

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y MAR
ESCUELA CIENCIAS AGRARIAS

Evaluación de un fertilizante compuesto por una mezcla de efluente de biodigestor más urea versus urea, sobre variables tanto del suelo como de la producción del pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) en fincas lecheras de Santa Cruz de Turrialba y Pacayas de la provincia de Cartago

Trabajo final de graduación de tesis de grado sometida a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica

Estudiante

Michelle Vargas Coto

Tutor

MGA. Diego Aguirre Rosales

Asesores

Lic. José Pablo Jiménez Castro

Ing. Héctor Fuentes Martínez

Heredia, Costa Rica, 2017

Campus Omar Dengo

**Trabajo de graduación presentado para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería
Agronómica y al título de Ingeniero Agrónomo**

Evaluación de un fertilizante compuesto por una mezcla de efluente de biodigestores más urea versus urea, sobre variables tanto del suelo como de la producción del pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) en fincas lecheras de Santa Cruz de Turrialba y Pacayas de la provincia de Cartago

Trabajo final de graduación presentado como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en

Ingeniería Agronómica

Tribunal Examinador

MSc. Tomas Marino Herrera
Decano FCTM

Lic. Alejandro Vargas Martínez
Representante Dirección de Escuela

MGA. Diego Aguirre Rosales
Director de Tesis

Lic. José Pablo Jiménez Castro
Asesor

Ing. Héctor Fuentes Martínez
Asesor

Michelle Vargas Coto

RESUMEN

Se realizó una evaluación del efecto de tres tratamientos (T) de fertilización, los cuales fueron T1: aplicación del efluente de biodigestor más un fertilizante químico (urea); T2: aplicación del fertilizante químico (urea) y T3: testigo, cumpliéndose cada una de ellas a los 90 días. Las variables analizadas del suelo fueron físicas y químicas, del pasto Kikuyo (*K. clandestina*) químicas y económicas (costos marginales), en tres fincas lecheras de Santa Cruz de Turrialba y una de Pacayas de la provincia de Cartago. Estas fincas utilizan un biodigestor proporcionado por el ICE, del cual extraen el efluente, y que cuentan a su vez con un sistema de fertirriego.

Las variables fueron medidas en tres etapas, la primera fue antes de aplicar los tratamientos, la segunda etapa fue después de aplicar los tratamientos y la tercera etapa al finalizar el experimento. Para las variables edáficas en la segunda etapa no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos.

Para las variables de producción del pasto, no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) en ninguna de las tres etapas. Lo que arrojó datos importantes en la producción de biomasa forrajera disponible para la buena nutrición del ganado.

Los rubros que se tomaron en cuenta para el cálculo de los costos marginales fueron la cantidad total de fertilizante por kg/ha/mes, cantidad total de jornales/ha/mes y la cantidad de transporte para el acarreo del fertilizante por mes, lo que resultó un gasto total de 164 600 colones para el T1, para el T2 un total de 149 600 colones y, para el T3, un total de 30 000 colones.

Lo anterior indicó que agrónomicamente la fertilización orgánica mediante el uso del efluente puede mejorar las características nutricionales del suelo y, por ende, los requerimientos nutricionales del pasto debido a que las variables tanto de suelo como de pasto mejoran en el T1 en la tercera etapa de la investigación. En general, se pudo indicar que el efluente se proyectó como un posible coadyuvante en el tiempo para mejorar la fertilización del pasto. La reutilización del efluente en actividades productivas tiene un impacto ambiental positivo, porque evita el daño de la contaminación a los ecosistemas de las cuencas hidrográficas de la zona, también se reducen los costos de mantenimiento de las represas por efecto de sedimentación, que es la principal problemática expuesta en la presente investigación.

ABSTRACT

An evaluation was made of the effect of three fertilization treatments (T), which were T1: application of the biodigester effluent plus a chemical fertilizer (urea); T2: application of chemical fertilizer (urea) and T3: control, each of them being carried out after 90 days. The analyzed variables of the soil were physical and chemical, from the Kikuyo grass (*K. clandestina*) chemical and economic (marginal costs), in three dairy farms of Santa Cruz de Turrialba and one of Pacayas of the province of Cartago. These farms use a biodigester provided by the ICE, from which they extract the effluent, and which in turn have a fertigation system.

The variables were measured in three stages, the first stage was before applying the treatments, the second stage was after applying the treatments and the third stage at the end of the experiment. For the edaphic variables in the first stage, no significant differences were found ($P>0.05$) between treatments.

For the variables of pasture production, the analysis of the first stage did not show significant differences ($P>0.05$). This yielded important data on the production of forage biomass available for good livestock nutrition.

The items that were taken into account for the calculation of marginal costs were the total amount of fertilizer per kg/ha/month, total amount of wages/ha/month and the amount of transport for the transport of fertilizer per month, which it resulted in a total expenditure of 164 600 colones for T1, for T2 a total of 149 600 colones and, for T3, a total of 30 000 colones.

The above indicated that agronomically the organic fertilization through the use of the effluent can improve the nutritional characteristics of the soil and, therefore, the nutritional requirements of the pasture because the variables of both soil and pasture improve in the T1 in the third stage of the investigation. In general, it could be indicated that the effluent was projected as a possible coadjuvant in time to improve the fertilization of the grass. The reuse of the effluent in productive activities has a positive environmental impact, because it avoids the damage of pollution to the ecosystems of the hydrographic basins of the area and, therefore, also reduces the maintenance costs of the dams due to the effect of sedimentation, which is the main problem exposed in the present investigation.

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de investigación a mis padres, Carmen Coto Marín y Miguel Vargas Solano, que han sido mi motor para salir adelante, los dos son un ejemplo a seguir, siempre han luchado por salir adelante con sus estudios y además para sacarnos adelante a mis hermanas y a mí, para ellos esto y mucho más.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mis padres, Carmen Coto Marín y Miguel Vargas Solano por el apoyo, comprensión y fuerzas que me dieran día con día durante toda la realización de mi trabajo de graduación.

A mis hermanas, Angie Vargas Coto y Mariana Vargas Coto, de ellas tengo el ejemplo de superación que requiere cualquier persona para seguir adelante, gracias por todo.

A mi profesor y tutor MGA Diego Aguirre Rosales, por su dedicación, consejos, ayuda, por darme ánimos cada que sentía que me desvanecía, gracias infinitas por ayudarme a seguir adelante y a que este sueño se hiciera realidad.

Gracias a mi profesor y lector de tesis Lic. José Pablo Jiménez Castro, por su profesionalismo, dedicación y tiempo brindado.

Al Ing. Agr. Héctor Fuentes Martínez, mi guía y soporte durante el trabajo de campo, gracias por brindarme su apoyo y paciencia.

Gracias al Ing. Gustavo Calvo Domingo por su ayuda y apoyo durante mi proceso de campo de mi proyecto de graduación.

Le agradezco, por supuesto, a Maikel Contreras por su ayuda, por sus consejos durante el trabajo de campo.

A Carlos Zelada Fonseca por la ayuda incondicional, sus consejos desde el inicio hasta el final de mi trabajo de graduación.

Y a los que de una u otra forma también formaron parte de mi proyecto, a mis amigos y amigas y demás familia, que estuvieron ahí aguantándome, dándome fuerzas y que nunca me dejaron sola, de corazón, gracias infinitas.

Índice

RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
CAPÍTULO I.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
CAPÍTULO II.....	18
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Problemática de la sedimentación de las cuencas hidrográficas.....	18
2.2. El efluente como subproducto del biodigestor.....	19
2.3. El uso del efluente como alternativa sostenible a la erosión.....	20
2.4. Elaboración del biofertilizante.....	21
2.5. Pasto kikuyo (<i>K. clandestina</i>).....	22
2.6. Importancia del análisis químico de suelo y pastos.....	23
2.7. Importancia de la implementación de fertirriego con el efluente de los biodigestores.....	24
2.8. Impacto ambiental de la utilización del biofertilizante.....	25
CAPÍTULO III.....	26
3. METODOLOGÍA.....	26
3.1. Localización y datos climáticos.....	26
3.2. Fases metodológicas del proceso de investigación.....	26
3.2.1. Contextualización del estudio.....	26
3.2.2. Promoción del estudio en la zona.....	27
3.2.3. Selección de fincas.....	27
3.3. Tratamientos.....	28
3.4. Evaluación en tiempo y cantidades de los fertilizantes.....	28
3.5. Variables dependientes.....	30
3.5.1. Variables edáficas.....	30
3.5.1.1 Toma de muestras de suelo antes y posterior a la aplicación de los tratamientos.....	30

3.5.1.2 Número de muestras por tratamiento por finca y total del suelo.....	31
3.5.2. Variables químicas del pasto kikuyo.....	32
3.5.2.1 Toma de muestras del pasto kikuyo.....	32
3.5.2.2 Número de muestras por tratamiento por finca y total de pasto.....	33
3.5.3. Variable costos económicos.....	34
3.5.3.1 Cálculo de los costos de operación que se contemplaron en el estudio.....	35
3.5.3.1.1 Costos de fertilización con urea por tratamiento.....	35
3.5.3.1.2 Costo del jornal por tratamiento.....	35
3.5.3.1.3 Costo de transporte por tratamiento.....	36
3.6. Diseño experimental.....	36
3.7. Análisis estadístico.....	37
CAPÍTULO IV.....	38
4. RESULTADOS.....	38
4.1. Descripción de los resultados de las variables edáficas.....	38
4.1.1. Análisis de las características de suelo antes de la aplicación de tratamientos.....	38
4.1.2. Análisis de las características de suelo después de la aplicación de tratamientos.....	39
4.1.3. Análisis de las características de suelo al finalizar el experimento.....	39
4.2. Análisis de la variable física densidad aparente del suelo.....	40
4.3. Descripción de las variables químicas del pasto kikuyo (<i>K. clandestina</i>).....	42
4.3.1. Análisis del pasto kikuyo antes de la aplicación de tratamientos.....	42
4.3.2. Análisis del pasto kikuyo después de la aplicación de los tratamientos.....	42
4.3.3. Análisis del pasto kikuyo al finalizar el experimento.....	43
4.4. Análisis de los costos marginales según tratamientos utilizados en la investigación.....	44
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	46
5.1. Discusión de los resultados de las variables edáficas.....	46
5.1.1. Análisis de las variables edáficas en la etapa antes de la aplicación de los tratamientos.....	46
5.1.2. Análisis de las variables edáficas después de la aplicación de los tratamientos.....	47
5.1.3. Análisis de las variables edáficas a finalizar el experimento.....	48
5.1.4. Evaluación de la interacción de cada tratamiento en el suelo con la variable densidad aparente.....	50
5.2. Discusión de los resultados de las variables químicas del pasto kikuyo (<i>K. clandestina</i>).....	53

5.2.1. Evaluación de los hallazgos de la interacción de los tratamientos del pasto Kikuyo antes de la aplicación de los tratamientos	53
5.2.2. Evaluación de los hallazgos de la interacción de los tratamientos del pasto Kikuyo después de la aplicación de los tratamientos	54
5.2.3. Evaluación de los hallazgos de la interacción de los tratamientos del pasto Kikuyo al finalizar la investigación.....	55
5.3. Evaluación de costos marginales de producción según los tratamientos utilizados en la investigación.....	56
5.3.1. Análisis interrelacionado de los resultados agronómicos y de costos marginales.....	58
CAPÍTULO V	60
6. CONCLUSIONES	60
7. RECOMENDACIONES	62
8. LITERATURA CITADA.....	63
9. ANEXOS.....	72

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Evolución de la composición química de un biofertilizante en ppm a través del tiempo.....	22
Cuadro 2. Resumen de las medias de tratamiento para cada variable que se analizó en la etapa 1 de evaluación de suelo.....	38
Cuadro 3. Resultados de ANDEVA de la etapa 2 de las variables edáficas.....	39
Cuadro 4. Resumen de las medias de tratamiento para cada variable que se analizó en la etapa 3 de la evaluación de suelo.....	40
Cuadro 5. Análisis de la variable densidad aparente entre tratamientos.....	41
Cuadro 6. Resultados del ANDEVA de la etapa 1 de las variables del pasto kikuyo.....	42
Cuadro 7. Resultados del ANDEVA de la etapa 2 de las variables del pasto kikuyo.....	43
Cuadro 8. Resultados del ANDEVA de la etapa 3 de las variables del pasto kikuyo.....	43
Cuadro 9. Cálculo de cantidades totales de insumos utilizados por cada tratamiento por mes.....	44
Cuadro 10. Cálculo de costos totales de insumos utilizados por cada tratamiento por mes.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Selección de apartos y demarcación con cada uno de los tratamientos.....	28
Figura 2. Expulsión del efluente del biodigestor.....	29
Figura 3. Extracción de la muestra de suelo.....	32
Figura 4. Fraccionamiento en cuartos.....	32
Figura 5. Demarcación de muestras para envío al laboratorio.....	32
Figura 6. Toma de muestra del pasto kikuyo con el uso del cuadrante.....	33
Figura 7. Demarcación de muestras para envío al laboratorio.....	33
Figura 8. Esquema de la aleatorización de los tratamientos en las cuatro fincas.....	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados ANDEVA de la etapa 1 para las variables edáficas	72
Anexo 2. Resumen de las medias de tratamiento para cada variable que se analizó en la etapa 2 de la evaluación de suelo.....	72
Anexo 3. Resultados ANDEVA de la etapa 3 para las variables edáficas.....	73
Anexo 4. Resumen de las medias de tratamiento para cada una de las variables que se analizaron en la etapa 1 de la evaluación del pasto.....	73
Anexo 5. Resumen de las medias de tratamiento para las variables que se analizaron en la etapa 2 de la evaluación de pasto.....	74
Anexo 6. Resumen de las medias de tratamiento para cada una de las variables que se analizó en la etapa 3 de la evaluación de pasto.....	74
Anexo 7. Ilustración del formato del análisis de suelo de los laboratorios del INTA.....	75
Anexo 8. Ilustración del formato del análisis foliar de los laboratorios del INTA.....	76
Anexo 9. Diagnóstico para análisis de suelos (MAG-CATIE) para todos los suelos, cultivos y soluciones extractoras.....	77

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCIÓN

El creciente aumento de la producción de leche por medio del uso intensivo de insumos externos (Rodríguez 2002) produce un deterioro progresivo de los recursos naturales, unido al incremento de la población que demanda mayores cantidades de alimentos agropecuarios, por lo que se determina que se deben realizar muchas más investigaciones, para generar nuevas y diversas tecnologías y así promover una producción sostenible.

Estas nuevas tecnologías deben ir orientadas a hacer un uso eficiente de los recursos en el sistema de producción lechera para que sea más rentable y también deben ir orientadas a mitigar los problemas de degradación ambiental que provoca el uso intensivo de agroquímicos e insumos contaminantes en el sistema de producción. La interrelación entre la necesidad de producir mayores cantidades de alimentos y la responsabilidad de no degradar el ambiente, es lo que determina que el reto moderno de la investigación agropecuaria se realice, la cual debe obligatoriamente innovar para que en los sistemas de producción integren los recursos propios que se generan en el sistema de producción, como lo son los residuos orgánicos, efluentes, ensilajes, entre otros, lo anterior mencionado por Apraez *et al.* (2007).

Se afirma hoy en día que un elemento clave es la correcta disposición de excretas bovinas, ya que se ha convertido en uno de los factores más limitantes en los procesos de producción en ganaderías de leche y doble propósito, esto se explica por la generación de altos volúmenes de producción de materia fecal (Estrada-Álvarez *et al.* 2008). En general, se tiene que en promedio un bovino adulto defeca de 10 a 15 veces por día y la cantidad total de heces eliminada es de unos 20 a 30 kg por día, pudiendo elevarse hasta 45 kilogramos en la época lluviosa, cuando la pastura es muy tierna, esto es lo que ocasiona los grandes problemas de contaminación ambiental (Bavera y Peñafort 2006).

La generación de tecnología agropecuaria debe incorporar en los sistemas de producción el tratamiento de los residuos que se generan, ya que esto representa una problemática que se acrecienta con el aumento de los volúmenes producidos de materia fecal, debido a una mayor intensificación de la producción lechera (Rodríguez 2002).

Es conocido que un sistema de producción animal y la calidad de la leche están influenciadas directamente por el consumo de nutrientes presentes en el pasto, dependiendo a su vez del valor

nutritivo y de la ingestión de materia seca, lo cual determina que la rentabilidad de la producción de leche en las zonas tropicales se sustenta en las prácticas de manejo de los pastos, los cuales constituyen la fuente de nutrimentos más económica que puede consumir un rumiante (Villalobos y Sánchez 2010, Salcedo 2004).

Con las nuevas necesidades de la sociedad, surge el concepto de desarrollo sostenible que además, se ha fortalecido mediante esfuerzos dirigidos al diseño de alternativas que tomen en cuenta la capacidad de los ecosistemas para soportar las actividades humanas, que implementen el enfoque de conservación de suelos (Pinto 2012).

Con un sólo biodigestor se aprovecha la totalidad de los desechos pecuarios, así los agricultores dependen en menor escala de los fertilizantes químicos. Esto representa una forma de contribuir a bajar los costos de producción y permite a la vez, una reutilización de los residuos y mitigar su efecto contaminante, sirviendo además a reducir cualquier impacto negativo (López y Solá 2008, Santamaría 2009, Orrego 2011).

Es importante recalcar que este tipo de tecnología de producción agropecuaria puede contribuir a reducir los efectos del cambio climático, a su vez, permite proyectar la protección de las cuencas hidrográficas y el uso eficiente del agua (Pinto 2012).

La sedimentación en los embalses, es un tema que el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) ha llegado a tomar como una problemática importante, y que esto lo pueden llegar a producir las fincas ganaderas en los alrededores de las cuencas donde se tiene los proyectos hidroeléctricos. Estudios realizados por Jiménez *et al.* (2005) mencionan que un porcentaje importante de las cuencas (casi un 50%) está cubierto de bosques, sin embargo, los ríos arrastran una carga de sedimentos en suspensión en su paso por los proyectos hidroeléctricos, estimada en unos 3.0 millones de toneladas anuales.

Este proyecto se desarrolló, como una investigación que permitirá generar conocimientos y validar el uso de la tecnología de nutrición alternativa de las fincas lecheras. Permitirá además, analizar los tipos de fertilización utilizados en el sistema productivo, sobre las características tanto químicas como físicas del suelo, así como evaluar si el uso de estos efluentes de biodigestores en conjunto con un fertilizante químico tradicional, como la urea, presenta algún efecto favorable en las características nutritivas de los pastos. Se evaluará además los costos marginales de cada una de los sistemas productivos.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de tres tratamientos, el efluente de biodigestores más urea granulado, la urea sola y un testigo, sobre variables físico-químicas del suelo y bioeconómicas de la producción del pasto kikuyo (*K. clandestina*) en fincas lecheras de Santa Cruz de Turrialba y Pacayas de la provincia de Cartago.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el efecto del efluente de biodigestores más urea granulada, urea granulada sola y un testigo, sobre las variables químicas y físicas del suelo y sobre las variables biológicas de la producción del pasto kikuyo (*K. clandestina*) en fincas lecheras de la provincia de Cartago.

Evaluar el costo económico que representa la utilización de tres tratamientos de fertilización, sobre las variables biológicas de la producción del pasto kikuyo (*K. clandestina*) para fincas lecheras de la provincia de Cartago.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Problemática de la sedimentación de las cuencas hidrográficas

Umaña (2002) menciona que la sedimentación, son los movimientos de partículas de las partes altas, hacia las partes bajas, además, son un efecto o consecuencia del manejo inadecuado de los recursos naturales, que a veces no se ve en el corto plazo, la mayoría de evidencias ocurren a un mediano o largo plazo, cuando las condiciones son extremas o cuando el problema es casi irreversible o demandaría demasiados esfuerzos.

A nivel de cuenca hidrográfica, los procesos de erosión y de sedimentación se interrelacionan, dependiendo del material de arrastre, de tal forma que el aumento o disminución de la escorrentía superficial en las zonas altas, aumentará o disminuirá en correspondencia con la capacidad de desprendimiento del suelo y el transporte de sedimentos en canales (Lianes 2008). Actualmente, las cuencas hidrográficas han sido deforestadas y el cambio de uso de la tierra ha generado un impacto en la calidad de la escorrentía, elevando las cantidades de sedimentos en suspensión (Brenes 2015).

La producción anual de sedimentos en una cuenca depende de muchos factores tales como el clima, el tipo de suelo, el estado de la cobertura vegetal, la topografía y la existencia de embalses. La lluvia como uno de los elementos que integran el clima, representa mucha energía, a mayor intensidad de lluvia, mayor es la energía que será transmitida al terreno, por lo que es un factor fundamental a la hora de la sedimentación (Cuello 2003).

Uno de los principales objetivos que persigue el ICE, es reducir los sedimentos que llegan a los embalses, por cuanto esto implica tener que hacer desembalses anualmente, que provocan pérdidas millonarias para la institución. Conscientes de este problema, en la parte agropecuaria las unidades de manejo de cuencas buscan un uso adecuado de la tierra, dando capacitación y asesoría, para que de manera sostenible, los finqueros hagan un cambio en la forma en que explotan sus fincas (Jaubert y Fallas 2004).

De igual manera, los autores Jaubert y Fallas (2004) mencionan algunas alternativas sostenibles para la problemática alrededor de la sedimentación, las cuales son, producción de fertilizante orgánico mediante la utilización de lombrices californianas, siembra de barreras vivas o

vegetales, ganadería semi-estabulada en fincas lecheras y producción de gas por medio de la instalación de biodigestores.

2.2. El efluente como subproducto del biodigestor

Uno de los subproductos de la producción del biogás en el biodigestor es el efluente. El efluente es el material resultante del proceso de descomposición de la materia orgánica introducida en el biodigestor. En muchos países este material es usado como fertilizante orgánico (Días *et al.* 2007).

Las aguas que salen del biodigestor, después de ser convertidas, pueden ser utilizadas como biofertilizante, o bien continuar tratamiento. En caso de ser utilizadas como biofertilizante, estas pueden ser conducidas por gravedad a los cultivos. También se puede instalar un tanque para capturar estas aguas, y luego bombearlas a los diferentes cultivos. Otra opción que tienen los agricultores es su almacenamiento y comercialización (Samayoa *et al.* 2012).

El uso del efluente como fertilizante orgánico es recomendado, debido a que la digestión anaeróbica, comparada con la descomposición del estiércol al aire libre, reduce las pérdidas en el efluente del nitrógeno de 18% a 1% y de 33% a 7% para el carbono. Además, dentro del biodigestor no hay pérdidas apreciables del fósforo, potasio y calcio contenidos en las excretas frescas (Días *et al.* 2007).

El biofertilizante sólido o líquido no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas o bien, el biofertilizante sólido puede deshidratarse y almacenarse para usarlo posteriormente (Bautista 2010). Una vez culminado el proceso de los sólidos en el biodigestor el efluente resultante está libre de agentes patógenos y es más eficiente que el estiércol fresco, por esto es utilizado para fertilizar el pasto y el banco forrajero (López y Solá 2008).

En general, según Tarigo *et al.* (2004), el término biofertilizante se refiere a un efluente pastoso resultante de la fermentación de la materia orgánica de origen animal y vegetal, en un medio líquido, en presencia o ausencia de oxígeno, por un determinado tiempo, en una cámara llamada biodigestor. Así mismo continúa Tarigo *et al.* (2004), el resultado de este proceso es un sistema de dos fases: una sólida usada como fertilizante orgánico y otra líquida utilizada como fertilizante foliar y para el control de enfermedades y plagas.

Se define como los Fertilizantes Líquidos Fermentados (ALF) al producto que se origina a partir de la fermentación de materiales orgánicos como estiércol, plantas verdes y frutos. Comúnmente se llaman biofermentos y en algunos lugares se les conoce con el nombre de bioles o biofertilizantes. Popularmente se cree que los mismos contienen sustancias que favorecen el crecimiento vegetal a la vez que contribuyen a mejorar la vida microbiana del suelo (Restrepo 2001 citado por Bontempo, 2011).

2.3. El uso del efluente como alternativa sostenible a la erosión

La aplicación de la biodigestión se inició antes del siglo XX cuando el biogás era quemado para dar iluminación en Inglaterra. En los años 1930 se mantuvo un interés creciente en la aplicación de digestión anaeróbica, especialmente en zonas rurales donde los productos de la digestión (biogás y efluente) pueden convertirse en productos aprovechables por los agricultores. El biogás es una fuente renovable de energía y el efluente (material digerido) tiene una alta concentración de nutrimentos, bajo contenido de patógenos y prácticamente libre de semillas viables de malezas (Aguilar y Botero 2006).

Un biodigestor es un sistema en el cual se genera un ambiente adecuado para que la materia orgánica se descomponga en ausencia de oxígeno, a este fenómeno se le llama digestión anaeróbica. Esta descomposición se produce por bacterias que habitan en el interior del biodigestor y proceden principalmente del estiércol fresco, las cuales se alimentan de la materia orgánica produciendo como sub productos biogás y fertilizantes llamados biol y biosol (Orrego 2011).

Los biodigestores, por su parte, son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales, entre otros, los cuales permiten así la obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable (Rivas *et al.* 2010).

Luego de un proceso dentro del biodigestor se produce fertilizante orgánico (biofertilizante) con un contenido de mejor calidad nutricional para las plantas. Además, mejora la capacidad fertilizante del material a fermentar ya que todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, así como los elementos menores son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, es convertido a formas más simples, las cuales pueden ser aprovechadas directamente por los vegetales (Rivera 2010).

El biol proveniente del biodigestor, puede utilizarse para desarrollar suelos fértiles para cultivos. De hecho, la forma y el contenido del biol se estabilizan con el doble contenido de nitrógeno. Durante la digestión, los nutrientes se transforman de estados orgánicos a estados disueltos, haciendo que sean más útiles para el consumo por las plantas. Y como tal, se puede afirmar que el biol no es solamente rico en materia mineral y orgánica, sino que también en nutrientes como son el N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, materia orgánica, diferentes tipos de aminoácidos y metales tales como el cobre y el zinc (Warnars y Oppenoorth 2014).

La aplicación del efluente al suelo le trae beneficios similares a los que se alcanzan con cualquier materia orgánica. Es decir, que actúa como mejorador de las características físicas, facilitando la aireación, aumentando la capacidad de retención de humedad, la infiltración de agua y la capacidad de intercambio catiónico (Corona 2007).

La materia húmica y los ácidos húmicos presentes en el efluente, contribuyen a una humificación más rápida que a su vez ayuda a reducir la velocidad de erosión (debido a lluvia o dispersión en seco), incrementando el suministro de nutrientes, la higroscopia, etc. El contenido de humus es especialmente importante en los suelos tropicales con bajos niveles del mismo. La cantidad de humus estable formada con fluidos digeridos es el doble de la que se puede lograr con estiércol. Además, se ha demostrado, que la actividad de los gusanos de tierra se estimula más al fertilizar con efluente que fertilizando con estiércol de establo (Corona 2007).

2.4. Elaboración del biofertilizante

El procedimiento utilizado para la obtención del biofertilizante consiste en fermentar por treinta días, en sistema cerrado, en ausencia de aire, una mezcla de estiércol fresco de bovino, preferentemente lechero a causa de poseer una alimentación más variada y agua en una proporción del 50% en volumen (Tarigo *et al.* 2004).

El cuadro 1 presenta la evolución de la composición química de un biofertilizante según adaptación de Tarigo *et al.* 2004.

Cuadro 1. Evolución de la composición química de un biofertilizante en ppm a través del tiempo.

Elementos (ppm)	Días de Fermentación			
	30	60	90	120
CaCO₃	3260	2600	2460	2372
SO₃ (Sulfito)	447	170	97.2	112
PO₄	1668	569	410	320
SiO₂	83.1	168	143	177
Fe (total)	44.7	11.3	9.7	11
Cl	1160	810	1090	840
Na	166	250	276	257
K	970	487	532	500
Mo/Litro	1	1	1	1
B/Litro	1.1	1	1	1
Zn	6.7	3.7	1.3	1.7
Cu	1.1	0.7	1	0.2
Mn	16.6	4.7	3.8	4.6
Mg	312	305	281	312
PH	7.8	7.4	7.6	7.7

La información presente en el cuadro anterior muestra que la efectividad del biofertilizante comprende a partir de los 30 días, por lo que se sugiere utilizarlo en la mayor brevedad posible. Conforme pasa el tiempo después de los 30 días el biofertilizante adquiere una población microbiana reducida del tipo putrefacta (reducción de la materia orgánica).

2.5. Pasto kikuyo (*K. clandestina*)

El kikuyo (*K. clandestina*) es una gramínea de origen africano, es la gramínea más común y mejor adaptada de clima frío. No prospera bien en suelos pobres, pero si en suelos fértiles. Es de duración perenne (Carrera 2011, Avendaño 2012).

Este es un pasto que forma estolones sobre la superficie del suelo con entrenudos cortos a partir de los cuales surgen raíces que fijan los estolones al suelo, de tal manera que lo que queda al acceso de los animales son principalmente hojas. Por tal razón, este pasto se caracteriza por tener una alta relación hoja:tallo que impide que la composición química del pasto se modifique tan marcadamente como sucede en otros (Soto *et al.* 2005).

Entre otras características del pasto kikuyo es que su hábito de crecimiento lo hace sumamente agresivo ante la invasión de otras forrajeras, a que es resistente al pisoteo y responde positivamente a la fertilización orgánica y química (Correa *et al.* 2008).

Establecimiento de ensilajes, manejo de praderas y se muestra además, como suplemento alimenticio, al presentar los animales una buena nutrición, son algunos de los usos del kikuyo. Cuenta con una composición química promedio de proteína cruda de 20.5%, máximo un 27.1% y mínimo un 15.4%. Además, una producción de materia seca (t/ha/año) en su nivel bajo de 4.5, medio de 7.5 y alta de 14.0 (Valderrama 2014).

En lo que respecta a la nutrición se determinó que al fertilizar el suelo con nitrógeno y fósforo, se incrementa la producción, tanto de materia verde como de materia seca por hectárea. La fertilización nitrogenada favorece el incremento en el contenido proteico (% PC). La respuesta del pasto kikuyo al aprovechamiento de los nutrimentos depende en gran magnitud de las condiciones climáticas imperantes, principalmente del nivel de precipitación, el cual determina la humedad existente en el suelo, y por lo tanto, la disponibilidad de los nutrientes para las raíces del pasto (Arce 2008).

2.6. Importancia del análisis químico del suelo y pastos

La calidad del suelo abarca los componentes físicos, químicos y biológicos del mismo y sus interacciones. Por esto, para captar la naturaleza holística de la calidad, o salud, del suelo, deberán ser medidos todos los parámetros. Sin embargo, no todos los parámetros tienen la misma relevancia para todos los suelos, o situaciones. Existen dos formas básicas para evaluar la calidad del suelo, hacer mediciones periódicamente, a lo largo del tiempo y comparar valores medidos con los de una condición del suelo estándar o de referencia (Luters y Salazar 2000).

Los forrajes son una fuente importante de alimento en la nutrición de los herbívoros, y son el principal componente en las dietas de los bovinos en las regiones tropicales. Su composición cambia significativamente de acuerdo a su estado vegetativo (Juárez y Montero s.f).

Al tratar a las pasturas como un cultivo con requerimientos tan exigentes como cualquier otro producto vegetal, se comprende que es necesario el manejo técnico y profesional de las mismas. Cada tipo de análisis químico a efectuar tiene como objetivo separar o aislar del ordenamiento natural de las plantas a sus fases fibrosas o nutricionales, según el potencial químico que tenga cada reactivo de efectuarlo. Posterior a esto y con diferentes metodologías, se procede a cuantificar la

cantidad del compuesto de interés y de manera porcentual, en relación a la totalidad del material analizado. Lo anterior, al fin y al cabo expresa la calidad nutricional que posee la planta (Mora 2012).

Junto a las actividades de fertilización está la labor de realizar análisis de suelos, ésta es previa a toda actividad de fertilización, nos indicará la situación real en cuanto a nutrición del suelo, es decir, indicará si es pobre, medio o rico en cuanto a nutrientes (Calla 2012).

El rendimiento de un cultivo es afectado por diversos factores, entre los que ocupa un lugar importante la disponibilidad de los nutrimentos esenciales para las plantas en el suelo. Cuando estos nutrimentos no están en cantidades adecuadas, hay necesidad de adicionar fertilizantes químicos, orgánicos o enmiendas para suplir las necesidades y corregir condiciones adversas. Desde este punto de vista, el análisis químico del suelo puede suministrar información muy valiosa (MAG s.f)

Hay varios métodos para obtener muestras. La más sencilla consiste en ir colectando submuestras de toda la unidad de muestreo, recorriendo al azar por todo el límite trazado que luego serán mezcladas y enviadas al laboratorio, el inconveniente es la desuniformidad del terreno. El otro método alternativo es subdividir el campo en subunidades homogéneas en base al relieve y el cultivo que se va a analizar, luego realizar la toma de sub muestras por cada subunidad en forma de zig-zag. Finalmente la cantidad de muestra es enviada al laboratorio (Calla 2012).

Se ha demostrado que dichos análisis constituyen una excelente guía para el uso racional de los fertilizantes. Sin embargo, no debe olvidarse que en la producción de cultivos, interviene un conjunto de factores de gran importancia como: clima, variedades, control fitosanitario, manejo general y otras, que podrían limitar el desarrollo adecuado de una planta si no se encuentra en el grado óptimo requerido (MAG s.f)

2.7. Importancia de la implementación de fertirriego con el efluente de los biodigestores

El efluente de los biodigestores es un excelente biofertilizante que se puede aplicar a los cultivos, promoviendo la agricultura orgánica y la disminución del uso de agroquímicos. Se logra independencia como consumidor energético y de fertilizantes químicos, con una integración total de los recursos aprovechables, dentro del ciclo productivo y social (Samayoa *et al.* 2012).

El uso del fertilizante foliar agrega agentes beneficiosos que vienen del biodigestor y colaboran con la descomposición de la materia orgánica. La calidad de vida de los pobladores de

micro cuencas, subcuencas y cuencas mejora. El beneficio ambiental es la preservación de la biodiversidad y el mejoramiento del suelo por la incorporación de fertilizante orgánico (López y Solá 2008).

Su poder de fijación de sales es mayor que el de las arcillas, siendo responsable directo de la mayor parte de la nutrición de las plantas. Debido a este poder de fijación evita la solubilidad y lixiviación excesiva de sales manteniéndolas aprovechables para las plantas (Gon 2008).

2.8. Impacto ambiental de la utilización del biofertilizante

El costo de los fertilizantes ha obligado a los productores a buscar estrategias que permitan disminuir los altos costos de fertilización, utilizando, entre otras opciones, la materia orgánica como fuente de abonamiento. El uso de materia orgánica es importante debido a su impacto sobre la estructura del suelo y sobre algunas características físicoquímicas que ayudan a una mejor utilización del fertilizante químico y finalmente favorecen la calidad y producción de forraje verde (Echeverri *et al.* 2010).

Sucede una serie de procesos con la utilización del biofertilizante producido por los biodigestores, como la reducción de la producción de gas metano, el excremento en estado natural expulsa grandes cantidades al espacio de este gas, que es uno de los más perjudiciales para la capa de ozono. Evita los malos olores entre el 90 y 100%, se evita en un 100% la contaminación de suelos y agua, es una opción para cambiar la agricultura tradicional por una orgánica, el efluente del biodigestor es una excelente alternativa, no se da la proliferación de insectos, ya que en las actividades pecuarias abundan los insectos, especialmente moscas y zancudos (Sáenz 2001).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Localización y datos climáticos

Esta investigación se realizó en tres fincas de Santa Cruz de Turrialba y en una finca de Pacayas en la provincia de Cartago. En total se contó con cuatro fincas lecheras que están utilizando un biodigestor proporcionado por el ICE, además de un sistema de fertirriego.

Santa Cruz es el distrito cuarto del cantón de Turrialba, se caracteriza por tener una época seca que va de diciembre a abril y una época lluviosa que va de mayo a noviembre. Este se encuentra al noreste de la cabecera del cantón, en una zona montañosa que comprende una superficie de 127.4 Km². La altitud del distrito va de los 900 a los 3340 msnm. La región es caracterizada por las siguientes condiciones agroecológicas: temperatura promedio de 10 a 19 grados centígrados, precipitaciones anuales entre los 3 000 y los 3 500 mm, humedad relativa de 85% y brillo solar entre 3 a 4 horas por día; y los suelos pertenecen al orden de los andisoles (Blanco 2007).

La comunidad de Pacayas presenta una altitud de 1735 msnm, con una precipitación promedio anual de 2277.6 mm, siendo marzo el mes más seco con 66.2 mm y octubre el más lluvioso con 275.1 mm. La temperatura promedio es 16.7°C; la máxima se registra en los meses de junio y setiembre con 17.3°C y la mínima en el mes de enero con 15.9°C. La humedad relativa muestra un promedio de 88%, con un máximo de 89% en la mayoría de los meses y un mínimo de 83% en el mes de enero. En cuanto al brillo solar, se tiene un promedio de 4.4 horas sol día, con un máximo de 6.0 horas sol día en el mes de marzo y un mínimo de 3.2 horas sol día en el mes de noviembre. Los suelos encontrados en el área de estudio son Typic Hapludands y Lithic Hapludands (Gómez 2004).

3.2. Fases metodológicas del proceso de investigación

3.2.1. Contextualización del estudio

La investigación fue de tipo exploratorio, por tal, este estudio fue preliminar, ya que no se tenía registro de este tipo de evaluaciones en la zona de estudio. Debido a esto, se procedió a efectuar una serie de análisis que permitieron generar información básica sobre los efectos que provocó la aplicación del efluente de los biodigestores, el fertilizante químico tradicional y el testigo

sobre las variables químicas del pasto kikuyo, y las características físico-químicas del suelo de las fincas lecheras de Santa Cruz y de Pacayas, pudiendo realizar con estos datos una comparación del uso de fertilizantes sintéticos tradicionales, como lo es la urea y un testigo sin ningún tipo de fertilizante.

Se recolectaron datos desde el punto de vista económico de cada una de las fincas, con los que se realizó un análisis de costos marginales y así se dieron los resultados sobre cuál tratamiento le implica o no al productor mayores costos.

3.2.2. Promoción del estudio en la zona

Se procedió a realizar visitas de campo con la finalidad de promover y concientizar a los productores sobre el tema en estudio y su importancia potencial para promover una serie de beneficios al sistema de producción de leche. Se visitaron un aproximado de ocho fincas para cumplir tal fin, de las mismas se observaron algunos criterios que tenían que cumplir para ser parte de la selección de las fincas.

3.2.3. Selección de fincas

Esto se dio cumpliendo los siguientes tres criterios fundamentales: 1. Poseer en el sistema de producción de leche, un biodigestor en funcionamiento, 2. Tener un sistema de fertirriego con efluente de biodigestores funcionando en algunos de los apartos de la finca y que a la misma vez en su sistema utilice fertilización química en los mismos apartos, 3. Anuencia y consentimiento de participar con los recursos de la finca durante todo el estudio.

Luego de que se comprobaron los tres criterios se procedió a la selección de las cuatro fincas establecidas para iniciar la investigación en la zona.

También, en cada finca se seleccionó un apto con características similares entre sí, con poca o nula pendiente, presencia de pasto kikuyo, con poca presencia de malezas, capacidad de la finca de seleccionar apartos alejados para cada tratamiento, logrando con esto una homogenización en las evaluaciones.

Fue fundamental que las cuatro fincas seleccionadas tuvieran establecido un adecuado funcionamiento del sistema de fertirriego, con efluente de biodigestor, en conjunto con la aplicación al voleo de los gránulos de urea. Además de otro apto donde solo se utilizó urea, en la misma cantidad y manera que el tratamiento anterior.

Y por último otro apartado natural, es decir, donde se aplicó de manera manual o natural solamente agua al pasto.

En cada una de las fincas y dentro de los apartos seleccionados se estableció un área de 100 m² (10x10m) donde se aplicó cada tratamiento y en donde se realizaron los muestreos de las diferentes variables por evaluar.



Figura 1. Selección de apartos y demarcación con cada uno de los tratamientos

Fuente: Michelle Vargas Coto

3.3. Tratamientos

Tratamiento 1 (T1): efluente del biodigestor más urea.

Tratamiento 2 (T2): solamente urea.

Tratamiento 3 (T3): solamente agua al pasto.

3.4. Evaluación en tiempo y cantidades de los fertilizantes

Estos tratamientos se aplicaron durante tres ciclos de recuperación del pasto (cada 30 días) en cada una de las fincas seleccionadas. La forma en la que se aplicó el efluente fue por medio del sistema de fertirriego, mientras que la urea fue aplicada al voleo

La cantidad que se aplicó del efluente para cada una de las evaluaciones en los 100 m² para el T1 fue de 5 Litros, mientras que se utilizaron 1,15 kg de urea tanto para el T1 como para el T2.

Caracterización de la producción del efluente de biodigestor

El efluente líquido fue elaborado en la finca con los insumos que entran en el biodigestor. El insumo principal utilizado fue la boñiga con adiciones de agua. Las cantidades fueron de 50

kilogramos de estiércol de ganado y 150 litros de agua. A este se le realizó un análisis químico completo con el fin de conocer su composición.

Se realizó un análisis químico completo del efluente el cual arrojó los siguientes resultados: mostrando un pH de 5,3, siendo este considerablemente ácido, aportó de nitrógeno un 1,90%, de fósforo un 1,90%, potasio 1,08%, calcio 1,04%, y magnesio un 0,53%, mientras tanto, aportó 4 mg/kg de cobre, de zinc 18 mg/kg, manganeso 262 mg/kg y de hierro 217 mg/kg. Se extrajo un total de 200 ml del efluente directamente de donde fue depositado luego de pasar por el proceso de digestión anaeróbica.



Figura 2. Expulsión del efluente del biodigestor

Fuente: Michelle Vargas Coto

Cantidad de nitrógeno en kilogramos por hectárea aportado por el efluente en el tratamiento 1

Para realizar este cálculo se tuvo que obtener la cantidad de kilogramos de estiércol utilizados en la elaboración del efluente, la cual fue de 50kg y se dividió entre los 150 litros de agua usados para obtener la concentración, que dió como resultado 0,333 kg/litro.

Para determinar los kilogramos de nitrógeno/hectárea se multiplicaron los 5 litros por 10 000 m² y se dividieron entre 100m², de esto se obtuvo un valor 500 litros/ha, que se multiplicó por 0,019 kg de N (cantidad de N en el efluente) lo que dio como resultado 9,5 kg N/ha.

Para obtener los kg de N/ha totales que aporta el efluente al suelo se multiplicó 9,5 kg N/ha por la concentración real del estiércol en la mezcla de fertirriego, que fue de 0,333 kg/L obteniendo como resultado final que el aporte que hace el fertirriego al suelo es de 3,16 kg N/ha/mes.

En la composición del T1 se aplicaron 1,15 kg de urea en 100 m².

El total de nitrógeno aportado por este tratamiento es de 56,06 kg N/ha/mes (se obtiene de la suma de 3,16 que aporta la mezcla de efluente más 52,9 que aporta la urea).

Cálculo de los kilogramos por hectárea aportados por la urea en el tratamiento 2

La urea para el T2, al igual que para el T1 se aplicó a una cantidad de 1,15 kg, en un área de 100 m². Este valor se calculó en kilogramos por hectáreas teniendo como resultado 115 kg de urea/ha.

El resultado anterior se multiplicó por los 0,46 kilogramos de nitrógeno (concentración de N en la urea) y se obtuvo que el aporte es de un total de 52,9 kg N/ha/mes.

3.5. Variables dependientes

3.5.1. Variables edáficas

Se realizó un muestreo de suelos de forma aleatoria en cada uno de los apartos seleccionados. Las variables químicas que fueron tomadas en cuenta fueron, el pH, acidez intercambiable, calcio, magnesio, potasio, fósforo, zinc, manganeso, cobre, hierro (análisis químico), determinación de materia orgánica y como variable física la densidad aparente (Anexo 7). Las características químicas y físicas del suelo se establecieron con base en la descripción que hacen Quesada y Méndez (2005) para obtener las condiciones de nutrición que se constituyen en un suelo posterior a la fertilización, ya sea orgánica o química.

Los análisis de laboratorio se realizaron en el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) ubicado en Ochomogo de Cartago.

3.5.1.1. Toma de muestras de suelo antes y posterior a la aplicación de los tratamientos

En el área que se definió para cada apto se procedió con la toma de una muestra de suelo en forma aleatoria. En investigaciones realizadas por Cuesta y Villaneda (2005) referentes a la toma de muestras, se indicó que se debe asegurar que las áreas seleccionadas sean homogéneas, la

muestra de suelo fue tomada a una profundidad de 15-20 cm, lo cual es recomendado para especies de crecimiento postrado, como lo es el pasto kikuyo.

Como punto importante, en el momento en que se tomó la muestra, el suelo tenía que estar húmedo, ni poco ni excesivamente; también, se debió remover la vegetación o residuos frescos de materia orgánica de la superficie del suelo y se cavó un hueco en forma de “V”, con la utilización de una pala, luego se cortó una tajada de 2-3 cm de grueso en una de las paredes del hueco y se dejó una faja de 3 cm de ancho en el centro de la tajada, descartando los extremos.

Esta faja correspondió a una submuestra y se depositó en un balde plástico limpio. Se tomaron en el rango de los 100m² de forma aleatoria 10 submuestras como mínimo que luego se mezclaron homogéneamente en el balde, seguido de esto se tomó una porción de un kg de suelo, se empacaron las muestras correspondientes y se identificaron adecuadamente para su envío al laboratorio.

Para la extracción de las muestras de densidad aparente, se utilizó un cilindro de aproximadamente 7 cm de largo y 6,5 cm de diámetro, además, con la ayuda de un martillo y un trozo de madera se obtuvo la muestra. Se finalizó con la extracción de ella con la ayuda de una pala, empacando e identificando las muestras debidamente para su envío al laboratorio.

Las muestras de densidad aparente se tomaron por tratamiento por etapa, ya que se extrajo una muestra de la variable por ciclo de descanso del pasto, obteniendo tres muestras por finca, por lo que fueron 12 muestras totales al final de los tres ciclos, con las cuales se realizó el análisis de la calidad del suelo desde la perspectiva de la densidad aparente. El número de repeticiones fue mínimo ya que este análisis es de alto costo y por lo tanto se realizó un análisis químico descriptivo debido a que no se tenían suficientes datos.

3.5.1.2. Número de muestras por tratamiento por finca y total del suelo

Por finca se realizó un muestreo, obteniendo 3 muestras que son de cada uno de los tratamientos, el total de cada ciclo fue de 12 muestras, lo que al final de los tres ciclos se obtuvo 36 muestras para la realización del análisis de las variables edáficas.



Figura 3. Extracción de la muestra de suelo

Fuente: Michelle Vargas Coto



Figura 4. Fraccionamiento en cuartos

Fuente: Michelle Vargas Coto



Figura 5. Demarcación de muestras para envío al laboratorio

Fuente: Michelle Vargas Coto

3.5.2. Variables químicas del pasto kikuyo

Las variables que se tomaron en cuenta para la evaluación de la biomasa del pasto kikuyo fue por medio de un análisis químico y se valoraron las siguientes variables: materia seca, proteína cruda, macro y micronutrientes como N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe y Mn (anexo 8).

3.5.2.1. Toma de muestras del pasto kikuyo

Para cada tratamiento en cada finca, se procedió a utilizar el método propuesto por De Gracia (2011), que menciona el uso de cuadrantes o marcos de metal o madera que cubren 0.5 m² de área. Los cuadrantes se arrojan dentro del área de 100 m² al azar, y se cortó todo el material que se encontró dentro del cuadrante de manera manual, con la ayuda de un cuchillo, a una altura similar a

la que los animales lo cortan para su consumo. Posteriormente se procedió a tomar el peso fresco de los gramos obtenidos en 0.5 m².

Además, para cada tratamiento se realizó el análisis químico, para ello se procedió a utilizar el método del fraccionamiento en cuartos. El cual consistió en distribuir la muestra total sobre una superficie limpia y dividirla en cuartos, los cuartos opuestos diagonalmente se desecharon y los restantes se mezclaron y se volvieron a dividir. Se repitió la operación hasta que se obtuvo una muestra de aproximadamente de un kg de material fresco, luego de este paso, se procedió a llevar el material al laboratorio en el que se realizó el análisis.

3.5.2.2. Número de muestras por tratamiento por finca y total de pasto

Por finca y tratamiento se realizó un muestreo, obteniendo 3 muestras de pasto, el total de cada ciclo fue de 12 muestras, lo que al final de los tres ciclos se obtuvo 36 muestras para realización del análisis de las variables edáficas.



Figura 6. Toma de muestra del pasto kikuyo con el uso del cuadrante.

Fuente: Michelle Vargas Coto



Figura 7. Demarcación de muestras para envío al laboratorio.

Fuente: Michelle Vargas Coto

3.5.3. Variable costos económicos

Se realizó un análisis de costos operativos marginales, que son todos aquellos que se deben efectuar para poder realizar las operaciones acorde con el sistema de producción establecido.

En este proyecto se analizó el costo marginal que produce la fertilización química de acuerdo con la cantidad de fertilizante utilizado por hectárea, tomando como referencia el precio por kilogramo en el mercado. Se determinó el costo de la cantidad de mano de obra utilizada, para esto se utilizó como referencia el costo del jornal en la zona de la investigación. También se calculó el costo del transporte de fertilizantes dentro y fuera de las fincas. Todos los demás costos en el sistema de manejo del pasto kikuyo se mantuvieron constantes para los tres tratamientos.

Los costos del fertilizante en cada uno de los tratamientos fueron calculados en kilogramos por hectárea por mes, esto debido al ciclo productivo del pasto kikuyo (*k. clandestina*). Se hicieron cálculos promediados de cada una de las fincas para concretar el costo marginal del fertilizante.

En cuanto a los jornales fueron calculados por hectárea por mes, lo cual incluye los jornales que utilizó el peón en labores propias de la finca, como mantenimiento agronómico de las pasturas, aplicaciones de fertilizante químico y lo concerniente a actividades del fertirriego con el efluente del biodigestor.

El costo del transporte se calculó por mes, debido a que la mayoría de los productores solicitan a los agrocomerciales el servicio de fletes para el acarreo de sacos de fertilizantes a sus fincas cada 22 o 30 días, por lo que se calculó un promedio de la cantidad de fletes realizados y su costo por mes.

Los costos totales por tratamiento se obtuvieron de la suma de los costos de operación que se tomaron en cuenta en este estudio.

Los costos de inversión del sistema de fertirriego no se tomaron en cuenta ya que esta fue una donación del ICE a los sistemas de producción, esta decisión tiene la finalidad de poder realizar un análisis técnicamente objetivo de la investigación.

3.5.3.1. Cálculo de los costos de operación que se contemplaron en el estudio:

3.5.3.1.1. Costos de fertilización con urea por tratamiento

Se aplicó 1,15 kg de urea cada 30 días (aprox. 1 mes), que fueron los del descanso del pasto kikuyo, en 100m² y por hectárea dio un total de 115 kg/ha/mes. El dato final se multiplicó por 500 colones, que es el precio promedio de un kilogramo de urea de los agrocomercios de la zona.

3.5.3.1.2. Costo del jornal por tratamiento

Para este cálculo se utilizó el número promedio de apartos trabajados por el peón en 1 hectárea, además del número de horas que utilizó el mismo para realizar trabajos en estos apartos relacionados con cada uno de los tratamientos. El dato de un jornal fue suministrado por ingenieros agrónomos de la agencia del MAG de Turrialba. Un jornal está compuesto por 8 horas totales al día.

Para las labores agronómicas de mantenimiento que se llevan a cabo en el tratamiento testigo fue de 1,5 horas. El jornal en la zona de estudio se paga a un promedio de 7500 colones, este valor del jornal se multiplica por el total de jornales que se utilizaron en cada uno de los tratamientos para obtener el costo total.

Tratamiento 1

En 18 apartos trabajados por el jornalero se emplearon 4 horas totales por mes para labores de fertilización, que en total se consumieron 72 horas/ha/mes, esto dividido entre las 8 horas (total horas por jornal) da como resultado 9 jornales/ha/mes para la práctica de fertilización con urea.

Para labores de elaboración de la mezcla de efluente y aplicación del fertirriego a los apartos, se empleó una hora. Para obtener el total de jornales, se sumaron las 4 horas de labores de fertilización con urea, lo cual se obtuvieron 5 horas totales, multiplicadas por los 18 apartos, se obtuvo como resultado 90 horas, divididas entre las 8 horas (un jornal) da como resultado 11 jornales/ha/mes para el T1.

Tratamiento 2

En 18 apartos trabajados por el empleado se utilizan 4 horas totales por mes para labores de fertilización, en total, se obtuvieron 72 horas/ha/mes, esto dividido entre las 8 horas dio como resultado 9 jornales/ha/mes para la práctica de fertilización con urea.

Tratamiento 3

En 18 apartos el jornalero utilizó 1,5 horas, obteniéndose 27 horas/ha/mes, dividido entre las 8 horas se obtiene como resultado 4 jornales/ha/mes.

3.5.3.1.3. Costo de transporte por tratamiento

Para el cálculo del costo del transporte se obtuvo del promedio del número total de viajes (fletes) por mes que utiliza cada sistema productivo para el acarreo de los sacos de fertilizante que se usaron para los tratamientos 1 y 2. Este dato fue obtenido de los productores de las fincas que forman parte del estudio, se indicó que el número de fletes que se realizó en el T1 fue de tres por mes, y para el T2 de igual manera fue de tres por mes. El costo de cada flete fue de 8200 colones, que es un promedio del precio que cobra cada agrocomercio en la zona.

3.6. Diseño experimental

El diseño experimental que se empleó fue de bloques completos al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones (son fincas que aplican prácticas pecuarias similares en la zona), dentro de cada finca se seleccionaron tres apartos (potreros) en los cuales se estableció una parcela experimental de 100 m², a cada parcela experimental se le aplicó en forma aleatoria el respectivo tratamiento durante los 30 días de regeneración del pasto.

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ijk} = Es el valor de respuesta de las variables a los tratamientos utilizados.

μ : Media general

B_i = Es el efecto del i-ésimo Bloque i = Finca1, Finca2, Finca3 Finca4.

T_j = Es el efecto del j-ésimo tratamiento T1=Testigo, T2=E. Biodigestor, T3=A. Químico

ε_{ij} = Es el efecto del error aleatorio se supone NID (0, σ)

Figura 8. Esquema de la aleatorización de los tratamientos en las cuatro fincas

	T2: Fertilizante químico (Kilogramos/hectárea)	T1: Efluente de biodigestor (Litros/hectárea) + Fertilizante químico (Kilogramos/hectárea)	T3: Testigo Pasto manejo al natural, solo con agua
F4	T2 R4	T1 R4	T3 R4
F2	T2 R2	T1 R2	T3 R2
F1	T2 R1	T1 R1	T3 R1
F3	T2 R3	T1 R3	T3 R3

3.7. Análisis estadístico

La información obtenida en la investigación se sistematizó de acuerdo a los tratamientos y variables en una hoja de Excel, luego se procedió a realizar un análisis de varianza por medio del sistema de Análisis Estadístico SAS (2009), en el caso de detectar diferencias estadísticas entre los tratamientos se procedió a realizar una prueba de medias, mediante la prueba de Rango Múltiple de Duncan.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

El análisis de los resultados permitió evaluar si el uso de cada uno de los tratamientos de fertilización establecidos, tuvo efecto sobre las variables en cada una de las etapas y que a la vez fuera favorable para la óptima nutrición y por lo tanto, desarrollo del pasto, mejorando así la fertilidad de los suelos, además estos resultados permitieron evaluar los costos marginales de cada uno de los tratamientos para así poder llegar a una conclusión sobre las mismas.

4.1. Descripción de los resultados de las variables edáficas

4.1.1. Análisis de las características de suelo antes de la aplicación de tratamientos

En el cuadro 2 se muestra el análisis de medias que se le realizó a cada una de las variables del suelo.

Cuadro 2. Resumen de las medias de tratamiento para cada variable que se analizó en la etapa 1 de evaluación de suelo

Tratamiento	M.O %	pH	Acidez cmol (+)/L	Ca cmol (+)/L	Mg cmol (+)/L	K cmol (+)/L	P mg/L	Zn mg/ L	Mn mg/L	Cu mg/ L	Fe mg/L
T1	2.72 ^a	5.32 ^a	0.27 ^b	1.80 ^a	0.45 ^a	0.20 ^a	11.25 ^a	3.00 ^a	15.50 ^a	6.50 ^a	185.75 ^a
T2	3.16 ^a	5.37 ^a	0.41 ^a	2.02 ^a	0.52 ^a	0.34 ^a	15.25 ^a	2.85 ^a	15.75 ^a	5.00 ^a	138.00 ^a
T3	3.08 ^a	5.25 ^b	0.46 ^a	2.02 ^a	0.52 ^a	0.22 ^a	13.00 ^a	5.12 ^a	20.50 ^a	8.25 ^a	173.25 ^a

Nota 1: Medias con letra igual no difieren estadísticamente ($p > 0.05$), según prueba de Duncan.

Nota 2: Medias con diferente letra, difieren estadísticamente ($p \leq 0.05$), según prueba de Duncan.

Nota 3. M.O= Materia orgánica.

En el anexo 1 del análisis ANDEVA se pudo observar que la variable que presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) fue la acidez intercambiable; el pH mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$).

En el cuadro 2 se presentan las medias de tratamiento para cada una de ellas, el pH obtuvo una media en el T1 de 5.32, en el T2 una media de 5.37, y finalmente para el T3 un valor en su media de 5.25. Según las pruebas de Duncan, se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el T3 y T1 y también entre el T3 y T2; el T1 y T2 no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).

La acidez presentó una media para el T1 de 0.27 cmol (+)/L, para el T2 un valor de 0.41 cmol (+)/L y para el T3 una media de 0.46 cmol (+)/L, según la prueba de Duncan no se presentaron diferencias estadísticas ($p > 0.05$) entre el T2 y T3, lo contrario sucedió con el T1 y T2, T1 y T3 que presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

4.1.2. Análisis de las características de suelo después de la aplicación de tratamientos

En el cuadro 3 se presentó el análisis de varianza (ANDEVA) realizado a las variables edáficas para la etapa 2.

Cuadro 3. Resultados de ANDEVA de la etapa 2 de las variables edáficas

Fuente	G.L	Cuadrado medio										
		MO	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe
Trat.	2	0.075 ^{ns}	0.022 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.140 ^{ns}	0.007 ^{ns}	77.250 ^{ns}	0.682 ^{ns}	1.083 ^{ns}	1.750 ^{ns}	694.7 ^{ns}
Finca	3	1.536 ^{ns}	0.295 ^{ns}	0.012 ^{**}	0.929 ^{ns}	0.135 ^{ns}	0.001 ^{**}	24.305 ^{ns}	10.531 ^{ns}	1214.00 ^{ns}	7.638 ^{ns}	20927.2 ^{ns}
Error	6	0.095	0.008	0.004	0.114	0.266	0.002	18.805	0.663	28.416	3.638	2179.30 ⁵
total	11	CV% 10.93	CV% 1.63	CV% 24.06	CV% 13.23	CV% 81.49	CV% 27.40	CV% 24.43	CV% 29.89	CV% 27.10	CV% 36.33	CV% 26.44

Nota 1: NS= no significativo ($p > 0.05$)

Nota 2: * = significativo ($p \leq 0.05$)

Nota 3: ** = altamente significativo ($p \leq 0.01$)

El cuadro 3 presenta que ninguna de las variables edáficas mostraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos establecidos. El anexo 2 muestra el resultado que se obtuvo del análisis de medias realizado a cada una de las variables de la etapa 2.

4.1.3. Análisis de las características de suelo al finalizar el experimento

El análisis de varianza de las variables del suelo estudiadas en la etapa se presenta en el anexo 3.

Cuadro 4. Resumen de las medias de tratamiento para cada variable que se analizó en la etapa 3 de la evaluación de suelo

Tratamiento	M.O %	pH	Acidez cmol (+)/L	Ca cmol (+)/L	Mg cmol (+)/L	K cmol (+)/L	P mg/L	Zn mg/ L	Mn mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L
T1	3.77 ^a	5.40 ^a	0.38 ^a	2.22 ^a	0.65 ^a	0.22 ^a	21.50 ^a	2.80 ^a	21.50 ^a	5.75 ^a	196.75 ^a
T2	3.96 ^a	5.40 ^a	0.47 ^a	1.87 ^a	0.45 ^a	0.19 ^a	20.75 ^a	2.52 ^a	12.75 ^a	5.50 ^a	161.50 ^a
T3	3.57 ^a	5.32 ^a	0.42 ^a	2.12 ^a	0.52 ^a	0.23 ^a	16.00 ^b	3.40 ^a	23.00 ^a	8.25 ^a	243.75 ^a

Nota 1: Medias con letra igual no difieren estadísticamente ($p > 0.05$), según prueba de Duncan.

Nota 2: Medias con diferente letra, defieren estadísticamente ($p \leq 0.05$), según prueba de Duncan.

Nota 3. M.O= Materia orgánica.

El anexo 3 sobre el análisis ANDEVA presentó que solo la variable fósforo mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$) en esta etapa.

La media para el T1 fue de 21.50 mg/L, para el T2 la media fue de 20.75 mg/L y para el T3 la media de 16.00 mg/L. Según la prueba de Duncan (cuadro 4), el T1 y T2 no difieren estadísticamente, mientras que el T1 y T2 difieren del T3.

4.2. Análisis de la variable física densidad aparente del suelo

El cuadro 5 presentó el análisis químico de la variable densidad aparente, el análisis descriptivo indica que los tres tratamientos presentan valores diferentes para cada etapa, donde se evidencia cambios en aumento o disminución de la misma en el suelo.

Cuadro 5. Análisis de la variable densidad aparente entre tratamientos

Tratamientos	Densidad aparente		
	(g/m³)		
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
T1	0.98	0.86	0.68
T2	0.97	0.81	0.88
T3	0.96	0.56	0.97

Se observa en el cuadro 5 que para la etapa 1, el T1 obtuvo un valor en la densidad aparente de 0.98 g/m³, teniendo un valor muy similar en el T2 con un valor de 0.97 g/m³ y con una mínima tendencia de disminución el T3, con un valor de 0.96 g/m³.

En cuanto al T1 y en la etapa 2, la variable obtuvo un valor de 0.86 g/m³, para el T2 un valor de 0.81 g/m³ y para el T3 un valor de 0.56 g/m³, aquí sí se observó en general una tendencia a la disminución en los valores de esta variable.

Para la etapa 3 los resultados en los tratamientos tuvieron una tendencia a disminuir para el T1 con un valor de 0.68 g/m³, luego para el T2 se presentó un valor de 0.88 g/m³ y para finalizar, en el T3, un valor en la densidad aparente de 0.97 g/m³ similar a la etapa 1.

4.3. Descripción de las variables químicas del pasto kikuyo (*K. clandestina*)

4.3.1. Análisis del pasto kikuyo antes de la aplicación de tratamientos

En el cuadro 6 se presentan los resultados del análisis de varianza para las variables que se evaluaron del pasto kikuyo en la etapa 1 de la investigación.

Cuadro 6. Resultados del ANDEVA de la etapa 1 de las variables del pasto kikuyo

Fuente	G.L	Cuadrado medio										
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Prot. cruda	Mat. seca
Trat.	2	0.204 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.223 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.000 ^{ns}	2.333 ^{ns}	70.583 ^{ns}	15859.08 ^{ns}	9860.33 ^{ns}	7.970 ^{ns}	32.085 ^{ns}
Finca	3	0.301 ^{ns}	0.009 ^{**}	0.077 ^{ns}	0.009 ^{**}	0.0009 [*]	1.888 ^{ns}	23.333 ^{ns}	15478.888 ^{ns}	20667.222 ^{ns}	11.787 ^{ns}	2162.080 ⁿ
Error	6	0.070	0.002	0.128	0.001	0.0003	2.222	31.250	10080.972	3877.555	2.738	289.639
Total	11	CV% 7.88	CV% 8.44	CV% 11.11	CV% 11.77	CV% 7.49	CV% 16.26	CV% 14.45	CV% 33.61	CV% 38.95	CV% 7.88	CV% 11.18

Nota 1: NS= no significativo ($p>0.05$)

Nota 2: * = significativo ($p\leq 0.05$)

Nota 3: ** = altamente significativo ($p\leq 0.01$)

El cuadro 6 muestra que no hubo diferencias significativas ($p>0.05$) entre tratamientos para las variables del pasto kikuyo en la etapa antes de aplicar los tratamientos.

4.3.2. Análisis del pasto kikuyo después de la aplicación de los tratamientos

Los resultados del análisis de varianza (ANDEVA) de la etapa 2 se muestran en el cuadro 7 para cada una de las variables.

Cuadro 7. Resultados del ANDEVA de la etapa 2 de las variables del pasto kikuyo

Fuente	G.L	Cuadrado medio										
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Prot. cruda	Mat. seca
Trat.	2	0.134 ^{ns}	0.017 ^{ns}	0.089 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	1.75 ^{ns}	3.000 ^{ns}	1530.083 ^{ns}	23242.33 ^{ns}	5.273 ^{ns}	3927.72 ^{ns}
Finca	3	0.358 ^{ns}	0.065 ^{ns}	0.230 ^{ns}	0.002 ^{**}	0.001 ^{**}	5.55 ^{ns}	104.55 ^{ns}	15905.638 ^{ns}	9270.333 ^{ns}	13.979 ^{ns}	6352.85 ^{ns}
Error	6	0.023	0.009	0.330	0.0009	0.001	0.972	17.555	2484.305	10647.666	0.916	2256.393
total	11	CV% 4.59	CV% 20.28	CV% 17.62	CV% 8.32	CV% 14.78	CV% 10.95	CV% 10.34	CV% 30.13	CV% 19.11	CV% 4.60	CV% 23.05

Nota 1: NS= no significativo ($p>0.05$)

Nota 2: * = significativo ($p\leq 0.05$)

Nota 3: ** = altamente significativo ($p\leq 0.01$)

El cuadro 7 evidenció que no hubo diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) entre tratamientos para la etapa 2.

4.3.3. Análisis del pasto kikuyo al finalizar el experimento

En el cuadro 8 se presenta los resultados del análisis del ANDEVA para las variables analizadas en la etapa 3.

Cuadro 8. Resultados del ANDEVA de la etapa 3 de las variables del pasto kikuyo

Fuente	G.L	Cuadrado medio										
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Prot. cruda	Mat. seca
Trat.	2	0.069 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.001 ^{ns}	266.083 ^{ns}	1770240.33 ^{ns}	2011.75 ^{ns}	107327.25 ^{ns}	2.741 ^{ns}	2109.60 ^{ns}
Finca	3	0.134 ^{ns}	0.007 ^{**}	0.347 ^{ns}	0.022 [*]	0.005 ^{**}	12087.22 ⁿ _s	1766920.55 ^{ns}	5137.00 ^{0ns}	584310.972 ^{ns}	5.227 ^{ns}	2279.50 ^{0ns}
Error	6	0.075	0.002	0.092	0.0004	0.001	337.30	1773832.55 ⁵	4808.08 ³	136597.805	2.955	751.623
total	11	CV% 8.16	CV% 8.43	CV% 9.82	CV% 7.09	CV% 14.99	CV% 43.90	CV% 316.47	CV% 40.90	CV% 54.77	CV% 8.16	CV% 19.55

Nota 1: NS= no significativo ($p>0.05$)

Nota 2: * = significativo ($p\leq 0.05$)

Nota 3: ** = altamente significativo ($p\leq 0.01$)

Para la etapa 3 no se evidenciaron diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) entre tratamientos.

4.4. Análisis de los costos marginales según tratamientos utilizados en la investigación

El cuadro 9 presenta las cantidades totales por tratamiento y por rubro analizado, establecido para el cálculo de los costos marginales.

Cuadro 9. Cálculo de cantidades totales de insumos utilizados por cada tratamiento por mes.

Tratamiento	Cantidad total Fertilizante kg/ha/mes	Cantidad total Jornales/ha/mes	Cantidad total Transporte/mes
T1	115	11	3
T2	115	9	3
T3	0	4	0

Nota 1: El precio de mercado de un kg de urea en la zona fue de ¢500.

Nota 2: El precio de mercado promedio de un jornal en la zona fue de ¢7500 (horas de trabajo de lunes a sábado).

Nota 3: El precio de mercado en la zona de un transporte de insumos a la finca fue en promedio de ¢8200.

Se presenta en el cuadro 10 los costos por mes de cada una de las variables, resultado que se obtuvo realizando el cálculo con los precios establecidos en el mercado para cada uno de ellos, para poder evidenciar cuál es el más elevado a nivel experimental.

Cuadro 10. Cálculo de costos totales de insumos utilizados por cada tratamiento por mes

Tratamiento	Costo (¢) Fertilizante kg/ha/mes	Costo (¢) Jornales/ha/mes	Costo (¢) Transporte/mes	Total (¢)
T1	57 500	82 500	24 600	164 600
T2	57 500	67 500	24 600	149 600
T3	0	30 000	0	30 000

El cuadro 9 indica que en el T1, la cantidad total de urea utilizada fue de 115 kilogramos por hectárea por mes. Los jornales utilizados se ponderaron en 11 por hectárea y se utilizó un total de tres transportes (fletes) por mes. En cuanto al costo marginal del T1, se obtuvo un valor total de 164 600 colones/ha/mes (cuadro 10).

El cuadro 9 indica que para el T2, la cantidad de urea que se utilizó fue la misma del T1, 115 kilogramos por hectárea por mes. El total de jornales fue de 9 por hectárea, siendo éste ligeramente menor que el T1, ya que solamente se tabula la aplicación del fertilizante químico. El costo del transporte fue en total de tres fletes por mes. El costo marginal total del presente tratamiento presentó un valor de 149 600 colones/ha/mes (cuadro 10).

En cuanto al T3, los jornales utilizados fueron menores a los tratamientos anteriores (cuadro 9), ya que únicamente se cuantifican las labores mínimas de mantenimiento del pasto con adiciones de agua al aparto. El total de este tratamiento fue de 4 jornales por hectárea por mes. El costo marginal total fue de 30 000 de colones/ha/mes (cuadro 10).

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Es conocido que en los cantones de Turrialba y Pacayas la actividad lechera es una de las más importantes para muchas familias de estas comunidades.

Los factores fundamentales de un sistema de producción lechero lo constituye la calidad nutritiva del suelo y la producción, además de la calidad nutricional del pasto. Existe una relación directa entre un suelo bien nutrido y la cantidad y calidad de los pastos. De ahí la importancia que se le da en esta investigación a la discusión de los resultados obtenidos en el análisis del suelo para determinar la calidad nutricional o deficiencias de los suelos de estas zonas y, además, determinar si la fertilización propuesta mediante los tratamientos evaluados en este experimento produce algún efecto positivo en la calidad nutricional de los suelos ya que esto se verá reflejado en la cantidad y eficacia de los pastos utilizados en los sistemas de producción lechera en la zona en la que se realizó el estudio.

5.1. Discusión de los resultados de las variables edáficas

5.1.1. Análisis de las variables edáficas en la etapa antes de la aplicación de los tratamientos

Uno de los principales hallazgos de la presente investigación fue el haberse presentado diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos para la variable pH y diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos para la variable acidez intercambiable (anexo 1).

La variable pH al presentar diferencias altamente significativas se le realizó un análisis de medias mediante la prueba de rango múltiple de Duncan (cuadro 2), las cuales se mostró que el T1 obtuvo una media de 5.32; el T2 presentó una media de 5.37 y para finalizar el T3 tuvo una media de 5.25. Este análisis demostró que el T1 y T2 no difieren estadísticamente ($p > 0.05$), mientras que el T3 sí difiere estadísticamente ($p > 0.05$) del T1 y T2.

Los resultados en los valores del pH se encontraron en un rango bajo, que es menor a 5.5, según el anexo 9 del diagnóstico para análisis de suelos para todos los suelos, cultivos y soluciones extractoras. (MAG y CATIE 2009).

Se logró observar en el cuadro 2 las medias de tratamiento para la variable acidez intercambiable, las cuales fueron para el T1 un valor en su media de 0.27 cmol (+)/L, para el T2 un valor de 0.41 cmol (+)/L y para el T3 un valor de 0.46 cmol (+)/L. Según la prueba de Duncan no se

presentó diferencias estadísticas ($p > 0.05$) entre el T2 y T3, lo contrario sucedió con el T1 y T2, T1 y T3 que presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre ellos.

Estos valores fueron considerados en un nivel bajo de concentración de la variable, ya que son menores a 0.5 cmol/L que es un valor óptimo según lo muestra el anexo 9 (MAG y CATIE 2009). De igual manera, los mismos valores de acidez se consideraron óptimos del suelo y permiten desarrollar actividades agrícolas en forma apropiada para el desarrollo de las plantas.

Estos resultados pudieron ser debidos a un efecto residual de métodos de fertilización aplicados por los productores antes del establecimiento del presente estudio ya que fueron las únicas variables en la presente etapa que presentaron cambios estadísticos significativos, además de que al momento de las extracciones de las muestras para esta etapa no se habían realizado aplicaciones de los tratamientos.

5.1.2. Análisis de las variables edáficas después de la aplicación de los tratamientos

Para la etapa 2 no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos y para cada una de las variables analizadas, mostrado en el cuadro 3. Por lo que quedó demostrado que los tratamientos de fertilización establecidos no actuaron en un periodo corto de aplicaciones en el suelo.

No se observaron efectos importantes directos en el suelo con la aplicación de los tratamientos 1 y 2 en esta segunda etapa, sin embargo se mantuvieron niveles medios de fertilización en los que fue posible la debida nutrición del pasto. Es importante recalcar los valores obtenidos en las variables manganeso y hierro para la presente etapa mostrados en el anexo 2 (resumen de medias de cada una de ellas), estos fueron muy elevados y pueden llegar a ser perjudiciales para el pasto, por lo que es fundamental buscar otros métodos de fertilización, distintas dosis y formulaciones de los fertilizantes en investigaciones futuras.

El manejo de los pastos bajo el T3, conforme a los resultados obtenidos definitivamente no es factible agrónomicamente, ya que la pastura mejorada como el kikuyo requiere de fertilización reforzada de nitrógeno y otros macro y micronutrientes, si no, difícilmente va a responder en la producción de biomasa suficiente y en la calidad para poder aportar los altos requerimientos alimenticios de los animales en producción de leche.

Este tipo de manejo del T3 del suelo en algunas fincas todavía lo utilizan, y esto es lo que puede determinar la baja productividad de leche y rentabilidad económica, estos sistemas llegan a deteriorar las pasturas con el tiempo y los suelos se llegan a erosionar, factor que es el que se quiere evitar con el presente estudio.

De los resultados de esta investigación se desprende que es necesario profundizar el efecto de los tratamientos para poder elaborar un adecuado plan de manejo integral de la nutrición de los suelos, lo cual va a beneficiar el desarrollo apropiado de la producción tanto en cantidad como en calidad del pasto, lo cual es un factor determinante de la eficiencia en los niveles de producción y composición de la leche en los sistemas de producción de la misma en las comunidades incluidas en el estudio (Echeverri *et al.* 2010).

5.1.3. Análisis de las variables edáficas al finalizar el experimento

El principal hallazgo científico para la presente etapa fue el haber encontrado diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos para la variable fósforo. Para las demás variables no hubo diferencias significativas lo que equivale a indicar que estadísticamente todos los tratamientos presentaron un comportamiento muy similar sobre la nutrición del suelo.

Según la prueba de Duncan la media del T1 presentó un valor de 21.50 mg/L y el T2 con un valor de 20.75 mg/L no difirieron estadísticamente entre ellos, pero ambos sí difieren estadísticamente respecto al T3, el cual presentó un valor de 16 mg/L, no obstante, según el análisis, se encontraba en un nivel medio de fertilidad, lo cual no es garantía de que esté disponible o soluble para la absorción por parte del pasto. Es importante tener presente que estos suelos son de origen volcánico, en los que normalmente el fósforo es alto pero está acomplejado, lo cual no es soluble para los cultivos.

Para la variable fósforo, los resultados de estos valores se encontraron desde niveles medios a óptimos en el suelo, comparado con 20 mg/L (MAG y CATIE 2009), lo cual desde luego favoreció nutricionalmente el suelo y desarrollo de los pastos.

Según Meléndez y Molina (2002), la teoría de los suelos indica que el flujo de nutrimentos en el sistema suelo-planta es una función del ambiente, la planta, manejo, factores socioeconómicos, y está gobernado por una serie de complejas interacciones entre las raíces de las plantas, microorganismos, reacciones químicas y diferentes vías de movimiento. La cantidad de nutrimentos en la planta depende de los procesos que se llevan a cabo en el suelo, lo que implica que cuando la

disponibilidad excede a la demanda, varios procesos actúan para evitar dicho exceso. Dichos procesos incluyen transformaciones por microorganismos tales como nitrificación, desnitrificación, inmovilización, fijación, precipitación, hidrólisis, así como procesos físicos tales como lixiviación y volatilización.

Con base en lo anterior se pudo indicar que los 90 días del experimento no fueron suficientes como para que los tratamientos pudieran actuar eficientemente con tales procesos que se llevan a cabo en el suelo, por consiguiente, los efectos no reflejaron cambios estadísticamente significativos en el resultado de los tratamientos sobre el suelo.

Se indicó que para la variable materia orgánica en la tercera etapa de evaluación no tuvo efectos significativos, sin embargo, con la constante aplicación de tratamientos de fertilización con efluentes durante un tiempo más prolongado que los establecidos en la presente investigación, la variable pueda aumentar. Echeverri *et al.* (2010) menciona que, la materia orgánica es importante debido a su impacto sobre la estructura del suelo y sobre algunas características fisicoquímicas que ayudan a una mejor utilización del fertilizante químico y finalmente favorecen la calidad y producción de forraje verde.

Otra variable que es importante denotar es el hierro, por su alta concentración que se observó en todos los tratamientos del experimento (anexo 3). Pudieron estar en niveles de alta toxicidad en el suelo y además pudieron afectar la producción de biomasa de pasto, por ende se disminuirá la calidad de la alimentación de los animales, esta situación afectará la producción de leche y la reproducción de los animales. La alta concentración de hierro se puede explicar según Garrido (s.f) por la oxidación del mismo que se debe a una mayor aireación del suelo. Los suelos que se encuentran encharcados o muy húmedos durante largos períodos tienden a ser verdosos, pues el encharcamiento impide su aireación y el ion hierro se reduce a Fe^{+} que es de color verde.

Lo anterior concordó con las condiciones climáticas que se presentaron en la zona de Turrialba y Pacayas en el momento de realizar el experimento, que se presentaron lluvias con intensidad media a alta, el agua se encharcaba en ciertos sectores de los apartos, provocando inclusive la quema de las pasturas. Esto pudo afectar las extracciones de las muestras y por consiguiente pudo explicar los altos niveles de hierro, la explicación del comportamiento de este nutriente se confirmó con lo que indicó Garrido (s.f) y es consistente ya que los altos niveles no son en particular de un tratamiento sino que se observa en todos los tratamientos.

Estos resultados determinan la necesidad de seguir estudiando los tratamientos por un periodo mucho más largo que los noventa días evaluados en el presente estudio. Lo anterior se justifica ya que este experimento fue de tipo exploratorio, lo cual se caracterizó por brindar resultados y hallazgos preliminares que nos permitan proyectar alguna tendencia agronómica de las características de los suelos bajo el efecto de los tratamientos aplicados.

El tratamiento compuesto por efluente de biodigestor más urea generó resultados que permitieron demostrar cualitativamente que existió una alta probabilidad de que se presentara una disminución en la contaminación de los ríos provocada por residuos generados por el estiércol en las fincas lecheras. Según Figueroa *et al.* (2008), el estiércol que se produce en un sistema productivo de vacas lecheras es aproximadamente de 48 a 50 kg por animal por día. Y estos residuos son procesados en los biodigestores, que es el punto inicial del reciclaje, luego el efluente que se generó en el biodigestor se convierte en la materia prima usada en el fertirriego que es el que se aplicó en los pastos de las fincas.

En el presente estudio se estableció un tratamiento de fertilización por medio de reciclaje y reutilización de los efluentes orgánicos de las excretas de las vacas, que se procesan en un biodigestor, razón por la cual, dichos residuos ya no se drenan hacia las cuencas hidrográficas, lo que reduce la alteración de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos siendo estos residuos aprovechados en su totalidad para la nutrición del suelo.

Es importante destacar que la disminución de la sedimentación se ve reflejado en la calidad del suelo que sustenta al pasto, además de que se evita la erosión que de igual forma es un reflejo del arrastre de sedimentos hacia dichas cuencas, lo que reduce los costos de la limpieza en los que incurre el ICE.

5.1.4. Evaluación de la interacción de cada tratamiento en el suelo con la variable densidad aparente

La calidad física del suelo determina un ambiente adecuado para el desarrollo de las raíces vegetales, además del ingreso y almacenamiento óptimo del agua necesaria para el crecimiento de las plantas. La densidad aparente describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso. Además, es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces (Rojas 2014).

Entre tratamientos la variable mostró una tendencia hacia la disminución, esto mostrado en el cuadro 5, de igual manera dentro de los niveles de densidad presentados se permite el óptimo desarrollo del pasto. El autor Gómez (2013) menciona que, la densidad aparente del suelo es definido como la masa de una unidad de volumen de suelo seco a 105 °C. Este volumen incluye tanto sólidos como los poros, por lo que la densidad aparente refleja la porosidad total del suelo. Valores de densidad aparente bajos indican una condición porosa del suelo.

La densidad aparente es un parámetro muy importante para describir la calidad del suelo y la función del ecosistema. Los valores de densidad aparente altos expresan un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida y cambios indeseables en la función hidrológica como reducción de la velocidad de infiltración del agua. La densidad aparente depende de la materia orgánica, la textura del suelo, la densidad de las partículas minerales del suelo (arena, limo y arcilla) y su disposición (Gómez 2013).

Para esta variable el indicador compactación del suelo es fundamental, ya que si aumenta la densidad aparente y disminuye la porosidad en el suelo trae consigo una serie de factores desfavorables para la condición del mismo. Aumenta la compactación y por lo tanto el agua que llega a los apartos no va a ser absorbida en su mayoría, presentándose un arrastre en los minerales del suelo, además de la erosión que se puede presentar. Podemos partir desde aquí con la problemática en la sedimentación, que llega a los embalses de los proyectos hidroeléctricos.

Se mostró en el cuadro 5 que para la etapa 1, los tratamientos tuvieron una tendencia a la disminución presentando el T1 un valor de 0.98 g/m³, para el T2 se obtuvo un valor de 0.97 g/m³ y para finalizar, el T3 se presentó un valor de 0.96 g/m³; de igual manera al disminuir la densidad aparente del suelo, aumenta la porosidad del mismo y por lo tanto el agua y los nutrimentos serán mayormente absorbidos, también, el sistema radical del pasto no presentará dificultades para su óptimo desarrollo.

Luters y Salazar (2000) mencionan que, típicas densidades aparentes del suelo fluctúan entre 1.0 y 1.7 g/cm³ y generalmente aumentan con la profundidad en el perfil. Ángeles *et al.* (2010) también mencionan que, para la densidad aparente un valor medio se sitúa en torno a 1.35 g/m³, indicando un suelo con buena estructura y volumen de poros. En general, los tratamientos de la etapa 1, se presentaron valores dentro de los aceptados, presentándose una calidad adecuada del suelo.

Las variables para la etapa 2 presentaron un comportamiento a la disminución de la variable conforme a la aplicación de los tratamientos, iniciando con un 0.86 g/m^3 en el T1, para el T2, se presentó un valor de 0.81 g/m^3 , disminuyendo aún más para el T3 a 0.56 g/m^3 . De igual manera, las condiciones del suelo se mantuvieron adecuadas para un eficiente desarrollo del pasto, presentándose un suelo poroso, dándole al sistema radicular un óptimo crecimiento.

En cuanto a la etapa 3, su tendencia fue más irregular teniendo valores de 0.68 g/m^3 , 0.88 g/m^3 y 0.97 g/m^3 para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente. Estos resultados dieron valores que se encuentran dentro del margen mencionado por Lutens y Salazar (2000), que de igual manera son suelos aptos para el desarrollo adecuado del pasto kikuyo.

Estos valores pudieron haber fluctuado por el manejo que le dan los productores a cada uno de los apartos como lo es la utilización de maquinaria pesada para labores de mantenimiento del pasto, inclusive el tiempo que se mantienen las vacas en los mismos apartos. La compactación del suelo es lo que se debe evitar para un óptimo desarrollo del pasto teniendo como punto principal una adecuada aireación para el crecimiento radicular.

Evaluación integrada de los principales hallazgos de la interacción entre los tratamientos para la densidad aparente

Tomando en cuenta el valor óptimo en la literatura de la variable densidad aparente, el cual es de 1.35 g/m^3 (Ángeles *et al.* 2010), en el presente análisis descriptivo vemos que por ejemplo, para el T2 los valores disminuyeron en comparación con los valores del T1, de esta manera los valores se acercaron al óptimo de la densidad aparente, pero de igual forma esto denota suelos con una adecuada aireación, presencia de materia orgánica, entre otros factores que hacen que no sean suelos de baja calidad física. El T3 fue el más irregular de los tratamientos, presentando un altibajo en los valores de la densidad aparente, pero que de igual forma son suelos que presentan buenas características físicas a pesar de que no existía la presencia de ningún tipo de fertilización.

Es importante mencionar que un aumento sustancial en la densidad aparente, como la menciona Salamanca-Jiménez *et al.* (2004), puede afectar el grado de resistencia física que ejercen los suelos al crecimiento y funcionamiento del sistema radical. El aumento de la densidad aparente, como consecuencia de la compactación, disminuye la macroporosidad y la aireación, incrementa la resistencia mecánica a la penetración, afecta la absorción normal de nutrimentos y del agua. Lo anterior afecta directamente a las raíces e indirectamente a las partes aéreas de la planta.

Es fundamental recalcar que la densidad aparente al ser una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo, puede ser alterada por cultivación, pisoteo de animales, maquinaria agrícola y clima, un ejemplo pudo ser por impacto de las gotas de lluvia. Estratos compactados del suelo tienen altas densidades aparentes, restringen el crecimiento de las raíces, e inhiben el movimiento del aire y el agua a través del suelo (Luters y Salazar 2000).

5.2. Discusión de los resultados de las variables químicas del pasto kikuyo (*K. clandestina*)

Uno de los factores claves que se puede presentar para un desarrollo óptimo del forraje es el sistema de manejo, dentro de ellos se toman en cuenta, la especie de pasto, carga animal, ciclo de pastoreo, ciclo de recuperación del pasto, manejo del agua, época del año y la fertilización, a su vez, influyen las dosis y la frecuencia de aplicación que se le proporciona a los mismos. La presente investigación está enfocada a los tratamientos de fertilización para la adecuada nutrición de los pastos, para que cada uno de los elementos que integran el sistema pasto esté en los niveles adecuados y no se incurra en limitantes o en excedentes de los minerales.

Ramírez *et al.* (2011) indica que “los pastos poseen características fisiológicas y morfológicas que les permiten adaptarse a condiciones específicas y lograr su crecimiento y calidad. Sin embargo, cuando ocurren cambios en las condiciones climáticas, en la temperatura y la radiación solar, por ejemplo, experimentan modificaciones en su rendimiento y calidad”.

El análisis de las características nutricionales del pasto está en relación directa con el ambiente y la fertilización del suelo, por lo que estudios de las características de cada uno de ellos son vitales para entender la situación de déficit o un exceso nutricional que pueda afectar el desarrollo del pasto y, por tal, afectar la adecuada producción de leche. Es por ello que la discusión se realizó por medio de la interacción de los tratamientos con relación a su efecto en la cantidad y calidad de las variables del pasto kikuyo.

5.2.1. Evaluación de los hallazgos de la interacción de los tratamientos del pasto Kikuyo antes de la aplicación de los tratamientos

Los resultados del cuadro 6 para la etapa 1 demostraron no haber evidencias de diferencias estadísticas ($p > 0.05$) entre tratamientos, esto mostrado mediante un análisis de varianza de cada una de las variables establecidas para el pasto kikuyo.

Para la presente etapa es evidente que las variables no iban a manifestar cambios significativos para el presente estudio, esto debido a que no se aplicó ninguno de los tratamientos de

fertilización descritos anteriormente. Además, se tuvo contemplado que existía la posibilidad de presentarse un efecto residual en los suelos analizados para esta etapa, que pueden ser motivo de estudio para investigaciones posteriores. Este efecto provocado por la acostumbrada fertilización que realizan los productores a cada uno de los apartos.

Fueron importantes los resultados de la presente etapa para poder ser tomado a modo comparativo en investigaciones futuras referentes a distintos tratamientos de fertilización y poder llegar de esta manera a conclusiones que ayuden a la adecuada nutrición de los pastos.

5.2.2. Evaluación de los hallazgos de la interacción de los tratamientos del pasto Kikuyo después de la aplicación de los tratamientos

El principal hallazgo fue el no mostrar diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos para la presente etapa, demostrado en el análisis de varianza del cuadro 7, sin embargo desde el punto de vista agronómico se pudo denotar que, está de más la adición extra de fertilización nitrogenada a los pastos y esto se logró observar en la cantidad de nitrógeno aportado por el efluente, que fue de 3.16 kg/ha, mientras que el aporte de nitrógeno de la urea fue de 52.9 kg/ha mostrando una gran diferencia entre ambos.

Los resultados de este experimento permitieron agronómicamente indicar que la fertilización orgánica y química del T1, logró suplir los requerimientos nutricionales de la planta, al punto que esta pueda tener un desarrollo óptimo. Lo anterior también permitió proyectar que el costo de fertilización por hectárea es mayor en el T1 por la utilización de más insumos comparado con el T2, pero cabe recalcar que la cantidad de nitrógeno químico y orgánico en la fertilización de los pastos aumenta trayendo consigo importantes beneficios para el sistema productivo.

Este hallazgo obtenido por el uso del T1 requiere de profundización, por medio de investigaciones futuras para lograr disminuir considerablemente la fertilización química y poder realizar un análisis de costos marginales más completo, lo cual también se justifica ya que el efluente que contiene estiércol disminuye los costos ambientales de la contaminación de las cuencas hidrográficas.

Agronómicamente el T2 logró suplir las necesidades químicas de cada una de las variables establecidas pero con cantidades de nitrógeno elevadas comparado con el T1. De igual forma lo que se busca en un futuro es el uso racional del fertilizante químico, disminuyendo las dosis y por lo tanto se verá reflejado de igual manera en la disminución de los costos.

El manejo del suelo por medio de la estrategia del T3 puede traer consigo consecuencias como por ejemplo suelos erosionados, de fertilidad muy baja y por tal, no llegan a tener la biomasa y calidad de pastos requeridos por animales productores de leche, los cuales se conoce, son muy exigentes en su alimentación y esta situación de igual manera afecta la producción, la reproducción de las vacas y el crecimiento de las terneras, debido a que la lactancia nutricionalmente es deficiente y pueden inclusive, provocar enfermedades que inhiben el desarrollo de los animales.

5.2.3. Evaluación de los hallazgos de la interacción de los tratamientos del pasto Kikuyo al finalizar la investigación

Uno de los hallazgos científicos fue el no haber encontrado diferencias significativas ($p>0.05$) entre tratamientos para todas las variables estudiadas dentro de la presente etapa. Lo que equivale a indicar que, estadísticamente, todos los tratamientos presentaron un comportamiento muy similar sobre la nutrición del suelo y que se vio reflejado en la biomasa del pasto.

Lo cual se permitió demostrar que en el presente estudio la producción de forraje y sus características químicas no fueron afectadas por el tipo de fertilizante aplicado, y además de que la fertilización orgánica en conjunto con la química lograron suplir los requerimientos nutricionales de la planta, de igual manera en futuros estudios se pueden modificar los tratamientos de fertilización, principalmente con la disminución del fertilizante químico, ya que de igual manera el fertirriego con efluente nutre tanto al suelo como a los pastos.

El hecho de que no se hayan encontrado diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos 1 y 2 respecto al T3 (testigo), pudo ser debido a la presencia de nutrientes remanentes en el suelo, que serían suficientes para conservar la composición química de esta gramínea, citado por Correa (2011) para un experimento similar al presente.

Estos resultados sugieren la necesidad de revisar los programas de fertilización nitrogenada de los pastos, no solo en términos de la frecuencia de su aplicación, sino además, en las cantidades aplicadas y las fuentes de nutrientes. No obstante, lo anterior no se recomienda en el manejo de los pastos de Kikuyo bajo el T3, ya que este tipo de manejo no es factible agrónomicamente debido a que los pastos mejorados como kikuyo, requieren de un programa de fertilización estricto, para poder responder con una buena producción de biomasa de pasto suficiente y con la calidad para poder aportar los altos requerimientos alimenticios de los animales de producción de leche.

Los resultados preliminares de esta investigación requieren ser profundizados, en especial el T1, ya que este se puede convertir en una alternativa para disminuir las altas prácticas de fertilización química de nitrógeno, porque además este tratamiento incluye nitrógeno orgánico en una cantidad de 3.16 kg/ha, el cual es aportado por el efluente orgánico de los biodigestores, esta situación determina que se debería, al menos, bajar la cantidad de nitrógeno químico en comparación a la cantidad que aporta el efluente, esto además disminuiría los costos anualmente. El uso del T1, se debe incorporar en los sistemas de producción bajo un concepto de sistema de manejo integral de la nutrición de los suelos, con el objetivo de aumentar en forma sostenible la eficiencia de la producción en calidad del pasto, y con ello, mejorar la eficiencia en los niveles de obtención y composición de la calidad de la producción de leche de la zona (Echeverri *et al.* 2010).

Tanto el T1 como el T2 en la tercera etapa, tuvieron una tendencia a producir un efecto muy similar sobre la mayoría de las variables químicas del pasto Kikuyo. Estos resultados permitieron indicar que la proteína cruda y la producción de materia seca, que son fundamentales en la producción de leche, en este experimento no fueron afectadas por los tratamientos aplicados. Tanto para el T1 como para el T2 se mantuvieron en niveles medios durante todo el experimento por lo que la adición extra de nitrógeno no es necesario para el óptimo desarrollo del pasto kikuyo.

5.3. Evaluación de costos marginales de producción según los tratamientos utilizados en la investigación

En Costa Rica los productores de leche invierten en el mantenimiento de sus pasturas a lo largo del año, esto implica altos costos de producción y por ende repercute en la productividad del sistema lechero y disminuye la competitividad en el mercado lácteo (Villalobos *et al.* 2013). Es por ello que tener una sistematización de los costos de los sistemas de producción es de vital importancia para el productor, ya que le permite realizar estudios para mejorar la eficacia y eficiencia del sistema productivo en términos financieros y, a la vez, poder evaluar la rentabilidad de la misma para finalizar con la toma de mejores decisiones en forma integral y así lograr maximizar el beneficio neto.

El cuadro 10 muestra que el T1 presentó el mayor costo marginal con un total de 164 600 colones por hectárea por mes, lo cual es producto de la utilización de una mayor cantidad de mano de obra, además del uso común de fertilización química y orgánica. Este valor es el más alto de los tres tratamientos. Se menciona que en estudios similares como el de Correa *et al.* (2008) que indica que en los sistemas de lechería especializada es una práctica común la alta aplicación de nitrógeno

(fertilización) después de cada pastoreo, lo cual repercute en altos costos por el número de jornales utilizados.

Ésta práctica de utilizar altos niveles de nitrógeno no es necesaria cuando se trata de conservar la calidad nutricional del pasto kikuyo, ya que en la investigación de los autores anteriormente mencionados, dejaron de aplicar N durante cuatro cortes cada 30 días o dos cortes cada 60 días en parcelas de pasto kikuyo sin que observaran diferencias significativas en la calidad nutricional de este pasto. Esto denotó que a nivel de costos se pueden reducir sustancialmente, al disminuir las aplicaciones de nitrógeno en forma de urea al pasto kikuyo.

En investigaciones realizadas por Correa *et al.* (2008) se puede observar que en cuanto a los costos por uso de urea, se pueden llegar a disminuir con la reducción de la cantidad del mismo fertilizante aplicado. Similar puede llegar a suceder con los resultados obtenidos en este estudio, ya que esta reducción de costos se puede lograr, esto porque nutricionalmente el nitrógeno del efluente orgánico de los biodigestores aporta una cantidad de 3.16 kg/ha, esto tendría que disminuir los costos por mes de 1 580 colones y anualmente de 18 960 colones/ha, lo cual permitiría aumentar la productividad del sistema de producción y, por consecuencia, mejoraría la competitividad en el mercado de la producción de leche a nivel nacional e internacional.

La cantidad total de fertilizante (urea) fue de 115 kilogramos por hectárea por mes, es muy similar a la utilizada por Cantarero y Martínez (2002) los cuales evaluaron tres tipos de fertilizantes, estos fueron gallinaza, estiércol y fertilizante mineral, utilizando para el fertilizante mineral la dosis de 124.78 kg/ha, y en el que los tratamientos orgánicos destacaron en comparación al químico desde el punto de vista nutricional, además de que los fertilizantes orgánicos superaron a los minerales en el contenido de nutrientes. El fertilizante orgánico contenía elementos requeridos por el cultivo en menores cantidades, que son de vital importancia para el buen desarrollo y crecimiento de la planta. Además, los fertilizantes orgánicos suministran los nutrientes de forma lenta, pero efectiva, a través de su mineralización paulatina en el ciclo del cultivo.

Se menciona que una regulación en la cantidad de fertilizante químico suministrado trae consigo beneficios para el sistema productivo y económico, siempre y cuando se refuerce con un fertilizante orgánico como lo es el efluente de los biodigestores aprovechando los insumos presentes en los sistemas productivos, esto es favorable tanto para las variables edáficas como para el efectivo desarrollo del pasto. Influye además, en que los costos mensuales o anuales no sean tan elevados.

El T2 obtuvo un costo marginal de 149 600 colones por hectárea por mes, costo menor comparado al T1, esto se debió a que los insumos referidos al uso de los jornales fueron menores. Esto determina una diferencia de 15 000 colones/ha/mes de costo marginal y de 180 000 colones por año menor respecto al T1, lo cual, aunque se redujeran los 1 580 colones por mes del aporte del efluente se tendría un valor de reducción de 13 420 colones por mes a favor del T2. En general, el fertilizante de origen químico constituye una fuente importante de nitrógeno en muchos sistemas agrícolas (Perdomo y Barbazán s.f), en esta investigación resultó que este tipo de fertilización obtuvo el menor costo marginal, lo cual es una opción técnica, pero que podría convertirse en una práctica no sostenible ya que no aporta materia orgánica al suelo y con el tiempo, las necesidades de este tipo de fertilizante podría incrementar y con ello los costos, máxime que son insumos que se deben importar y los costos siempre tienden a incrementar.

5.3.1. Análisis interrelacionado de los resultados agronómicos y de costos marginales

Echeverri *et al.* (2010) indicaron que la diferencia más importante entre el estiércol y el fertilizante químico es el efecto benéfico en las propiedades físicas del suelo, en este caso el estiércol actúa como suplementación de nutrientes, lo cual coadyuva en las características biológicas del pasto. Con base en el enunciado anterior se puede proyectar que el T1 tiene un valor agregado en la disminución de los costos en el tiempo respecto al T2 que no aporta materia orgánica.

En esta investigación el T2 es el de menor costo respecto al T1, a nivel agronómico el T2 presentó un valor aceptable de producción de materia seca y del porcentaje de proteína cruda aventaja en forma mínima al T1.

Aunque los costos de fertilización para los tratamientos 1 y 2 fueron iguales debido a que se utilizó la misma cantidad de urea, agronómicamente se proyecta que en el tiempo se van a obtener diferencias que posiblemente beneficien al T1, ya que este aporta mayores cantidades de nutrientes al suelo, lo cual se deberá ver reflejado en la calidad y cantidad del pasto, esta proyección se hace debido al uso sostenido del efluente rico en nutrientes y materia orgánica, tal y como se ha demostrado en el análisis edafológico. Lo anterior se sustenta en autores como Cantarero y Martínez (2002), correa *et al.* (2008), Echeverri *et al.* (2010), que coinciden con que la materia orgánica es de gran importancia para el buen desarrollo de las plantas. Bajo ciertos manejos, los suelos agrícolas suelen perder gradualmente su materia orgánica, lo cual se manifiesta en que cada vez se van presentando bajos rendimientos de los cultivos; cuando a estos suelos se les adiciona materia orgánica en cantidades apropiadas, la respuesta de los cultivos es extraordinaria; se observan

rendimientos de hasta 8-10 veces mayores. La materia orgánica, particularmente cuando proviene de estiércoles, contiene importantes cantidades de todos los elementos químicos utilizados por las plantas (Santos s.f).

En general, el esfuerzo para disminuir los costos en la cantidad de fertilizante aplicado repercute en la disminución de la cantidad de transporte y de uso de la mano de obra, por tal debe ser uno de los problemas que todo sistema de producción debe resolver, autores como Gómez *et al.* (2009), mencionan alternativas de nutrición con niveles bajos de fertilización nitrogenada, por ello es necesario analizar cuál es el nivel óptimo de fertilizante para nutrir el suelo adecuadamente y que permita el desarrollo del pasto en cantidad, calidad y productividad, sin que se incurra en altos costos para el productor y solo de esa manera se puede mejorar la competitividad del sistema productivo, además de procurar disminuir la contaminación en el entorno de los residuos que van a los mantos acuíferos, cuerpos de agua y cuencas hidrográficas.

El costo de los fertilizantes ha obligado a los productores a buscar estrategias que permitan disminuir los altos costos de fertilización, el uso de la materia orgánica como fuente de abonamiento es una opción, tal y como se deriva del análisis de los resultados de la presente investigación, ya que el uso de materia orgánica es importante debido a su impacto sobre la estructura del suelo y sobre algunas de sus características fisicoquímicas, y favorece la calidad y producción de forraje verde (Echeverri *et al.* 2010), lo cual se constituyó en una opción para reducir o utilizar en forma combinada menores cantidades de fertilizante químico y esto permitirá reducir los costos en el sistema de producción tal y como se ha proyectado en el presente estudio.

CAPÍTULO V

6. CONCLUSIONES

1. En la presente investigación no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos evaluados para ninguna de las variables edáficas estudiadas en la segunda etapa del experimento.

2. En la primera etapa de experimentación se encontraron diferencias altamente significativas en la variable pH, la media del T1 y T2 no difieren estadísticamente, pero las medias del T1 y T2 difieren con las medias del T3. Para la variable acidez intercambiable se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. La media del T1 difirió del T2, de igual manera la media del T1 difiere del T3, las medias del T2 y T3 no difieren entre ellas.

3. Para la tercera etapa del estudio la variable fósforo fue la que presentó diferencias estadísticas significativas. Las pruebas de Duncan indicaron que entre el T1 y T2 las medias no difieren estadísticamente, mientras que el T1 y T2 difieren del T3.

4. Las variables edáficas denominadas macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg), así como el pH, Materia orgánica y la acidez intercambiable, se hallaron en un nivel de fertilidad de bajo a medio. Las concentraciones de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn) se encontraron en niveles muy altos. La proteína cruda y la materia seca se encontraron en niveles relativamente adecuados. En general, los suelos utilizados en este experimento se encuentran en una fertilidad que los ubica de bajo hacia medio.

5. El proceso de reciclaje del efluente orgánico del biodigestor que es uno de los componentes del T1 utilizado como fertilizante de los pastos, permitió reciclar y reutilizar los residuos orgánicos como la excreta bovina y evitó que fueran a ser llevados por medio del arrastre del agua a las cuencas hidrográficas, reduciendo de esta forma la contaminación de dichas cuencas. Esto permitió proyectar que se puede reducir los costos de mantenimiento de la embalses de los proyectos hidroeléctricos del ICE.

6. Los resultados de este experimento permitieron indicar que el costo de fertilización por hectárea es menor cuando se utiliza fertilización química. Sin embargo, el uso de la materia orgánica como la utilizada en el T1, aporta 3.16 kg/ha/mes de nitrógeno, por lo que se puede proyectar reducir la cantidad de nitrógeno químico en la fertilización de los pastos y reducir los costos de producción, además de mejorar las propiedades químicas y físicas del suelo.

7. En la presente investigación no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos para las variables biológicas del pasto Kikuyo que fueron evaluadas en

las tres etapas. Esto determina una tendencia agronómica de producir un efecto muy similar sobre la mayoría de las variables químicas y biológicas (proteína cruda y la producción de materia seca) del pasto Kikuyo en todas las etapas estudiadas.

8. Los resultados de este experimento permitieron agronómicamente indicar que la fertilización orgánica del T1, logró suplir los requerimientos nutricionales de la planta, al punto de que esta pueda crecer igual que cuando solo se emplea fertilizante químico por medio del T2.

9. El T1 fue el que tuvo mejores resultados en cuanto a la variable física, densidad aparente. Esto denota suelos con una apta porosidad para el desarrollo radicular del pasto kikuyo.

10. Se determinó que la cantidad total de nitrógeno aportado por el efluente fue de 3,16 kilogramos de nitrógeno por hectárea por mes, en relación a la cantidad de nitrógeno aportado por la urea que fue de 52,9 kilogramos de nitrógeno por hectárea por mes, lo que permite indicar que la fertilización química se puede reducir a esa cantidad y disminuir los costos hasta 18 960 colones por hectárea.

11. El costo total marginal del T1 fue de 164 600 colones por mes, para el T2 fue de 149 600 colones por mes y para el T3, un total de 30 000 colones por mes. El T2 fue el que presentó el menor costo respecto al T1, a nivel agronómico el T2 presentó un valor aceptable de producción de materia seca y el porcentaje de proteína cruda aventaja en forma mínima al T1.

7. RECOMENDACIONES

1. Es imprescindible que el ICE continúe realizando investigaciones a largo plazo para evaluar el T1, ya que las condiciones meteorológicas donde hay épocas de alta precipitación, determinan una lenta degradación de la materia orgánica. Por lo que se esperaría a largo plazo una mejor utilización de la materia orgánica y reducir el uso de la fertilización química, para con ello mejorar el balance de energía en los sistemas de producción, la reducción de los gases de efecto de invernadero, minimizar la huella de carbono y disminuir la sedimentación en las cuencas hidrográficas.

2. Es necesario que el ICE promueva la realización de otras investigaciones que permitan cuantificar el impacto ambiental y de los beneficios del uso de efluente orgánico en la reducción de la contaminación de los mantos acuíferos, así como valorarlos económicamente.

3. Los resultados de este experimento aportan información preliminar para realizar una toma de decisiones inteligente en cuanto a promover una campaña educativa de alto nivel en todo el país, sobre el uso del estiércol bovino para producir y aprovechar el gas metano y reciclar el efluente como fuente de fertilización de los pastos. Lo cual reduce los costos de producción y disminuye la contaminación de las cuencas hidrográficas, reduciendo el impacto negativo de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos.

4. En cuanto a la variable física densidad aparente, es importante evitar la compactación por parte de maquinaria agrícola o inclusive, exceso de tiempo del ganado en los apartos y estableciendo buenas prácticas agrícolas y pecuarias.

5. Se recomienda para la reducción del uso de la fertilización química en al menos 3.16 kg/ha/mes ya que no se encontraron diferencias estadísticas entre T1 y T2 en la mayoría de las variables edáficas y de producción del pasto kikuyo y esto reduciría los costos marginales por el uso del efluente por medio del fertirriego.

8. LITERATURA CITADA

- Aguilar, F; Botero, R. 2006. Beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. *Tierra Tropical*. 2 (1): 49-59.
- Ángeles, F; Hernández, J; Moisés, A; Morales, A. 2010. Determinación de la densidad aparente del suelo. (En línea). Chiapas, México, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Consultado 21 set 2017. Disponible en: <https://es.slideshare.net/kryzdfagg/densidad-real-y-aparente>
- Apraez, E; Crespo, G; Herrera, R. 2007. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos y mineral en el comportamiento de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechs) en el Departamento de Nariño, Colombia. (En línea). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 41 (1): 75-79. Consultado 19 nov 2014. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1930/193017666013.pdf>
- Arce, J. 2008. Practica dirigida realizada en la Finca de Ganado Lechero Estabulado “La Georgina” ubicada en Vara Blanca de Heredia. (En línea). Tesis Lic. Universidad de Costa Rica. Consultado 27 oct. 2017. Disponible en: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3077/1/28951.pdf>
- Avendaño, J. 2012. Producción de heno de kikuyo como alternativa de una forraje bajo en costos y alto en calidad. Tesis Lic. Antioquia, Colombia, Corporación Universitaria Lasallista, Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias. 40p.
- Bautista Buhigas, A. 2010. Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos (Estelí, Nicaragua). (En línea). Tesis Lic. Madrid, España, Universidad Carlos III de Madrid. 67p. Consultado 13 junio 2014. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/id/45617/PFC/>
- Bavera, G; Peñafort, C. 2006. Lectura de la bosta del bovino y su relación con la alimentación. Argentina. 9p. Consultado 11 jun 2014. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/61-heces_del_bovino_y_relacion_con_la_alimentacion.pdf
- Blanco, M. 2007. Queso Turrialba, Costa Rica. Consultoría realizada para la FAO y el IICA en el marco del estudio conjunto sobre los productos de calidad vinculada al origen. (En línea). Consultado 15 oct 2014. Disponible en:

http://www.fao.org/fileadmin/templates/olq/documents/Santiago/Documentos/Estudios%20de%20caso/Turrialba/Queso_CostaRica.pdf

- Bontempo, A. 2011. Abonos Foliare (Biofertilizantes). Material presentado para el Módulo de Abonos Orgánicos. Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica (CNEAO). INA (Instituto Nacional de Aprendizaje). Oreamuno, Costa Rica. 6p.
- Brenes, D. 2015. Caracterización de fuentes de contaminación y estrategia de manejo ambiental de la microcuenca del río Jaboncillal, San José, Costa Rica. Tesis Lic. Cartago, Costa Rica, Tecnológico de Costa Rica. 75p.
- Calderón, G; Alfaro, R; Ocampo, R. 2015. Evaluación de nueve fuentes de fertilizantes nitrogenados en la región de Turrialba, Costa Rica, con las variedades de caña de azúcar B77-95. Promedio de Tres Cosechas. Alajuela, Costa Rica. Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA).
- Calla, J. 2012. Análisis de suelos y fertilización en avena forrajera. (En línea). Mañazo-Puno, Perú. 32p. Consultado 27 oct 2017. Disponible en: <http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/008-b-avena-forrajera.pdf>
- Cantarero, R; Martínez, O. 2002. Evaluación de tres tipos de fertilizantes (gallinaza, estiércol vacuno y un fertilizante mineral) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Variedad NB-6. (En línea). Trabajo de diploma. Managua, Nicaragua, Universidad Nacional Agraria. Consultado el 21 de nov 2017. Disponible en: <http://repositorio.una.edu.ni/1853/1/tnf04c229.pdf>
- Carrera. I. 2011. Fertilización del kikuyo *Pennisetum clandestinum* con tres fuentes nitrogenadas, dos sólidas y una líquida en tres niveles y dos frecuencias. (En línea) Tesis Lic. Sangolquí, Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército. 97p. Consultado 15 oct. 2014. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4815/1/T-ESPE-IASA%20I-004575.pdf>
- Corona, I. 2007. Biodigestores. (En línea). Tesis Lic. México, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 69p. Consultado 27 oct. 2017. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10722/Biodigestores.pdf?sequence=1>

- Correa, H. 2011. Efecto del manejo del pastoreo y la suplementación alimenticia en vacas lactantes de sistemas especializados sobre su metabolismo energético y proteico y el contenido de proteína en la leche. (En línea). Tesis Lic. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de medicina veterinaria y de zootecnia. 234 p. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5273/1/hectorjairocorreacardona.2011.parte1.pdf>
- Correa, H; Pabón, M; Carulla, J. 2008. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I –Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. (En línea). Colombia, Universidad Nacional de Colombia. Consultado 09 jun 2015. Disponible en: <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd20/4/corra20059.htm>
- Cuello, M. 2003. Estimación de la producción y transporte de sedimentos en la cuenca alta del río Yaque del Norte y del Río Guanajuma, República Dominicana. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 83 pp.
- Cuesta, P; Villaneda, E. 2005. El análisis de suelos: toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera. (En línea). Colombia. Consultado 18 set 2014. Disponible en: http://www.academia.edu/8965319/EL_AN%C3%81LISIS_DE_SUELOS_TOMA_DE_MUESTRAS_Y_RECOMENDACIONES_DE_FERTILIZACION_PARA_LA_PRODUCCION_GANADERA
- De Gracia, M. 2011. Guía para el análisis bromatológico de muestras de forrajes. (En línea). Universidad de Panamá. Consultado 18 set 2014. Disponible en: <http://msdegraciagciencianimal.com/Guia%20de%20Analisis%20Bromatologico.pdf>
- Días, E; Kreling, J.C. Botero, R; Murillo, J. 2007. Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales. 3(2): 149-160.
- Echeverri, J; Restrepo, L; Parra, J. 2010. Evaluación comparativa de los parámetros productivos y agronómicos del pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* bajo dos metodologías de fertilización. (En línea). Revista Lasallista de Investigación. 7(2): 94-100. Consultado el 21 mayo 2015. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492010000200010&script=sci_arttext

- Estrada-Álvarez, J; Gómez-Londoño, G; Jaramillo-Jiménez, A. 2008. Efecto del biodigestor plástico de flujo continuo en el tratamiento de aguas residuales de establos bovinos. (En línea). Manizales, Colombia, Universidad de Caldas. Consultado 13 jun 2014. Disponible en: http://vetzootec.ucaldas.edu.co/downloads/MVZ2%282%29_3.pdf
- Figueroa-Viramontes, U; Núñez, G; Delgado, J; Cueto-Wong, J; Flores, J.P. 2008. Estimación de la producción de estiércol y de la excreción de nitrógeno, fósforo y potasio por bovino lechero en la Comarca Lagunera. 2ª ed. Agricultura orgánica. FAZ-UJED. SMCS. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/270340128_Estimacion_de_la_produccion_de_estiércol_y_de_la_excrecion_de_nitrogeno_fosforo_y_potasio_por_bovino_lechero_en_la_Comarca_Lagunera
- Garrido, M.S. s.f. Interpretación de análisis de suelos. Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis. Madrid, España. Ministerio de agricultura pesca y alimentación. Instituto nacional de reforma y desarrollo agrario. 40 p.
- Gómez, A; Silva, A; Salazar, J; Andrade, J. 2009. Producción de materia seca y calidad del pasto kikuyo *P. clandestinum* en diferentes niveles de fertilización nitrogenada y en asocio con aliso *alnus acuminata* en el trópico alto colombiano. Brasil, Universidad Estadual Paulista. 10p.
- Gómez, J. 2013. Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos. (En línea). Tolima, Colombia, Centro Agropecuario “La Granja”. Consultado 28 oct 2017. Disponible en: http://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/2785/1/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf
- Gómez, O. 2004. Estudio detallado de suelos de la microcuenca Plantón-Pacayas, Pacayas de Alvarado, Cartago. Costa Rica. (En línea). Consultado 17 nov 2014. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00152.PDF>
- Gon, L. 2008. Guía para proyectos de biodigestión en establecimientos agropecuarios. Argentina. Universidad Católica de Santa Fe. 27p.

- Jaubert, M; Fallas, C. 2004. El ICE en las cuencas: unidad de manejo de cuencas. (En línea). Costa Rica. Consultado el 27 de oct. 2017. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/ice-cuencas.pdf>
- Jiménez, O; Farias, H; Rodríguez, C. 2005. Procesos de sedimentación en embalses en ambientes tropicales. Estudios de casos en Costa Rica y República Dominicana. (En línea). Ingeniería del agua. 12(3): 1-16. Consultado 18 nov. 2014. Disponible en <https://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/2499/1/123article2.pdf>
- Juárez, F; Montero, M. s.f Manual de laboratorio de nutrición animal. (En línea). Consultado 28 oct 2017. Disponible en: <http://tiesmexico.cals.cornell.edu/courses/shortcourse1/minisite/pdf/6/MANUAL%20DE%20LABORATORIO%20DE%20NUTRICION.pdf>
- Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología agropecuaria (INTA). 2015. Cartago, Costa Rica.
- Lianes, E. 2008. Estudio del factor vegetación “c” de la ecuación universal de pérdidas de suelo revisada “RUSLE” en la cuenca del río Birrís (Costa Rica). Tesis Lic. España, Universidad Politécnica de Madrid. 191p.
- López, P; Solá, A. 2008. Sistematización y cuantificación de biodigestores. Áreas e impactos: social, económica y ambiental. Programa de Pequeñas Donaciones del Fondo para el Medio Ambiente Mundial. San José, Costa Rica. 69p.
- Luters, A; Salazar, J.C. 2000. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. (En línea). Argentina, Instituto de Suelos, Departamento de Agricultura. Consultado 28 oct. 2017. Disponible en: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica). s.f. Importancia del análisis químico del suelo para mejorar la producción agrícola. (En línea). San José, Costa Rica. Consultado 28 oct. 2017. Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_analisisquimico.pdf

- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica); CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica). 2009. Bonilla, N (comp). Manual de recomendaciones técnicas: Cultivo del maíz. INTA. San José, Costa Rica. 72 p.
- Meléndez, G; Molina, E (eds.). 2002. Fertilización Foliar: principios y aplicaciones. (En línea). Universidad de Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas. 145p. Consultado 03 jul 2017. Disponible en <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizaci%C3%B3n%20Foliar.pdf>
- Mora, D. 2012. ¿De qué manera se analizan los pastos de su finca en el laboratorio? (En línea). Sitio argentino de producción animal. Consultado 28 oct. 2017. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/54-analizan_pastos.pdf
- Orrego, R. 2011. Biodigestores en el Perú. Guía de principales experiencias desarrolladas en el país. Perú. (En línea). Consultado 12 jun 2014. Disponible en: <https://es.slideshare.net/RoxanaOrregoMoya/biodigestores-en-el-perguiacompetitividadrural>
- Perdomo, C; Barbazán, M. s.f. Nitrógeno. (En línea). Montevideo, Uruguay, Universidad de la Republica. Consultado el 21 de nov 2017. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>
- Pinto, P. 2012. Adopción de sistemas diversificados de producción agropecuaria como mecanismos de adaptación al cambio climático en el marco del manejo y gestión de cuencas hidrográficas en Sixaola, Costa Rica. (En línea). Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza (CATIE). 145p. consultado 12 jun 2014. Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7110/Adopcion_de_sistemas_diversificados__produccion_agropecuaria.pdf?sequence=1
- Quesada, G; Méndez, C. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. (En línea). Agronomía Centroamericana. 16 (2): 171-183. Consultado 12 jun 2014. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_mesov16n02_171.pdf
- Ramírez, J; Herrera, R; Leonard, I; Cisneros, M; Verdecia, D; Álvarez, Y. 2011. Relación entre factores climáticos, rendimiento y calidad de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT 169 en el

- Valle del Cauto, Cuba. (En línea). Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 45 (3): 293-297. Consultado 03 jul 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/1930/193022270013.pdf>
- Rivas, O; Faith, M; Guillén, R. 2010. Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. Tecnología en Marcha. 23 (1): 39-46.
- Rivera, M. 2010. Producción de abono orgánico y biogás mediante biodigestión anaeróbica de lodos activos. (En línea). Tesis Lic. Chile, Universidad de la Serena. 119p. Consultado 12 jun 2014. Disponible en: <http://studylib.es/doc/7393539/producci%C3%B3n-de-abono-org%C3%A1nico-y-biog%C3%A1s>
- Rodríguez, C. 2002. Residuos ganaderos: la intensificación ganadera como proceso de producción de residuos. (En línea). Argentina. 7p. Consultado 13 jun 2014. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/05-residuos_ganaderos.pdf
- Rojas, J. 2014? Densidad aparente: Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa. (En línea). Argentina, Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña. 3p. Consultado 21 set 2017. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_densidad_aparente.pdf
- Sáenz, J. A. 2001. Biodigestores: aportes a las condiciones ambientales y calidad de vida de la población campesina. (En línea). Tesis M. Sc. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 33p. Consultado 23 jun 2015. Disponible en: http://cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/17bib_arch.pdf
- Salamanca-Jiménez, A; Sadeghian-Khalajabadi, S; Amézquita-Collazos. 2004. Densidad aparente de dos suelos de la zona cafetera y efecto sobre el crecimiento del cafeto. (En línea). 55(4): 330-340. Consultado 21 set 2017. Disponible en: <http://www.cenicafe.org/es/publications/arc055%2804%29330-340.pdf>
- Salcedo, D. 2004. Suplementación de vacas en pastoreo. (En línea). Consultado 13 jun 2014. Disponible en: http://www.mouriscade.com/doc_ponencias/oct-2004/suplementacion_vacas_lecheras.pdf
- Samayoa, S; Bueso, C; Víquez, J. 2012. Guía: implementación de sistemas de biodigestión en eco empresas. (En línea). Tegucigalpa, Honduras. Consultado 7 mayo 2014. Disponible en:

<http://nebula.wsimg.com/c124319bf4efff857485ba22c79176c5?AccessKeyId=11F7CE3E4517D29E4C81&disposition=0&alloworigin=1>

- Santamaría, D. 2009. Evaluación microbiana, hormonal y nutricional de ocho formulaciones en la preparación de biol y su aplicación en tres dosis en el cultivo de palmito (*Bactris gasipaes* HBK). Tesis Lic. El Prado, Ecuador, Escuela politécnica del ejército. 162p.
- Santos, A. s.f. Utilización de estiércoles. (En línea). Carrillo, México, Instituto de Recursos Naturales (IRENAT). Consultado el 21 de nov 2017. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Utilizaci%F3n%20de%20esti%E9rcoles.pdf>
- Soto, C; Valencia, A; Galvis, R; Correa, H. 2005. Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre el valor energético y proteico del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). (En línea). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 18(1): 17-26. Consultado 9 jun 2015. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a03.pdf>
- Tarigo, A; Repetto, C; Acosta, D. 2004. Evaluación Agronómica de Bio-Fertilizantes en la Producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a campo. (En Línea). Tesis Lic. Montevideo, Uruguay, Universidad de la República del Uruguay. 169p. Consultado 10 de Marzo del 2012. Disponible en <http://www.ceuta.org.uy/files/Biofertilizantes.pdf>
- Umaña, E. 2002. Educación ambiental con enfoque en manejo cuencas y prevención de desastres: manejo de cuencas hidrográficas y protección de fuentes de agua. (En línea). Estelí, Nicaragua, Universidad Nacional Agraria. Consultado el 27 de oct. 2017. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/fulltext/cuencas.pdf>
- Valderrama, M. 2014. Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). (En línea). Managua, Nicaragua, Universidad de Ciencias Comerciales. Consultado el 27 de oct. 2017. Disponible en: <https://prezi.com/v9eog-edzjcz/pasto-kikuyo-pennisetum-clandestinum/>
- Villalobos, L; Arce, J; WingChing-Jones, R. 2013. Producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. Agronomía costarricense. 37(2): 91-103.

Villalobos, L; Sánchez, J. 2010. Evaluación agronómica y nutricional del pasto Ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. II. Valor nutricional. (En línea). Agronomía costarricense. 34(1): 43-52. Consultado 10 oct 2014. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_agr/v34n01_043.pdf

Warnars, L; Oppenoorth, H. 2014. Estudios sobre el biol, sus usos y resultados. (En línea). Hivos Internacional. Consultado el 27 oct. 2017. Disponible en: https://hivos.org/sites/default/files/publications/estudio_sobre_el_biol_sus_usos_y_resultados.pdf

9. ANEXOS

Anexo 1. Resultados ANDEVA de la etapa 1 para las variables edáficas

Fuente	G L	Cuadrado medio										
		MO	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe
Trat.	2	0.214 ^{ns}	0.015 ^{**}	0.037 [*]	0.067 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.024 ^{ns}	16.083 ^{ns}	6.475 ^{ns}	31.750 ^{ns}	10.583 ^{ns}	2452.58 ^{3ns}
Finca	3	0.069 ^{ns}	0.018 ^{**}	0.015 ^{**}	0.216 ^{ns}	0.008 ^{**}	0.013 ^{**}	77.888 ^{ns}	3.267 ^{ns}	164.083 ^{ns}	18.750 ^{ns}	20488.2 ^{22ns}
Error	6	0.218	0.001	0.008	0.120	0.026	0.026	29.305	4.745	25.083	14.250	2190.47 ²
total	1	CV%	CV%	CV%	CV%	CV%						
	1	15.63	0.70	24.10	17.82	32.48	62.87	41.11	59.54	29.03	57.34	28.25

Nota 1: NS= no significativo ($p>0.05$)

Nota 2: * = significativo ($p\leq 0.05$)

Nota 3: ** = altamente significativo ($p\leq 0.01$)

Anexo 2. Resumen de las medias de tratamiento para cada variable que se analizó en la etapa 2 de la evaluación de suelo

Tratamiento	M.O (%)	pH	Acidez cmol (+)/L	Ca cmol (+)/L	Mg cmol (+)/L	K cmol (+)/L	P mg/L	Zn mg/L	Mn mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L
T1	2.67 ^a	5.50 ^a	0.26 ^a	2.60 ^a	0.62 ^a	0.13 ^a	12.75 ^a	2.32 ^a	19.50 ^a	6.00 ^a	174.0 ^a
T2	2.86 ^a	5.57 ^a	0.25 ^a	2.52 ^a	0.45 ^a	0.21 ^a	19.50 ^a	2.70 ^a	20.25 ^a	5.00 ^a	164.7 ^a
T3	2.94 ^a	5.42 ^a	0.32 ^a	2.55 ^a	0.82 ^a	0.16 ^a	21.00 ^a	3.15 ^a	19.25 ^a	4.75 ^a	190.7 ^a

Nota 1: Medias con letra igual no difieren estadísticamente ($p>0.05$), según prueba de Duncan.

Nota 2: Medias con diferente letra, difieren estadísticamente ($p\leq 0.05$), según prueba de Duncan.

Nota 3. M.O= Materia orgánica.

Anexo 3. Resultados ANDEVA de la etapa 3 para las variables edáficas

Fuente	G.L	Cuadrado medio										
		MO	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe
Trat.	2	0.150 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.130 ^{ns}	0.040 ^{ns}	0.001 ^{ns}	35.583*	0.800 ^{ns}	122.583 ^{ns}	9.250 ^{ns}	6811.083 ^{ns}
Finca	3	2.865 ^{ns}	0.069 ^{ns}	0.106 ^{ns}	4.494 ^{ns}	0.043*	0.017**	139.41 ^{ns}	2.17 ^{ns}	223.19 ^{ns}	22.33 ^{ns}	36697.55 ^{ns}
Error	6	0.038	0.009	0.009	0.116	0.029	0.001	5.916	2.005	57.027	9.916	2195.972
Total	11	CV%	CV%	CV%	CV%	CV% 23.35						
		5.21	1.83	22.56	16.46	31.82	19.39	12.52	48.69	39.57	48.44	

Nota 1: NS= no significativo ($p>0.05$)

Nota 2: * = significativo ($p\leq 0.05$)

Nota 3: ** = altamente significativo ($p\leq 0.01$)

Anexo 4. Resumen de las medias de tratamiento para cada una de las variables que se analizaron en la etapa 1 de la evaluación del pasto

Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Prot. cruda (%)	Mat. seca (Kg/Ha)
T1	3.10 ^a	0.50 ^a	3.00 ^a	0.31 ^a	0.25 ^a	9.00 ^a	35.00 ^a	363.5 ^a	127.5 ^a	19.39 ^a	3 066 ^a
T2	3.43 ^a	0.53 ^a	3.47 ^a	0.25 ^a	0.25 ^a	8.50 ^a	37.75 ^a	294.7 ^a	217.0 ^a	21.48 ^a	2 977,6 ^a
T3	3.53 ^a	0.56 ^a	3.19 ^a	0.29 ^a	0.27 ^a	10.00 ^a	43.25 ^a	237.7 ^a	135.0 ^a	22.08 ^a	3 083 ^a

Nota 1: Medias con letra igual no difieren estadísticamente ($p>0.05$), según prueba de Duncan.

Nota 2: Medias con diferente letra, defieren estadísticamente ($p\leq 0.05$), según prueba de Duncan.

Anexo 5. Resumen de las medias de tratamiento para las variables que se analizaron en la etapa 2 de la evaluación de pasto

Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Prot. Cruda (%)	Mat. Seca (Kg/Ha)
T1	3.15 ^a	0.44 ^a	3.28 ^a	0.37 ^a	0.27 ^a	8.25 ^a	40.0 ^a	149.50 ^a	574.0 ^a	19.7 ^a	4 601,6 ^a
T2	3.30 ^a	0.56 ^a	3.40 ^a	0.35 ^a	0.27 ^a	9.25 ^a	41.5 ^a	187.25 ^a	452.5 ^a	20.6 ^a	4 349 ^a
T3	3.51 ^a	0.45 ^a	3.10 ^a	0.36 ^a	0.26 ^a	9.50 ^a	40.0 ^a	159.50 ^a	593.0 ^a	21.9 ^a	3 412 ^a

Nota 1: Medias con letra igual no difieren estadísticamente ($p > 0.05$), según prueba de Duncan.

Nota 2: Medias con diferente letra, difieren estadísticamente ($p \leq 0.05$), según prueba de Duncan

Anexo 6. Resumen de las medias de tratamiento para cada una de las variables que se analizó en la etapa 3 de la evaluación de pasto

Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Prot. Cruda (%)	Mat. Seca (Kg/Ha)
T1	3.29 ^a	0.54 ^a	3.11 ^a	0.29 ^a	0.26 ^a	50.75 ^a	89.0 ^a	191.00 ^a	821.0 ^a	20.59 ^a	3 064 ^a
T2	3.52 ^a	0.57 ^a	3.10 ^a	0.29 ^a	0.27 ^a	40.00 ^a	36.5 ^a	171.25 ^a	705.5 ^a	22.02 ^a	3 073 ^a
T3	3.29 ^a	0.54 ^a	3.04 ^a	0.27 ^a	0.23 ^a	34.75 ^a	37.0 ^a	146.25 ^a	497.8 ^a	20.57 ^a	2 273 ^a

Nota 1: Medias con letra igual no difieren estadísticamente ($p > 0.05$), según prueba de Duncan.

Nota 2: Medias con diferente letra, difieren estadísticamente ($p \leq 0.05$), según prueba de Duncan

Anexo 7. Ilustración del formato del análisis de suelo de los laboratorios del INTA

 <p>inta INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA EN TECNOLOGÍA AGROPECUARIA</p>	<p>RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés Tel-Fax: 2278-0514; e-mail: labsuelos@inta.go.cr</p>	<p>LDS F 17</p>  <p>SECTOR AGRO ALIMENTARIO</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

NOMBRE:

FECHA:

UBICACIÓN:

FAX:

INFORME #:

IDENTIFICACION		cmol(+)L					mg/L					DESCRIPCIÓN
# LAB.	# CAMPO	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe	

Ing. Alexis Vargas Villagra

Fuente: Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología agropecuaria (INTA).

Anexo 8. Ilustración del formato del análisis foliar de los laboratorios del INTA

 <small>Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria</small>	RESULTADOS DE ANALISIS FOLIARES Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliars Tel-Fax: 2278-0514; e-mail: labsuelos@inta.gov.cr	 SECTOR AGRO ALIMENTARIO	LDS F 18								
NOMBRE: _____		FECHA: _____									
UBICACIÓN: _____											
FAX: _____		INFORME #: _____									
IDENTIFICACION		%					mg/kg				Información
# LAB.	# CAMPO	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	

Fuente: Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliars del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología agropecuaria (INTA).

Anexo 9. Diagnóstico para análisis de suelos (MAG-CATIE) para todos los suelos, cultivos y soluciones extractoras.

		Bajo	Medio	Alto
pH		< 5.5	5.6 - 6.5	> 6.5
Acidez	cmol/L	< 0.5	0.5 - 1.5	> 1.5
S. A.	%	< 10	10 - 50	> 50
Ca	cmol/L	< 4	4 - 20	> 20
Mg	cmol/L	< 1	1 - 5	> 5
K	cmol/L	< 0.2	0.2 - 0.6	> 0.6
Suma de bases	cmol/L	< 5	5 - 25	> 25
CICE	cmol/L	< 5	5 - 25	> 25
P	mg/L	< 10	10 - 20	> 20
Fe	mg/L	< 10	10 - 100	> 100
Cu	mg/L	< 2	2 - 20	> 20
Zn	mg/L	< 2	2 - 10	> 10
Mn	mg/L	< 5	5 - 50	> 50
B	mg/L	< 0.2	0.2 - 1	> 1
S	mg/L	< 12	12 - 50	> 50
M. O.	%	< 2	2 - 10	> 10
Relaciones de cationes	Ca/Mg	Ca/K	(Ca + Mg)/K	Mg/K
	2 - 5	5 - 25	10 - 40	2.5 - 15