		
		T0	T15	T30
RO	165,66	-	86,97	173,94
Concentrado	229,02	767,20	650,40	535,90
Urea	355,56	-	4,98	14,22
Melaza	121,00	18,15	24,20	27,83
<b>Costo suplementación/animal/día</b>		<b>1570,70</b>	<b>1533,11</b>	<b>1503,78</b>
<b>Diferencia respecto testigo</b>			<b>-37,60</b>	<b>-66,92</b>

\*Los costos del concentrado, urea y melaza se obtuvieron de la casa comercial durante el periodo experimental.

Como se puede ver en la tabla anterior, existe una disminución del costo de suplementación/animal/día conforme aumenta la sustitución de alimento balanceado por RO. Esta diferencia se debe al costo de los RO, el cual es menor al del concentrado utilizado en la FESL.

A pesar de la adición de melaza y urea en mayor proporción en los tratamientos T15 y T30 para equilibrar isoproteica e isoenergéticamente la dieta, no se percibió un aumento en el costo de las dietas con sustitución de alimento balanceado por RO.

En una finca con un promedio de 30 vacas en producción, como lo es el caso de la FESL, la disminución del costo de suplementación diario por vaca es de ₡1.128 para el caso de T15, mientras que para el T30 el ahorro es de ₡2.007,60; lo que equivale a ₡33.840 por mes en T15 y ₡60.228 por mes en T30.

### 6.3.3 Costo de suplementación por kg de leche

En la tabla 8 se observa el costo de suplementación/kg leche de cada uno de los tratamientos experimentales evaluados en este estudio.

**Tabla 8.** Costo de suplementación por kg de leche producida.

Tratamiento	PL (kg)	CS (₡)	CS/kg leche (₡)
T0	16,26	1.570,70	96,60
T15	16,67	1.533,11	91,97
T30	15,24	1.503,78	98,67

\*PL: producción de leche, CS: Costo de suplementación diario por animal, CS/kg leche: costo de suplementación por kilogramo de leche producido.

En cuanto al costo de suplementación por kg de leche, se observa que conforme aumenta la cantidad de leche producida, disminuye el costo de suplementación. Además, se observó que el tratamiento T30 a pesar de tener el costo suplementación más bajo (tabla 7) obtuvo el costo de suplementación/kg leche más alto (tabla 8).

Por lo tanto, analizando los resultados obtenidos en la tabla 8 se dedujo que el tratamiento T15 fue el que obtuvo mayor retorno económico en relación al costo de la dieta y la cantidad de leche producida por animal, con una diferencia positiva de ₡4,63/kg leche con relación al T0 y ₡6,70/kg leche para T30.

## 7. Conclusiones

Los RO y su posterior procesamiento, presentan valores de composición nutricional en cuanto a PC y ENL, importantes para ser considerados como sustituto parcial de alimento balanceado en la alimentación de vacas lecheras de la raza Jersey.

La inclusión de residuos orgánicos como sustituto parcial de alimentos balanceados en ganado lechero de la raza Jersey no generó una diferencia en cuanto a la producción y composición bromatológica de leche, en comparación con la alimentación sin RO utilizada en la FESL.

La utilización de RO como sustituto parcial de alimentos balanceados en un hato lechero Jersey, es una alternativa viable tomando en cuenta el costo de suplementación por kg de leche producida. Al sustituir el 15 % del alimento balanceado por RO se genera un menor costo de suplementación por litro de leche producida, en comparación de cuando se sustituye en un 30% y en la dieta compuesta 100% a base de alimento balanceado.

La utilización de los RO en la alimentación de vacas lecheras es una forma de revalorizar un producto que es considerado en muchos casos como un desecho, y que aún tienen un gran potencial nutricional, lo que atiende una problemática alimenticia y ambiental a la misma vez.

Para considerar la inclusión de RO, el cual es un material de partícula fina, dentro de la alimentación, se debe valorar aspectos físicos como el tamaño de partícula del resto de los ingredientes para evitar problemas de salud ruminal.

Esta investigación ha desarrollado un gran avance en la generación de información relevante para la utilización de RO en procesos productivos que presentan una gran oportunidad de utilización en otros tipos de animales de granja, como cabras, ovejas, caballos, cerdos entre otros.

La utilización de RO no comestibles producto de preparación de alimentos y de mermas es un proceso modelo e integral que se conoce muy poco y está enmarcado en la economía circular, abarcando una reducción de costos (económico), brindado oportunidad de nuevas fuentes de trabajo (social) y reduciendo residuos que depositados en los rellenos sanitarios (ambiental).

## **8. Recomendaciones**

Probar niveles de inclusión mayores a los evaluados en este estudio, determinando la posibilidad de incluir en la dieta de vacas Jersey niveles de RO por encima del 30% como sustituto parcial del alimento balanceado, en función de búsqueda de un menor costo por kg de leche producido.

Aumentar el número de animales evaluados en futuros estudios similares, y considerar realizar estudios con otras especies animales.

Evaluar la utilización de los RO en animales con requerimientos nutricionales menos exigente, como el caso de las vacas secas, ya que el contenido nutricional de este alimento podría ofrecer un mayor porcentaje de aporte respecto al requerimiento, siendo quizá una estrategia más viable económicamente en la alimentación de este grupo particular.

Valorar la utilización de estos residuos con un menor proceso de tratamiento o bajo otros sistemas de procesamiento, en función de disminuir el costo asociado a la utilización de equipos.

Considerar la generación de una estrategia de cobro por la revalorización de los RO de empresas que los producen en gran cantidad, así se obtendría un beneficio económico mayor, a la vez que estas empresas hacen un manejo eficiente de sus residuos.

Evaluar otro tipo de residuos agroindustriales de origen vegetal que pueden ser incluidos en la dieta de vacas lecheras de alta producción.

Divulgar información referente a la revalorización de los RO como alternativa de manejo de residuos de empresa agroindustriales, para evitar que estos residuos generen un problema ambiental y además obtener un valor agregado.

## 9. Referencias

- Alpízar, A. (2014). Efecto de la suplementación con *Morus alba* Linn en la ceba de ovinos Pelibuey en estabulación. Tesis de Maestría. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba. 78p.
- Álvarez, A. S. 2014. Residuos de alimentos: ¿problema u oportunidad?. Obtenido de [http://municipal.cegesti.org/articulos/articulo\\_02\\_191114.pdf](http://municipal.cegesti.org/articulos/articulo_02_191114.pdf)
- Anrique G., R., & Dossow C., C.. (2003). Efectos de la pulpa de manzana ensilada en la ración de vacas lecheras sobre el consumo, la tasa de sustitución y la producción de leche. *Archivos de medicina veterinaria*, 35(1), 13-22. <https://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2003000100002>
- AOAC. (Official Methods of Analysis). (1980). Official Methods of Analysis. 13th ed. Washington D.C., USA, Association of Official Analytical Chemists. 1040 p.
- AOAC. (Official Methods of Analysis). (2000). Official methods of analysis. 17 ed. Washington, D.C.
- Chandler, J.A. 1980. Predicting methane fermentation biodegradability. M.S. thesis. Cornell Univ., Ithaca, NY.
- Arias, L. M. (Junio de 2018). Evaluación del Uso de Botón de Oro (*Tithonia diversifolia*) como Suplemento de Vacas Jersey en Etapa Productiva. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1aWSVbKYDErI5b-iXiAORY4UUJtzPuP7f/view>
- Benítez, R. (2020). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/239393/>
- Borrero Manrique, A., Cujía Mendinueta, K., & Gutiérrez Castañeda, C. (2017). Ensilado de mango y lactosuero: una alternativa de alimentación en vacas lecheras.
- Campos, C., Rojas, A. (2019). Características fermentativas y nutricionales de mezclas ensiladas de subproductos de cervecería con melaza, melaza deshidratada y pulpa de cítricos peletizada como fuentes de carbohidratos no fibrosos. *Nutrición Animal Tropical* 13(1): 15-37.
- Castro, K. M. (2019). Cámara Nacional de Productores de Leche. Obtenido de Visión práctica hacia el gerenciamiento de unidades productivas lecheras.: [proleche.com/wp-content/uploads/2019/11/5.-Kathia-Castro-Una-visión-práctica-hacia-el-gerenciamiento-de-unidades-productivas-lecheras.pdf](http://proleche.com/wp-content/uploads/2019/11/5.-Kathia-Castro-Una-visión-práctica-hacia-el-gerenciamiento-de-unidades-productivas-lecheras.pdf)

- Cerda, D., Manterola, H., & Sirhan, L. (1995). Estudio del uso de residuos agroindustriales en alimentación animal x Estudio de la disponibilidad y valor nutritivo de cinco cultivos hortícolas en la zona central de Chile. *Avances en Producción Animal*, 20, 191-209.
- Chave, R., Campos, R., Brenes, L., & Jiménez, M. (2019). Compostaje de residuos sólidos biodegradables del restaurante institucional del Tecnológico de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 32(1), Pág 39-53. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i1.4117>
- Corrales, G. (2019). Camara Nacional de Productores de leche. Obtenido de <http://proleche.com/wp-content/uploads/2019/11/2.-Gerardo-Corrales-Globalización-comercial-y-tratados-de-libre-comercio.-Perspectivas-para-el-sector-lácteo.pdf>
- Coto, A. (2019). Camara Nacional de Productores de Leche. Obtenido de Sector Lácteo Costarricense. Desafíos y oportunidades <http://proleche.com/wp-content/uploads/2019/11/1.-Alvaro-Coto-Keith-Sector-L%C3%A1cteo-Costarricense.-Desaf%C3%ADos-y-oportunidades.pdf>
- Coto, O. (2013). Evaluación de la Generación de Residuos Agrícolas Orgánicos (RAO) en Costa Rica e Identificación de Sector Prioritario. San José, Costa Rica.
- Delgado, D. F. F., y Asensio, E. R. (2018). Uso del ensilaje de pulpa de café en alimentación animal. *Mundo FESC*, 8(15), 73-82
- Empresa de Servicios Públicos Heredia. (2021). *Servicio de energía eléctrica*. Obtenido de <https://www.esphsa.com/energia-electrica/tarifas-vigentes>
- FAO. (2015a). La Leche en Cifras. Obtenido de [www.fao.org/assets/FAO-Infographic-milk-facts-es\(1\).pdf](http://www.fao.org/assets/FAO-Infographic-milk-facts-es(1).pdf)
- FAO. (2015b). Tema de debate: el papel de la leche y los productos lácteos en la nutrición humana. Obtenido de <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/288538/>
- FAO. (2017). América Latina y el Caribe impulsa un código internacional de conducta para prevenir y reducir las pérdidas y desperdicios de alimentos. Obtenido de <http://www.fao.org/costarica/noticias/detail-events/es/c/895850/>
- Fonseca, D. A., & Borrás, L. M. (2014). Evaluación del efecto de la papa fresca incluida en un alimento para vacas Holstein sobre la producción y la calidad de la leche. *Ciencia y Agricultura*, 11(1), 55-65.

- Foster, D. L. (2004). *Suplementación de banano verde de rechazo (Musa sp.) su efecto en la producción y calidad de la leche de vacas Jersey, en la Granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia* (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Gallego, G. (2017). Estudio del uso de microorganismos eficientes (EM) para la valorización de residuos orgánicos como suplemento alimenticio animal (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Garcés, A., Berrio, L., Ruiz, S., Serna de León, J. G. & Builes, A. (2004). Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 66–71. Obtenido de [http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista/Vol1n1/066-71 Ensilaje como fuente de alimentaci%C3%B3n para el ganado.pdf](http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista/Vol1n1/066-71%20Ensilaje%20como%20fuente%20de%20alimentaci%C3%B3n%20para%20el%20ganado.pdf)
- García, Y. (2017). Evaluación de la suplementación con papa (*solanum tuberosum*) en la dieta sobre la producción y calidad de leche en vacas de un hato de Chocontá Cundinamarca.
- Gimenez (s.f). Soluciones para el sistema de ordeño. Obtenido de <http://www.indgimenez.com.br/produto/software-gimenez-fazenda>
- Giraldo, A. (2019). Camara Nacional de Productores de Leche. Obtenido de <http://proleche.com/wpcontent/uploads/2019/11/3.Andr%C3%A9sGiraldoProspecci%C3%B3n-de-la-industria-l%C3%A1ctea-hacia-2050.pdf>
- Giraldo, J., Sinisterra, J.A & Murgueitio, E. (2011). Árboles y arbustos forrajeros en policultivos para la producción campesina: Bancos Forrajeros Mixtos. *Leisa, Revista Agroecologica*. Volumen 27, Numero 2. Obtenido de <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-27-numero-2/1590-arboles-y-arbustos-forrajeros-en-policultivos-para-la-produccion-campesina-bancos-forrajeros-mixtos>
- Gómez, A. y Mejía, O. (2005). Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Revista Lasallista de investigación*, 2(1), 38-42.
- Gomez, O. y Montes de Oca, P. (1999). Estudio detallado de suelos de la Finca Santa Lucía en Barva, Heredia. Obtenido de [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_xi/a50-6907-III\\_031.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_031.pdf)
- González, J. (2019). Suplementación nutricional de vacas en producción con mezclas de sub productos agroindustriales de la región San Martín. Obtenido de <http://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/3591>



- Guerra, I. E., Vivas, L. M., Laiño, A. S., Romero, M. R., Villacís, M. M., Martínez, A. G., & Barrera-Alvarez, A. (2017). Composición bromatológica y degradabilidad ruminal in situ de residuos agroindustriales de maracuyá (*Passiflora edulis*) y plátano (*Musa paradisiaca*). *Ciencia y Tecnología*, 10(2), 63-68.
- Gutiérrez, F. J. (2011). Producción, parámetros químicos y microbiológicos de la leche y características sensoriales y recuentos microbianos del queso de vacas alimentadas con manzanarina.
- Hershberger. (2012). Producción y calidad de leche de vacas en pastoreo o estabulación. Universidad autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 86p. Obtenido de [https://chapingo.mx/produccionanimal/administrator/components/com\\_jresearch/files/theses/PPA\\_MC\\_044\\_09\\_12\\_AGR\\_UHDA.pdf](https://chapingo.mx/produccionanimal/administrator/components/com_jresearch/files/theses/PPA_MC_044_09_12_AGR_UHDA.pdf)
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2018). Datos climáticos. Periodo 1991-2018. Heredia: Estación Meteorológica Finca Experimental Santa Lucía, Universidad Nacional de Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadísticas INEC. (2015). VI Censo Nacional Agropecuario. obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00338.pdf>
- Itza, M. (2019). Suplementación de Harina de Residuos Orgánicos alimenticios en un Alimento Balanceado para Cerdos. Instituto de Ciencias Biomédicas.
- Keim, J. P. (2013). Fibra en la dieta de vacas lecheras a pastoreo. *Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile*.
- Lezcano, Y., Soca, M., Ojeda, F., Roque, E., Fontes, D., Montejo, I. & Cubillas, N. (2012). Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia*(Hemsl.) A. Gray en dos etapas de su ciclo fisiológico. *Pastos y Forrajes*, 35(3), 275–282.
- Llacua, H., & Elizabeth, P. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos de cocina para elaborar harina orgánica en alimento de conejos del Comedor Municipal San Martín de Porres, San Juan de Lurigancho, 2016.
- López, D. (2017). Caracterización bromatológica de pellets elaborados a partir de subproductos agropecuarios para la alimentación de bovinos. *Revista Tecnología en Marcha*, 30, 73-81.
- López Herrera, M., WingChing Jones, R., & Rojas Bourrillón, A. (2015). Valoración nutricional de ensilajes de corona de piña con adición de heno y urea. *Nutrición Animal Tropical* 9(2): 65-90.

- López, M. & Briceño, E. (2016). Efecto de la frecuencia de corte y la precipitación en el rendimiento de *Cratylia argentea* orgánica. *Nutrición Animal Tropical* 10(1): 24-44.
- Manterola, H. (2007). Manejo nutricional y composición de la leche. el desafío de incrementar los sólidos totales en la leche. una necesidad de corto plazo. *revistavirtualpro*, 17. Obtenido de [http://www.uchile.cl/documentos/nutricion-del-rebano-lechero-para-la-produccion-de-solidos\\_58311\\_5.pdf](http://www.uchile.cl/documentos/nutricion-del-rebano-lechero-para-la-produccion-de-solidos_58311_5.pdf)
- Marchese, R. A., & Golato, M. A. (2011). El consumo de Combustible y Energía en el transporte. *Revista CET/UNTucuman*, 33, 1-9.
- Mejía, E., Vergara, V., Raun, N. S., & Hernández, G. (2018). El uso de úrea, melaza, torta de algodón, ensilaje de avena, ensilaje de maíz en ceba de novillos Holstein.
- Michilena, A. (2015). Estudio comparativo de tres métodos analíticos para determinación de proteína en leche cruda. Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6415>
- Miller, G. D., Jarvis, J. K. y Bean L. D. (2007). *Handbook of Dairy Foods and Nutrition*. 3ra (ed). CRC Press. USA. 407p.
- Ministerio de Economía Industria y Comercio. (2016). Estudio sobre transmisión de precios de maíz amarillo - frijol de soya en el precio nacional del alimento concentrado. Obtenido de [mag.go.cr/informacion/inf.tecnica%20pro.cerdos/Estudio-Maiz-Amarillo-Frijol-Soja-MEIC.pdf](http://mag.go.cr/informacion/inf.tecnica%20pro.cerdos/Estudio-Maiz-Amarillo-Frijol-Soja-MEIC.pdf)
- Montoya, N. F., Pino, I. D., & Correa, H. J. (2004). Evaluación de la suplementación con papa (*Solanum tuberosum*) durante la lactancia en vacas Holstein. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 17(3), 241-249.
- Morillas, J. M., & Delgado, J. M. (2012). Análisis nutricional de alimentos vegetales con diferentes orígenes: Evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales. *Nutr. clín. diet. hosp*, 32(2), 8-20.
- Mosquera, N., & Rivera, A. (2017). Estado actual de los niveles de desperdicio de las cadenas de abastecimiento de alimentos. *Memorias De Congresos UTP*, 202-209 Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/1494202-209>

- Nacional Research Council (2001). El modelo NRC 2001. Obtenido de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwimvc\\_S4MbrAhUpXVkJKHSMPcNQQFjAAegQIBRAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ucv.ve%2Ffileadmin%2Fuser\\_upload%2Ffacultad\\_agronomia%2FModelo\\_NRC\\_2001.pdf&usg=AOvVaw2DaY7Y6Wz5tj\\_VLAHxmYFd](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwimvc_S4MbrAhUpXVkJKHSMPcNQQFjAAegQIBRAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ucv.ve%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2Ffacultad_agronomia%2FModelo_NRC_2001.pdf&usg=AOvVaw2DaY7Y6Wz5tj_VLAHxmYFd)
- Navarro, S. L. B., Blandón, M., & Torres, K. (2012). Validación de ensilaje elaborado a partir de pulpa de café como una alternativa de alimentación de ganado lechero en dos etapas de experimentación. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 2(1), 14-20.
- OCDE (2019), OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028, OECD Publishing, París/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma. <https://doi.org/10.1787/7b2e8ba3-es>.
- O'neal, K. (2019). El uso eficiente de pastos aumentará la competitividad del sector lechero. Obtenido de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/11/07/el-uso-eficiente-de-pastos-aumentara-la-competitividad-del-sector-lechero.html>
- Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos. (2016). Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2016 – 2021. Obtenido de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el-ministerio/politcas-y-planes-en-salud/planes-en-salud/3025-plan-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2016-2021/file>
- Proleche (2017). Camara Nacional de productores de Leche. Obtenido de <http://proleche.com/consumo-de-productos-lacteos/>
- Ramírez, V. (2018). Evaluación de ensilajes con diferentes niveles de inclusión de residuos de cafetería (restaurante) como alternativa en la alimentación de cerdos.
- Ramírez, V., Peñuela, L. y Pérez, M. (2017). Los residuos orgánicos como alternativa para la alimentación en porcinos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 107-124.
- Rodriguez, C. E., Saavedra, G. F., & Gómez, D. F. (2015). Efecto de la etapa de lactancia sobre la calidad fisicoquímica de leche en vacas de raza Holstein y Normando. *Zootrop*, 33, 23-35.

- Rojas, J., & Bogantes, J. (2018). Cuantificación y caracterización de los residuos sólidos ordinarios de la Universidad Nacional de Costa Rica, dispuestos en rellenos sanitarios. *Uniciencia*, 32(2), 57-69.
- Rojas, J; & Cisneros, J (2021). Evaluación de los residuos orgánicos generados en Servicios de alimentación y supermercados para su uso potencial alimenticio en animales por medio de compostaje automatizado. Libro de Actas del IX Simposio Iberoamericano de Ingeniería en Residuos. Panamá. Obtenido de <https://ridda2.utp.ac.pa/handle/123456789/15246>
- Urrutia, N. & Muñoz, C. (Mar. 2020) Producción de grasa láctea en sistemas lecheros pastoriles [en línea]. Osorno: Informativo INIA Remehue. no. 222. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/5030>
- Van Soest, P.V., Robertson, J.B. y Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. DairySci.* 74(10): 3583 – 3597.
- Verdecia, D., Ramírez, J., Leonard, I., Álvarez, Y., Bazán, Y., Bodas, R., Andrés, S., Álvarez, J., Giráldez, F. & López, S. (2011). Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Cauto. *REDVET* 12(5). Obtenido de <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050511/051113.pdf>
- Vilaboa, J. & Díaz, P. (2011). Industria Lechera en Costa Rica. Obtenido de <http://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/industria-lechera-en-costarica-t28822.htm#>
- Wakida-Kuzunoki, G., Villasis-Keever, M. Á., Calva-Rodríguez, R. G., Choperena-Rodríguez, R., Xóchihua-Díaz, L., Flores-Huerta, S., & Limón-Rojas, A. E. (2019). Consumo de leche de vaca en la edad pediátrica. Revisión de la evidencia científica. Documento de consenso de la Sociedad Mexicana de Pediatría. *Revista Mexicana de Pediatría*, 86(S1), 3-16.
- Wheeler, Beth. (2006) "Recomendaciones para la alimentación de las vacas lecheras." Obtenido de <https://www.engormix.com/ganaderialeche/articulos/recomendaciones-alimentacion-vacas-lecheras-t25877.htm>
- Williams, E.J. (1948). Experimental Designs Balanced for the estimation of residual effects of treatments. *AustralianJournal of ScientificResearch.* 2: 149-168.

## 10. Anexos

**Anexo 1.** Composición bromatológica de melaza, alimento balanceado y pastos King grass y Estrella utilizados en las dietas de la FESL.

<b>Melaza</b>	
<b>Análisis</b>	<b>Resultado</b>
% Materia seca (MS) 60° C	81,2
% Materia seca (MS) 105° C	(81,21 ± 0,04) g/100 g
% Proteína cruda (PC)	(5,31 ± 0,05) g/100 g
% Cenizas	(8,04 ± 0,28) g/100 g
% Calcio	(0,79 ± 0,10) g/100 g
% Fosforo	(0,052 ± 0,004) g/100 g
% Extracto etéreo	(0,61 ± 0,01) g/100 g
% Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)	(100 ± 6,0) g/100 g de MS
% Fibra detergente acida (FDA)	No detectable
% Fibra detergente neutro (FDN)	No detectable
% Lignina detergente acido	No detectable
<b>Energía Neta Lactancia</b>	(1,87 ± 0,01) Mcal/kg de MS
<b>Alimento balanceado para vaca lechera 18% proteína</b>	
% Materia seca (MS) 60° C	87
% Materia seca (MS) 105° C	(86,99 ± 0,04) g/100 g
% Proteína cruda (PC)	(18 ± 0,18) g/100 g
% Cenizas	(5,10 ± 0,18) g/100 g
% Calcio	(0,81 ± 0,10) g/100 g
% Fosforo	(0,57 ± 0,05) g/100 g
% Extracto etéreo	(6,33 ± 0,99) g/100 g
% Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)	(94,6 ± 6,0) g/100 g de MS
% Fibra detergente acida (FDA)	(10,0 ± 0,9) g/100
% Fibra detergente neutro (FDN)	(19,4 ± 0,9) g/100 g
% Lignina detergente acido	(2,2 ± 0,2) g/100 g
<b>Energía Neta Lactancia</b>	(1,86 ± 0,01) Mcal/kg de MS
<b>Pasto de Corte King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>)</b>	
% Materia seca (MS) 60° C	18,5
% Materia seca (MS) 105° C	(80,4 ± 1,0) g/100 g
% Proteína cruda (PC)	(8,64 ± 0,09) g/100 g
% Cenizas	(14,25 ± 0,50) g/100 g
% Calcio	(0,32 ± 0,04) g/100 g
% Fósforo	(0,20 ± 0,02) g/100 g
% Extracto etéreo	(1,67 ± 0,02) g/100 g
% Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)	(76,8 ± 6,0) g/100 g de MS
% Fibra detergente acida (FDA)	(36,5 ± 0,9) g/100
% Fibra detergente neutro (FDN)	(48,7 ± 0,9) g/100 g
% Lignina detergente acido	(2,7 ± 0,2) g/100 g

<b>Energía Neta Lactancia</b>	(1,14 ± 0,01) Mcal/kg de MS
<b>Pasto de piso Estrella (<i>Cynodon nlemfluentis</i>)</b>	
% Materia seca (MS) 60° C	23
% Materia seca (MS) 105° C	(96,4 ± 1,0) g/100 g
% Proteína cruda (PC)	(13,32 ± 0,14) g/100 g
% Cenizas	(9,60 ± 0,34) g/100 g
% Calcio	(0,26 ± 0,03) g/100 g
% Fosforo	(0,25 ± 0,02) g/100 g
% Extracto etéreo	(2,50 ± 0,04) g/100 g
% Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)	(67,1 ± 6,0) g/100 g de MS
% Fibra detergente acida (FDA)	(36,6 ± 0,9) g/100
% Fibra detergente neutro (FDN)	(62,5 ± 0,9) g/100 g
% Lignina detergente acido	(3,9 ± 0,2) g/100 g
<b>Energía Neta Lactancia</b>	(1,31 ± 0,01) Mcal/kg de MS

Fuente: Arias, 2018.

## Anexo 2. Análisis de mico toxinas de los RO

# IDENTIFICACION LPAB	VS-64	Método de análisis
ID	Residuos orgánicos vegetales	AOAC
Lote	NI	
Fumonisina B1/B2 (ug/kg)	730,9	UPLC-MS/MS
DON (ug/kg)	404,8	UPLC-MS/MS
Aflatoxina G1/G2/B1/B2 (ug/kg)	ND	UPLC-MS/MS
Zearalenona (ug/kg)	51,7	UPLC-MS/MS
T-2 (ug/kg)	ND	UPLC-MS/MS
Ocratoxina A (ug/kg)	ND	UPLC-MS/MS

Fuente: Dos pinos, 2021.

**Anexo 3.** Composición bromatológica de la fibra de coco adicionada a los RO

<b>Muestra</b>	<b>Fibra de coco</b>
<b>MS</b>	73.53
<b>% FND</b>	84.01 ± 0.08
<b>% FAD</b>	66,22 ± 0,54
<b>% EE</b>	24.03 ± 0.67
<b>% CE</b>	0.99 ± 0.10
<b>% PC</b>	6.41 ± 0.11
<b>% LIG</b>	1.90 ± 0.66
<b>EM Mcal/kg</b>	3.06
<b>ENL Mcal/kg</b>	1.96

\*MS: materia seca, FND: fibra neutro detergente, FAD: fibra ácido detergente, EE: extracto etéreo, PC: proteína cruda, LIG: lignina, CE: cenizas, EM: energía metabolizable, ENL: energía neta de lactancia

**Fuente:** LAPAV, 2021

Anexo 4. Balances nutricionales de los tratamientos

<b>T0</b>					
<b>Alimentos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>MS (kg)</b>	<b>PC (g)</b>	<b>ENL (Mcal)</b>	<b>% inclusión</b>
Estrella	24,200	5,566	779	6,68	41,9
King Gras	10,000	1,700	153	1,87	12,8
Concentrado	6,700	5,829	1049	10,84	43,9
Minerales	0,060	0,057	0	0,00	0,4
Melaza	0,150	0,122	5	0,20	0,9
Urea	0,000	0,000	0	0,00	0,0
RO	0,000	0,000	0	0,00	0,0
<b>Total</b>	<b>41,110</b>	<b>13,274</b>	<b>1985,967</b>	<b>19,591</b>	<b>100,000</b>
<b>Requerimiento</b>		13,750	1950	19,60	
<b>Diferencia</b>		<b>-0,476</b>	<b>36,0</b>	<b>0,0</b>	
<b>T15</b>					
<b>Alimentos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>MS (kg)</b>	<b>PC (g)</b>	<b>ENL (Mcal)</b>	<b>% inclusión</b>
Estrella	24,200	5,566	779	6,68	40,6
King Gras	10,000	1,700	153	1,87	12,4
Concentrado	5,700	4,959	893	9,22	36,2
Minerales	0,060	0,057	0	0,00	0,4
Melaza	0,200	0,162	6	0,27	1,2
Urea	0,014	0,014	40	0,00	0,1
RO	1,500	1,252	117	2,27	9,1
<b>Total</b>	<b>41,674</b>	<b>13,710</b>	<b>1987,601</b>	<b>20,305</b>	<b>100,000</b>
<b>Requerimiento</b>		13,750	1950	19,60	
<b>Diferencia</b>		<b>-0,040</b>	<b>37,6</b>	<b>0,7</b>	
<b>T30</b>					
<b>Alimentos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>MS (kg)</b>	<b>PC (g)</b>	<b>ENL (Mcal)</b>	<b>% inclusión</b>
Estrella	24,200	5,566	779	6,68	41,6
King Gras	10,000	1,700	153	1,87	12,7
Concentrado	4,700	4,089	736	7,61	30,5
Minerales	0,060	0,057	0	0,00	0,4
Melaza	0,230	0,187	7	0,31	1,4
Urea	0,040	0,040	115	0,00	0,3
RO	2,100	1,753	163	3,17	13,1
<b>Total</b>	<b>41,330</b>	<b>13,391</b>	<b>1953,143</b>	<b>19,633</b>	<b>100,000</b>
<b>Requerimiento</b>		13,750	1950	19,60	
<b>Diferencia</b>		<b>-0,359</b>	<b>3,1</b>	<b>0,0</b>	