



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

**CENTRO DE POSGRADOS MAESTRÍA EN NUTRICIÓN Y
PRODUCCIÓN ANIMAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MAGÍSTER EN: NUTRICIÓN Y PRODUCCIÓN ANIMAL**

**TEMA: CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL DEL POROTÓN (*Erythrina
edulis*) EN DOS ETAPAS FENOLÓGICAS Y SU POTENCIAL
PRODUCTIVO EN EL CANTÓN RUMIÑAHUI**

**AUTOR:
FUENTES QUISAGUANO, OSCAR GIOVANNY**

DIRECTOR: ING. PAZMIÑO MORALES, JULIO

SANGOLQUI

2018



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICADO DEL DIRECTOR

Certifico que el trabajo de titulación, ***“CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL DEL POROTÓN (*erythrina edulis*) EN DOS ETAPAS FENOLÓGICAS Y SU POTENCIAL PRODUCTIVO EN EL CANTON RUMIÑAHUI”*** fue realizado por el señor ***Fuentes Quisaguano, Oscar Giovanni*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 21 de agosto del 2018

.....
Ing. Pazmiño Morales, Julio César

C.C: 1801567395



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Fuentes Quisaguano, Oscar Giovanni*, con cédula de ciudadanía n°: 1715567911, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “*Caracterización Nutricional Del Porotón (Erythrina Edulis) En Dos Etapas Fenológicas Y Su Potencial Productivo En El Cantón Rumiñahui*” es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 08 de agosto del 2018

Fuentes Quisaguano, Oscar Giovanni

C.C: 1715567911



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN

Yo, **Fuentes Quisaguano, Oscar Giovanni**, con cédula de ciudadanía n°: 1715567911 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: *“Caracterización Nutricional Del Porotón (Erythrina Edulis) En Dos Etapas Fenológicas Y Su Potencial Productivo En El Cantón Rumiñahui”* en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 08 de agosto del 2018



Fuentes Quisaguano, Oscar Giovanni

C.C: 1715567911

DEDICATORIA

Con todo el amor y esmero a quien me dio la vida mis padres; papi Jaime y mami Angelita, quien desde los primeros pasos por la vida me enseñaron que debemos estudiar, ser responsables en la vida, los estudios y el trabajo, a mis hermanas a mis sobrinos, especialmente a Sarita, los cuales deben seguir el camino de obtener el conocimiento en las aulas del saber las cuales abren las puertas de un mundo mejor y es una herramienta para afrontar y disfrutar de la vida. Dedicado a mis dos y únicos amores mi madre Angelita y Juanita el amor de mi vida.

A pesar que no esté presente le dedico a mi padre Jaime Fuentes, por el apoyo que siempre diste a nuestra familia y en especial a mi persona, con los consejos y con los ánimos para que llegemos a ser profesionales y servir a quienes más necesitan con el apoyo y el conocimiento.

Sin perderme de la realidad y de mi identidad este estudio dedico a los pequeños y medianos productores de mi querido Ecuador, los cuales me ayudaron y motivaron hacer realidad esta investigación especialmente a los productores de las Islas Galápagos que utilizan un recurso forrajero similar al porotón que su nombre porotillo.

Fuentes Quisaguano, Oscar Giovanni

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a la Virgen María, por todo lo que me han permitido alcanzar y por todas las bendiciones en todos los días de mi vida especialmente mis padres. A toda la familia Vilaña Topón, en especial a Juanita Maribel por brindarme el apoyo desde el inicio de clases y tareas de la Maestría. Agradezco incansablemente al Dr. Eduardo Aragón, Dra. Alexandra Naranjo y su familia, por todo el apoyo que me ha brindado en el área profesional y personal desde mi primer reto el alcanzar a obtener una profesión, ser Médico Veterinario en la Universidad Central del Ecuador y que día a día me ayuda incondicionalmente en este nuevo paso y reto de la vida el alcanzar mi estudio e incorporación de cuarto nivel en la Universidad de las Fuerzas Armadas del Ecuador – ESPE.

Al Ing. Mario García, representante de la empresa Evonik en Ecuador, por ayudarme con los análisis de aminoácidos del Porotón, mis más sinceros agradecimientos para hacer sustentable esta investigación.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a su equipo técnico y administrativo de la Maestría en Producción y Nutrición Animal, en especial a los Ingenieros Mario Ortiz y Julio Pazmiño director de tesis, quien con su colaboración apporto para hacer realidad esta investigación.

Para finalizar agradezco al Ing. Camilo Estrella, Ing. Mercedes Tamayo y Dr. Fredy Ruiz, por el apoyo e insistencia de hacer realidad este nuevo objetivo y que este estudio se haga realidad en nuestras latitudes. Y a todos mis compañeros de la Maestría en Nutrición y Producción animal especialmente a los compañeros especialmente a Henry Velapucha por su ayuda incondicional, Guido Carlos, Hugo Gilbert, Danilo, Ligia.

Fuentes Quisaguano, Oscar Giovanni

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|-------------|
| CERTIFICADO DEL DIRECTOR..... | i |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD..... | ii |
| AUTORIZACIÓN..... | iii |
| DEDICATORIA..... | iv |
| AGRADECIMIENTO..... | v |
| ÍNDICE DE CONTENIDO..... | vi |
| INDICE DE TABLAS..... | ix |
| INDICE DE FIGURAS..... | xi |
| RESUMEN..... | xii |
| ABSTRACT..... | xiii |
| CAPITULO I..... | 1 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 1 |
| 1.1 Introducción..... | 1 |
| 1.2 Justificación..... | 2 |
| 1.3 Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 3 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 3 |
| 1.4 Hipótesis..... | 3 |
| CAPÍTULO II..... | 4 |
| REVISIÓN DE LA LITERATURA..... | 4 |
| 2.1. Marco de Referencia (antecedentes de la investigación)..... | 4 |
| 2.1.1 Características de la <i>Erythrina edulis</i> | 4 |
| 2.1.2 Características Silviculturales..... | 6 |
| 2.1.3 Clasificación taxonómica..... | 9 |
| 2.1.4 Usos del porotón..... | 10 |
| 2.1.5 Calidad y Valor Nutritivo del Pasto..... | 13 |
| 2.1.6 Materia seca..... | 13 |
| 2.1.7 Humedad..... | 13 |
| 2.1.8 Ceniza..... | 14 |
| 2.1.9 Grasa..... | 14 |
| 2.1.10 Fibra cruda..... | 15 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1.11 Definición de la fibra..... | 15 |
| 2.1.12 Lignina. | 15 |
| 2.1.13 Hemicelulosa..... | 16 |
| 2.1.14 Proteína Bruta (PB) | 16 |
| 2.1.15 Proteína cruda..... | 17 |
| 2.1.16 Fibra detergente neutra (FDN)..... | 17 |
| 2.1.17 Determinación de la fibra..... | 18 |
| 2.1.18 Fibra al Detergente Ácido (FDA)..... | 18 |
| 2.1.19 Digestibilidad | 19 |
| 2.1.20 Digestibilidad in vitro..... | 19 |
| 2.1.21 Digestibilidad in situ. | 20 |
| CAPÍTULO III | 22 |
| MATERIALES Y METODOS..... | 22 |
| 3.1 Ubicación del lugar de investigación | 22 |
| 3.1.1 Ubicación Ecológica | 22 |
| 3.1.2 Ubicación y límites..... | 23 |
| 3.1.3 Clima..... | 23 |
| 3.1.4 Flora y fauna | 24 |
| 3.2 Materiales y equipos..... | 24 |
| 3.3 Metodología | 25 |
| 3.3.1 Toma de muestra..... | 25 |
| 3.3.2 Separación de la fracción botánica. | 25 |
| 3.3.3 Preparación de la muestra. | 25 |
| 3.3.4 Análisis de Laboratorio..... | 26 |
| 3.3.5 Animales y dieta. | 26 |
| 3.3.6 Digestibilidad In Situ. | 26 |
| 3.4 Tratamiento y diseño experimental | 27 |
| 3.4.1 Estadística Descriptiva | 27 |
| 3.4.2 Etapas vegetativas..... | 27 |
| CAPÍTULO IV | 28 |
| RESULTADOS Y DISCUSION..... | 28 |
| 4.1 Análisis nutricional del porotón en la etapa I (producción de follaje) | 28 |
| 4.1.1 Análisis de digestibilidad ruminal de la materia seca del porotón | 32 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 4.1.2 | Análisis de la digestibilidad in-situ de la materia seca..... | 32 |
| 4.1.3 | Degradabilidad ruminal in situ de la materia seca (DRISMS) de las hojas del porotón | 33 |
| 4.1.4 | Análisis de la digestibilidad in-situ de la proteína | 34 |
| 4.1.5 | Degradabilidad Ruminal In situ de la Proteína (DRISP)..... | 34 |
| 4.1.6 | Potencial productivo del porotón etapa I foliación (Producción de follaje) | 35 |
| 4.2 | Análisis nutricional del porotón en la etapa II de fructificación (Producción de vainas) | 37 |
| 4.2.1 | Análisis de digestibilidad ruminal in- situ de la materia seca del porotón etapa II fructificación del porotón | 43 |
| 4.2.2 | Degradabilidad Ruminal In Situ de la Materia Seca (DRISMS) - vaina del porotón..... | 44 |
| 4.2.3 | Degradabilidad Ruminal In Situ de la Materia Seca (DRISMS) - semilla del porotón..... | 46 |
| 4.2.4 | Degradabilidad Ruminal In Situ de la Proteína (DRINP) - vaina del porotón | 47 |
| 4.2.5 | Degradabilidad Ruminal In Situ de la Proteína (DRINP) - semilla del porotón | 48 |
| 4.2.6 | Potencial productivo del porotón etapa II fructificación (Producción de vaina y semilla) .. | 49 |
| 4.3 | Discusión comparativa entre 2 etapas productivas del porotón | 50 |
| 4.3.1 | Digestibilidad in-situ de la proteína del porotón | 52 |
| CAPÍTULO V | | 55 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 55 |
| 5.1 | Conclusiones | 55 |
| 5.2 | Recomendaciones..... | 56 |
| BIBLIOGRAFIA..... | | 57 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 <i>Composición química de las hojas en la etapa I (producción de follaje) del porotón ...</i> | 28 |
| Tabla 2 <i>Análisis de energía metabolizable, digerible y energía bruta expresadas en Mcal/kg, del follaje del porotón</i> | 29 |
| Tabla 3 <i>Análisis de macrominerales de las hojas de la etapa I del porotón.</i> | 30 |
| Tabla 4 <i>Análisis de microminerales de las hojas de la etapa I del porotón.</i> | 30 |
| Tabla 5 <i>Análisis de aminoácidos de las hojas de la etapa I producción de follaje del porotón.</i> | 31 |
| Tabla 6 <i>Valores de digestibilidad in situ, de la materia seca de las hojas del porotón (Erythrina edulis)</i> | 32 |
| Tabla 7 <i>Degradabilidad in situ de la Materia Seca- de las hojas del porotón (Erythrina edulis)</i> | 32 |
| Tabla 8 <i>Degradabilidad in situ de la proteína-hoja del porotón (erythrina edulis)</i> | 34 |
| Tabla 9 <i>Composición química de las diferentes partes de la vaina en la etapa II fructificación del porotón.....</i> | 37 |
| Tabla 10 <i>Análisis de energía metabolizable, digerible y energía bruta expresadas en Mcal/kg, en la etapa II fructificación</i> | 39 |
| Tabla 11 <i>Análisis de macrominerales de las partes de la vaina en la etapa II fructificación del porotón</i> | 39 |
| Tabla 12 <i>Análisis de microminerales de las partes de la vaina, en la etapa II fructificación del porotón.</i> | 40 |
| Tabla 13 <i>Análisis de aminoácidos de las partes del fruto en la etapa II fructificación del porotón</i> | 41 |
| Tabla 14 <i>Valores de digestibilidad in situ, de la materia seca de la vaina.....</i> | 43 |

| | |
|--|----|
| Tabla 15 <i>Valores de digestibilidad in situ, de la materia seca de la semilla</i> | 43 |
| Tabla 16 <i>Degradabilidad in situ de la materia seca-vaina del porotón (Erythrina edulis)</i> | 44 |
| Tabla 17 <i>Degradabilidad in situ de la materia seca-semilla del porotón (Erythrina edulis)</i> | 45 |
| Tabla 18 <i>Degradabilidad in situ de la Proteína - vaina del porotón (Erythrina edulis)</i> | 46 |
| Tabla 19 <i>Degradabilidad in situ de la Proteína – semilla del porotón (Erythrina edulis)</i> | 48 |
| Tabla 20 <i>Producción de frutos (vainas).</i> | 49 |
| Tabla 21 <i>Parámetros estadísticos referentes a media, máximo, mínimo del análisis proximal del porotón en las dos fases productivas</i> | 50 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1</i> Etapas productivas del porotón (<i>Erythrina edulis</i>) | 10 |
| <i>Figura 2</i> Mapa de ubicación del cantón Rumiñahui..... | 22 |
| <i>Figura 3</i> Digestibilidad in situ de la materia seca del porotón..... | 51 |
| <i>Figura 4</i> Digestibilidad in situ de proteína de las II fases de producción del | 52 |

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar el valor nutricional del porotón *erythrina edulis* y describir su productividad en dos etapas fenológicas; etapa I (producción de follaje) y etapa II (producción de frutos). El estudio se realizó en el cantón Rumiñahui, con una altitud de 2500 msnm hasta 3100 msnm, con temperaturas que oscilan entre 16 y 25 °C. Los análisis bromatológicos demostraron que: las hojas tienen un nivel nutricional óptimo especialmente en proteína con el 27,5 %, y una degradabilidad baja de la materia seca 53,40% y de la proteína de 53,38%; lo cual, difiere con las vainas y semillas que tiene un nivel de proteína del 20,29% y 22,70%, y una degradabilidad de la materia seca del 86,73 y 90,09% y de la proteína del 81,95% y 64,32% respectivamente, estas diferencias se deben a la composición química proximal, y sobre todo a las fracciones de fibra. La producción de la materia seca del porotón de las hojas, semillas y vainas se estima para el sector en; 40,8 t/ha/año, 10,61 t/ha/año, y 2,88 t/ha/año respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos podemos decir que la (*Erythrina edulis*), es un árbol multipropósito de la sierra ecuatoriana, que aportara en la alimentación animal en sus dos etapas fenológicas de producción.

PALABRAS CLAVES:

- **CARACTERIZACIÓN**
- **POROTÓN**
- **ANÁLISIS QUÍMICO**
- **DIGESTIBILIDAD**

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to characterize the nutritional value of the poroton (*Erythrina edulis*) and describe the productivity in two phenological stages: First stage (foliage production) and second stage (fruit production). The present investigation was made in The Canton Rumiñahui, it has an altitude of 2500 to 3100 meters over the sea level with temperatures that range between 16 to 25 celsius. The bromatological analyzes showed that leaves have an optimal nutritional level specially in the protein with 27,5 %, and a low degradability of the dry matter 53,43% and a degradability of protein of 53,38% which differs with the pods and seeds that have a level of protein of 20, 29% to 22,70%, with a degradability of the dry matter of the 86,73 to 90,09% and degradability of the protein of 81,95% and 64,32% respectively, these differences are due to proximal chemical composition and above all fiber fractions. The dry matter production of the poroton among leaves, seeds and pods is at 51 tons per hectare and per year, and 2,31 tons per hectare and per year respectively. According to the obtained results we can say that the (*Erythrina edulis*) is a multi-purpose tree in the Ecuadorian Highland Region that will contribute for the animal feed in its two phenological stages of production.

KEYWORDS:

- **CHARACTERIZATION**
- **POROTON**
- **CHEMICAL ANALYSIS**
- **DIGESTIBILITY**

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

Las zonas tropicales y subtropicales en el mundo cuentan con una alta diversidad de especies arbóreas; las cuales, tienen excelentes características como especies arbustivas forrajeras. Sin embargo, a pesar de esta riqueza, los modelos de alimentación animal se han basado principalmente en el pastoreo y un mínimo uso de especies vegetales arbóreas. Esto cobra mayor vigencia en el caso de árboles y arbustos, una revisión de los sistemas alimenticios utilizados en climas cálidos sugiere que la sostenibilidad del sistema depende en parte de hacer uso de los diferentes recursos biológicos locales (Roggero, Bellon, & Rosales, 1996), este concepto hace un llamado a un uso más amplio de la diversidad de especies arbóreas como proveedores de forraje para la alimentación animal. En áreas de clima tropical y frío, para lo cual; se deben incorporar alternativas de alimentación y protección de árboles con potencial alimenticio para los animales y humanos, que son susceptibles a desaparecer debido al desconocimiento y desvalorización de sus cualidades, ante tal circunstancia, se deben realizar programas y estrategias para su producción y aprovechamiento en la alimentación. Es por ello que surge la necesidad imperiosa de estudiar y recomendar especies prometedoras para entornos agro-ecológicos específicos y sistemas de producción pecuaria, tanto en función de productividad de biomasa como por su valor nutritivo.

(Blair, 1990), documentó una gran diversidad de árboles y arbustos forrajeros en una lista recopilada de varias fuentes, de árboles y arbustos de común valor potencial como forrajes para animales, este compendio incluyó 270 diferentes especies de cerca de 74 géneros; (Kass, 1994) reportó cerca de 112 especies del género *Erythrina*.

En Ecuador se han realizado estudios preliminares en ciertas Universidades del país, como es el caso de la propagación del Porotón utilizando tres procedencias, tres diámetros de estacas con y sin hormonas realizado por García (2008) lo que indica un interés creciente en los arbustos con cualidades forrajeras, por tal motivo, con esta investigación se pretende realizar y difundir el estudio nutricional y el potencial productivo del porotón, para incorporarlo en estudios posteriores de alimentación animal.

1.2 Justificación

La especie *Erythrina edulis* a ser estudiada, es una de las aproximadamente 108 especies de leguminosas fabáceas pertenecientes al género *Erythrina* conocidas. De las cuales, específicamente la *Erythrina edulis* o porotón, cultivada en forma nativa y en pequeña escala por desconocimiento de sus valor nutricional en el Cantón Rumiñahui, se encuentra prácticamente en vías de extinción, ya sea porque la población rural tiene desconocimiento del potencial nutricional y productivo de la misma o por falta de incentivo hacia su cultivo, además, considerando que, es una especie nativa de nuestra serranía, dicha planta no tiene problemas de adaptación, por lo que hace falta entrar en un proceso de difusión de sus propiedades, puesto que al ser el porotón una leguminosa multipropósito con un amplio espectro de usos, que van desde la alimentación humana y animal debido al uso de su semilla y forraje, hasta la recuperación de suelos degradados, dada su capacidad de fijar nitrógeno en el suelo, pasando por la formación de cercas vivas y las asociaciones con otras especies, merece especial atención en su uso y aprovechamiento en general.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Caracterizar el valor nutricional del porotón (*Erythrina edulis*) en dos etapas fenológicas y su potencial productivo, mediante determinaciones analíticas y pruebas de digestibilidad, en bovinos fistulados, para ser utilizado en nutrición animal como fuente alternativa en la alimentación animal.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la *Erythrina edulis* y determinar su valor nutricional en dos etapas fenológicas en el cantón Rumiñahui.
- Determinar el valor de digestibilidad de la materia seca y de la proteína en bovinos fistulados.
- Estimar el potencial de producción de *Erythrina edulis* en las dos etapas fenológicas.

1.4 Hipótesis

H0: La *Erythrina edulis* posee características nutricionales aptas para alimentación animal.

H1: La *Erythrina edulis* no posee características nutricionales aptas para alimentación animal.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Marco de Referencia (antecedentes de la investigación)

2.1.1 Características de la *Erythrina edulis*.

Conocida también como chachafruto, porotón, balú (Acero, 1990), posee espinas o agujones cortos y de base ancha en los tallos principal y secundario. Tiene hojas alternas pinnadas con tres folíolos, el terminal más grande que los laterales, caducas en las ramas en floración.

Flores: Son algo pulverulentas, típicamente papilionáceas, con pedúnculo floral que mide aproximadamente de 3 a 18 mm de largo. El cáliz es bilabiado, delgado, de aproximadamente 1 cm de largo y de 8 a 10 mm de ancho. Las flores presentan un estandarte ancho y elíptico de 2 a 3 cm de largo con alas muy pequeñas, miden de 3 a 6 mm de largo y se encuentran ocultas en el cáliz; la quilia es frecuentemente lobado. Todas las especies (menos una de la cual son verdes) son rojas o anaranjadas.

Este árbol florece en racimos de color rojo oscuro y rojo anaranjado, inflorescencias con 2 o 3 racimos, de 30 - 45 centímetros de longitud y cada racimo tiene un promedio de 190 flores. Aproximadamente entre el 5 y 10 % de las flores fructifica en racimos de legumbres o vainas de forma cilíndrica, que van desde los 8 hasta unos 50 centímetros de largo, por 3 o 4 centímetros de forma segmentada o de nudos. La transformación de flor a legumbre ocurre en aproximadamente 65 días. La polinización de porotón ocurre por medio de abejas, avispa y algunas aves, aunque no hay mucha literatura al respecto, el medio de propagación es por semillas, por estacas y por injerto. (Martel, 1988)

Tamaño: Es un árbol de hasta 10 m de altura, armados con aguijones pequeños y ramas pronunciadas. (Martel, 1988)

Hojas: Presenta hojas coriáceas, envés de la hoja glabra; pinnadas con la vena principal o raquis pulverulento. Los folíolos son enteros generalmente con estipulas de formas ovales, elípticas, acuminadas en ápice, comúnmente miden de 10 a 20 cm de largo y de 5 a 15 cm de ancho, con pedicelo de 3 a 8 mm de largo. (Martel, 1988)

Fruto: Es una legumbre coriácea, ancha, oblonga lineal moderadamente comprimida entre la inmensa semilla tierna, irregularmente dehiscente, de 15 a 25 cm de longitud y por lo general contiene seis semillas en cada vaina, con estrías entre las semillas. (Martel, 1988)

Ecología:

- El porotón, está confinado a altitudes de 1000 a 3000 m.s.n.m. aunque se encuentra a elevaciones más bajas. (Krukoff & Barneby, 1974)

- Borja & Lasso (1990) señalan que es una especie del bosque húmedo Tropical y bosque muy húmedo Montano Bajo.

- Generalmente se la encuentra al borde de chacras o huertos en un número reducido, asociado con cultivos agrícolas o pastos, prefiere áreas con riego en donde la producción de fruto se incrementa. (Martel, 1988)

Distribución:

El género *Erythrina* cuenta con 108 especies de árboles, arbustos y algunas hierbas; *E. edulis* se encuentra en Venezuela, Colombia, Perú, Bolivia, Panamá, y Ecuador (Krukoff & Barneby, 1974), esta especie en el Ecuador se encuentra en las siguientes provincias: Esmeraldas, Guayas, Pichincha, Tungurahua, Los Ríos, Bolívar, Imbabura, Chimborazo, Cañar, Azuay, Loja, El Oro, Napo y Pastaza.

Existe otra especie muy parecida, la *Erythrina falcata*, cuya principal diferencia está en las semillas; las cuales son muy pequeñas y no comestibles, por ser amargas. Esta especie es conocida con el nombre de cáñaro o sacha guato, es utilizado en cercas vivas, leña y para obtener forraje. (Lojan.I, 1992)

Suelos:

El porotón prospera bien en suelos con textura arcillosa, como aquellos suelos sueltos y francos, profundos, con un rango de pH de 6.5 a 7.5. (Acero, 1990)

2.1.2 Características Silviculturales

Fenología:

En cuanto a la floración se ha notado variabilidad en las diferentes zonas donde se desarrolla. Observaciones preliminares han permitido definir hasta dos periodos de floración por año (Rodriguez, 1985). Desde el inicio de la floración, hasta la madurez fisiológica del fruto, transcurren aproximadamente de 60 a 65 días. (Acero Duarte, 2002)

Características de la semilla:

Son grandes de color marrón oscuro de forma elipsoidal, de tegumento arrugado cuando seca, de 3 a 5 mm de largo, 1.8 a 2.8 mm de ancho. La semilla es comestible cuando está fresca.

El número de semillas frescas es de 146 por kilo y secas en un kilo se encuentra un promedio de 175 semillas.

Germinación

La germinación se inicia después de los 11 a 25 días de sembradas las semillas, algunas tardan hasta 43 días en emerger, dependiendo de las condiciones climáticas. Con la aparición de la raíz, después de una a dos semanas aparecen las primeras hojas. Aparte del riego normal requiere de

sombra que luego se irá regulando de acuerdo a su crecimiento y desarrollo foliar. En climas fríos tarda más su germinación. (Ocaña, 1994)

Repique

En caso de siembra en platabandas, el repique se lo hace a los 30 días después de sembradas, se usa un sustrato de cinco partes de tierra negra, tres de estiércol descompuesto y 1 de pomina, se debe colocarlos si es posible bajo sombra. (Ocaña, 1994)

Propagación por estacas

La propagación por estacas se la realiza al trasplantar en forma directa al terreno definitivo, las estacas frescas y de dimensiones variables, siendo las más frecuentes de 3 a 18 cm de diámetro y de 0.40 a 2.25 cm de largo (Martel, 1988). La experiencia ha demostrado que a mayor dimensión de la estaca menor es el daño ocasionado por los animales y el brotamiento es más rápido.

Para la propagación en fundas, se recomienda utilizar estacas de 15 a 30 cm de largo y de 2 a 3 cm de diámetro. Deben permanecer bajo sombra y protegidas del viento para asegurar su prendimiento. (Martel, 1988)

Los agricultores suelen propagar la especie utilizando estacas de 40 a 45 cm a lo largo del sitio definitivo, sea para fajas en contorno, cortinas rompe vientos, linderos, en sistemas silvopastoriles; por ser de fácil propagación presenta cualidades positivas como: estructura de copa densa, buena capacidad de rebrote, productora de hojas para forraje, frutos comestibles y postes vivos (Carlson, 1990) Las estacas de color gris que tienden a blanquecinos, o verdes tendientes a marrón no son adecuadas. La superficie debe ser rugosa sin grietas. Cuando las estacas son recolectadas de árboles viejos el prendimiento es menor de 45 a 55%, y cuando son de 3 a 5 años consiguen un prendimiento del 80 a 99%. Normalmente de un árbol se consigue 25 a 30 estacas, al realizar la

poda de formación. Se recomienda que una vez plantadas las estacas no se las mueva. (Ocaña, 1994)

El espaciamiento más recomendable para la plantación es de 5 m entre plantas en una línea para fines de producción de frutos, para cercas vivas se plantan de 1.5 m a 3 m de distancia, crecen 50 cm por año. (Lojan.I, 1992)

Plagas

Las plantas en viveros son atacadas por una larva barrenadora que penetra en la yema terminal y la planta reacciona bifurcándose, pero no muere. En el campo, el ataque lo hace un minador de la hoja que puede defoliar la planta, hay otra plaga del orden lepidóptero *Teresita meticulousalis* que ataca a las semillas. (Rodríguez, 1985)

Manejo

Este árbol es caducifolio y para realizar las podas es necesario tomar en cuenta el propósito de su siembra, debido a que la realización de podas drásticas disminuiría la producción de frutos. (Barrera & Mejía, 1998)

Para entechados de viviendas campesinas se utiliza los tocones, se cortan los árboles a 30 cm del suelo para luego obtener rebrotes, por medio de podas se obtiene forraje para alimentación de los animales, haciéndose dos podas por año, se recomienda un forraje reposado y fresco (Lojan.I, 1992). Se puede obtener 120 kg de hojas y ramas por árbol. Por año suministrando esta alimentación en el ganado la producción lechera en cinco litros diarios (Rodríguez, 1985)

Los árboles producen frutos dos veces al año y se los cosecha cuando alcanzan su madurez fisiológica. La primera en los meses de junio y julio y la segunda de noviembre a diciembre con un promedio de 245 kg por año. (Peralta & Velasco, 1985)

Rendimientos:

De acuerdo a Acero (1990) se obtiene la siguiente información:

| | |
|---|----------|
| Producción de fruto por árbol/año: | 170Kg |
| Porcentaje de semillas respecto a fruto: | 54% |
| Porcentaje de vaina respecto al fruto: | 46% |
| Rendimiento de fruto fresco a harina seca: | 16% |
| Contenido de humedad de la semilla: | 82% |
| Contenido de humedad de la cáscara de la vaina: | 90% |
| Iniciación de producción de fruto: | 27 meses |
| Arboles por hectárea en cultivo asociado: | 204 |
| Arboles por hectárea en cultivo homogéneo: | 400 |
| Arboles por kilómetro de cerca viva: | 500 |

Podas:

Se recomienda realizar podas de la siguiente forma:

Primera: a los 12 meses de la siembra

Segunda: a los 6 meses del primer corte

Tercera: a los 6 meses del segundo corte

En adelante a los 4 meses. (Acero, 1990)

2.1.3 Clasificación taxonómica.

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Género: *Erythrina*

Especie: *edulis*

(*Triana ex micheli* 1892)



Figura 1. Etapas productivas del porotón (*Erythrina edulis*)

2.1.4 Usos del porotón.

La utilidad de este árbol radica principalmente como alimento humano y animal. A través de un análisis bromatológico se ha determinado que el porotón tiene una composición diferente en sus hojas, vainas y semillas.

Para el consumo humano, las semillas se usan en múltiples recetas como productos de panadería, repostería, encurtidos, productos fermentados, productos para uso industrial, entre otros. Además, a través del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), se han fabricado 25 tipos de harinas de leguminosas locales, de las cuales 18 son derivadas del porotón, en todo tipo de combinaciones posibles como con follaje, concha, semillas con y sin cutícula, cocinados y sin cocinar, y a las cuales se les han hecho los análisis bromatológicos respectivos.

También se disponen de varias fórmulas para elaborar: alimento concentrado para truchas (peces de la subfamilia Salmoninae, dentro de la familia de los salmónidos) y otras especies de peces

(*Oncorhynchus mykiss*), como suplemento en la alimentación de trucha arco iris (Hernández, et al., 2018). Por otro lado, las hojas y ramas tiernas, pueden ser proporcionadas como alimento forrajero a las cabras, caballos, cerdos y conejos. Las hojas son ricas en potasio, pero pobres en calcio. La semilla cocida puede reemplazar en un 60 % al alimento concentrado para pollos, ganado vacuno, cerdos, ovejas, cuyes y peces. La madera del árbol se utiliza como leña y para la construcción.

Desde el punto de vista terapéutico, sirve para prevenir la osteoporosis cuando se consume regularmente, elimina toxinas del organismo, sirve como regenerador celular, alivia o cura la cistitis y se usa en tratamiento de cáncer. En áreas rurales de Perú, toman el cocimiento de las semillas para curar la cistitis, y el agua por infusión de las flores la utilizan para contrarrestar la irritación de los ojos. En medicina popular venezolana, las semillas se usan como diuréticas. Un análisis comparativo del chachafruto con otros productos, permite determinar que el porotón, es la leguminosa con el mayor rendimiento de proteínas utilizables por hectárea. Ciertos estudios de impacto ambiental consideran que la siembra de porotón contribuye en la conservación del medio ambiente y en especial de cuencas hidrográficas.

Erythrina edulis, ha sido objeto de ciertas investigaciones en materia de seguridad alimentaria. En la Universidad Nacional de Colombia (sede Palmira), se llevó a cabo “El programa para el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de Ladera” en 1998. En tema de reproducción y usos del porotón también se han realizado esfuerzos para estudiar un adecuado uso y manejo del porotón. (Ocaña, 1994). En la zona de Palmira, Valle del Cauca de Colombia, se ha llevado a cabo un programa de reforestación. Un aporte importante a la divulgación del conocimiento sobre el chachafruto como alternativa alimentaria, lo constituye el libro “Chachafruto o Balú, cultivo y aprovechamiento”.

En lo que respecta a la investigación experimental, ésta ha sido muy escasa. Algunas investigaciones que se pueden resaltar en este aspecto son los trabajos realizados en la Universidad Nacional de Colombia, con sede en Bogotá, donde se estudia una lectina de las semillas de porotón, y al chachafruto desde un punto de vista sensorial, y se determinó la mejor aceptación en proporciones de harinas en pasteles, con respecto a su sabor, textura, color y olor. Por otro lado, un estudio de las propiedades funcionales de la harina de chachafruto (capacidad de retención de agua, índices de absorción de agua, índice de solubilidad en agua, actividad emulsificante), determinó que puede ser usado como materia prima para la elaboración de extensores cárnicos.

Más allá de su utilidad para el ser humano, es un árbol con alto valor ecológico ya que proporciona refugio a aves, insectos y animales vertebrados, sirve como alimento a vertebrados e invertebrados, incluyendo masticadores, chupadores y polinizadores. Sus virtudes se extienden a los suelos donde aporta gran cantidad de material orgánico, debido a que sus hojas se caen periódicamente (defoliación), lo que es excelente para devolver al suelo los nutrientes extraídos. La simbiosis de *Erythrina* con bacterias del género *Rhizobium* (formando nódulos), permite a la planta la fijación del nitrógeno atmosférico, lo cual significa una adición natural de este elemento al suelo donde crece, mejorando la fertilidad y calidad del terreno.

Los campesinos andinos poseen diversas técnicas agrícolas empleadas desde tiempos antiguos. Para la propagación del portón se emplean la siembra por semilla, colocando el dorso hacia arriba y el ombligo hacia abajo, la siembra debe ser superficial quedando la semilla casi a la vista-, se recomienda realizarla al inicio de la temporada lluviosa si el terreno carece de riego; cuando la semilla fresca es fresca la siembra debe realizarse inmediatamente de ser colectada a fin de aprovechar la propia humedad de la semilla (Ocaña, 1994), si se realiza por estaca esta debe tener de 40 a 45 cm de largo y que sea de árboles jóvenes (Ocaña, 1994). En la siembra la estaca se debe

enterrar unos 20 centímetros, plantándose a más tardar a los 4 días siguientes a su colección (Acero Duarte, 2002)

2.1.5 Calidad y Valor Nutritivo del Pasto

La calidad del pasto depende del valor nutritivo del mismo (34%) y del consumo voluntario (66%). El valor nutritivo de los pastos, de acuerdo con el análisis, se calcula por el tanto por ciento de agua y materia seca. La materia seca contiene los principios nutritivos requeridos por el organismo animal para su metabolismo: hidratos de carbono, grasas y proteínas (material orgánico) y, cenizas o minerales (material inorgánico). (León , 2003)

El valor nutritivo de los pastos, depende de dos factores: composición química y digestibilidad. La importancia de estos factores varía en función del tipo de planta, las condiciones climáticas, la fertilidad del suelo, el ciclo vegetativo, etc. El problema es que no todos los forrajes tienen la misma calidad respecto a la respuesta animal, es por ello, que un análisis de pasto es de mucha utilidad para alimentar bien al animal. (León , 2003)

2.1.6 Materia seca.

Es la determinación más común que se realiza en los laboratorios de análisis de alimentos, pero no por ello la menos importante; por el contrario, es una de las más relevantes, ya que es la que permite expresar y comparar la composición de nutrientes de un alimento. Su determinación consiste en secar una muestra en una estufa con circulación de aire, hasta que toda el agua se haya evaporado. Para no alterar la composición química y las determinaciones químico-biológicas, se debe secar a 60° C hasta peso constante, lo que sucede generalmente a las 48 horas. (Guaita, 2015)

2.1.7 Humedad

El agua es un nutriente muy importante, pero muchas veces olvidado. El agua constituye el 74% del peso de un ternero recién nacido y el 59% de una vaca adulta. El agua es el medio en el cual

ocurren las reacciones básicas que controlan la vida. Puede jugar varios papeles dentro del cuerpo como: transportar los nutrientes, regular la temperatura del cuerpo; además, es un componente de muchas reacciones químicas. Hay tres fuentes de agua para un animal: el agua asociada con los alimentos; el agua del bebedero; y, el agua metabólica procedente de las reacciones biológicas dentro del cuerpo. (Pirela, 2005)

Según (Pirela, 2005) la mayoría de los alimentos contienen una proporción comprendida entre el 50 y el 95 % de agua, esta puede estar presente como:

- Libre, que se libera con facilidad.
- Ligada, como agua de cristalización, unida a las proteínas, a los azúcares o adsorbida sobre los coloides.

2.1.8 Ceniza

Las cenizas son un complejo de materiales inorgánicos que fueron absorbidos del suelo por la planta y, después, asimilados en el proceso de fotosíntesis, su contenido en la planta da una idea clara de cómo deben fertilizarse los pastos y, por otra parte, de cuál es el aporte al metabolismo del animal, que consume el forraje. (León , 2003)

Las cenizas se obtienen al someter el alimento a un proceso de incineración, mediante el cual se destruye la materia orgánica que están constituidas por óxidos o sales (carbonatos, fosfatos, sulfatos, etc.), de los diferentes elementos químicos. (Bavera, 2000)

2.1.9 Grasa

Compuestos orgánicos insolubles en agua, que pueden ser extraídos de las células y tejidos por solventes como el éter, benceno y cloroformo. En líneas generales, proveen energía y otros nutrientes y su disponibilidad para el animal es alta, aunque incluye proporciones variables de otros

compuestos con poca importancia nutricional. Buena parte del material que es analizado típicamente como grasa en los pastos es de hecho, algo distinto a la grasa verdadera. (Pirela, 2005)

2.1.10 Fibra cruda.

La fibra es la pared celular de las plantas. Es el componente que les da estructura y rigidez a las mismas formando su "esqueleto", del mismo modo en que los huesos conforman la estructura esquelética de un animal. Entre sus numerosas funciones podemos destacar su estimulación sobre la rumia y en consecuencia sobre la secreción de saliva, y su aporte de celulosa y hemicelulosa digeribles que al ser degradadas por los microorganismos del rumen aportan los ácidos precursores de la grasa de la leche. (Gorosito, 1997)

2.1.11 Definición de la fibra.

Desde el punto de vista químico, la fibra es un agregado de componentes que no constituyen una entidad propia y que se compone de un entramado tridimensional de hemicelulosa, celulosa y lignina, frecuentemente se le asocian minerales y otros componentes. El concepto de fibra ha evolucionado a través de los años. En un principio hacía referencia a la porción de los alimentos sin valor nutritivo y se usó para describir a los componentes indigestibles que constituyen la pared celular de la planta. (Van Soest, 1994)

2.1.12 Lignina.

La lignina es un polímero sin una estructura definida, que contiene alcoholes (hydroxycinnamyl) y puede contener además ácidos fenólicos y compuestos no fenólicos. La lignina es frecuentemente mencionada como limitante de la digestión de la fibra, y a veces de la proteína. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que el contenido de lignina per se, no sería responsable de la disminución de la digestión de la fibra, sino que la acción de la lignina consistiría en reducir el acceso de las enzimas hidrolíticas a la fibra digerible (Jung, 1995). Existen diversos métodos para

estimar los contenidos de lignina de los alimentos, siendo el más conocido el de la digestión en ácido sulfúrico concentrado (72%), este método ha sido criticado por considerar que sobreestima la concentración de lignina de los forrajes, debido a que la proteína co-precipita con la lignina. El valor de conocer la concentración de lignina de un alimento dado, reside en su relación aparente con la digestibilidad o la indigestibilidad de ese alimento. (Cherney, 2000) .

2.1.13 Hemicelulosa.

Las hemicelulosas, son los polisacáridos de la pared celular, solubles en álcalis, que están estrechamente relacionados con la celulosa. El nombre de hemicelulosas puede dar lugar a confusión, ya que parece indicar, erróneamente, que el destino de estas sustancias es su conversión en celulosa. Estructuralmente, las hemicelulosas están compuestas, principalmente, por moléculas de D-glucosas, D- galactosa, D- manosa, D- xilosa y L-arabinosa, en distintas combinaciones, y con diversos enlaces glucosídicos. También pueden contener ácidos urónicos.

Las hemicelulosas de las gramíneas contienen una cadena principal de xilano, constituida por moléculas de xilosa con enlaces beta-(1:4), con cadenas laterales que incluyen ácido metilglucurónico y, frecuentemente, glucosa, galactosa y arabinosa. (P.Mc Donal 2011)

2.1.14 Proteína Bruta (PB)

Un contenido bajo de proteínas produce una disminución del consumo de forrajes. El nivel crítico de la proteína en los forrajes tropicales, por debajo del cual limita el consumo, está establecido en 7% (base seca). Este nivel está considerado como el mínimo para garantizar un balance de nitrógeno positivo; este valor es superado fácilmente bajo condiciones adecuadas de humedad y manejo apropiado (fertilización, estado de madurez, presión de pastoreo). De ahí que la valoración cuantitativa del contenido proteico del forraje sea la base para conocer si satisface los requerimientos del rumiante. La proteína puede dividirse en dos componentes: amoníaco para el

crecimiento de las bacterias en el interior del rumen y aminoácidos, que serán absorbidos en el intestino delgado. (Pirela, 2005)

El nitrógeno total o proteico se determina por el método de Kjeldahl, el cual, consiste en convertir todo el N orgánico en N amoniacal, destilar el amoniaco y valorarlo con una disolución acida contrastada. El porcentaje de proteína se calcula multiplicado el porcentaje de N obtenido por el factor proteico de 0,014. (Bavera, 2000)

2.1.15 Proteína cruda.

Se la define como el contenido de nitrógeno (N) de una muestra, determinado por Kjeldahl u otro método reconocidamente confiable, multiplicado por un factor utilizado para la mayoría de los forrajes, de 6,25, Se aplica este factor porque las proteínas tienen, en promedio, 16% de nitrógeno (N), Aunque existen valores específicos para cada proteína, la necesidad de estandarización hace que se utilice este valor. La proteína bruta incluye todas las formas de N: proteico más no proteico. En el laboratorio de INTA Balcarce, se utiliza un analizador automático, que basado en la técnica de Dumas, incinera la muestra y lee el N total de la misma. (Guaita, 2015)

2.1.16 Fibra detergente neutra (FDN).

Es la porción de la muestra de alimento que es insoluble en un detergente neutro (método de los detergentes (Van Soest, 1994). Está básicamente compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice, y se la denomina pared celular. La misma se correlaciona inversamente con el consumo voluntario de materia seca. (Bavera, 2000)

Cuantifica los componentes de la pared celular vegetal: celulosa, hemicelulosa y lignina. La muestra de un alimento es tratada con detergente neutro y éste solubiliza el contenido celular y la pectina. El residuo obtenido representa la pared celular. Debido a que la FDN representa la matriz fibrosa insoluble total, está relacionada con el llenado, el pasaje y el consumo, y por lo tanto su

conocimiento es muy necesario en el balance de raciones. (Guaita, 2015)

2.1.17 Determinación de la fibra.

Los sistemas que se han venido utilizando para determinar la fibra presente en los productos utilizados para alimentación de animales han sido el análisis proximal (método Weende) y el método de los detergentes. (Colombatto, 2000)

El pobre estado del análisis de alimentos para animales en los años 60 (método Weende), llevó a (Van Soest, 1994), a desarrollar el sistema detergente de análisis de alimentos, en el que se reemplaza el análisis de fibra cruda (CF) y extracto libre de nitrógeno por fibra detergente ácida (FDA) y fibra detergente neutra (FDN). (Segura, 2007)

La determinación de la FDN corresponde a la fibra que queda después de la digestión a la que se somete una muestra en una solución de sulfato de lauril sódico y ácido etilen-di-amino-tetraacético (EDTA). El contenido celular se disuelve y queda un residuo que contiene los componentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina). (Colombatto, 2000)

El término FDN no debe usarse como sinónimo de pared celular puesto que a pesar de que en algunos casos se encuentran en concentraciones similares, son productos diferentes. Así, por ejemplo, en las leguminosas la concentración de FDN es mucho menor, ya que las pectinas de la pared celular son solubilizadas por el detergente neutro y no aparecen en el residuo. (Colombatto, 2000)

La FDN, es la que mejor se correlaciona con el consumo voluntario y debido a esto, es la fracción más importante de las fracciones fibrosas. (Colombatto, 2000)

2.1.18 Fibra al Detergente Ácido (FDA)

Es la porción de la muestra de alimento que es insoluble en un detergente ácido (método de los detergentes de Van Soest), está básicamente compuesta por celulosa, lignina y sílice. La

importancia de la misma radica en que está inversamente correlacionada con la digestibilidad del forraje. (Bavera, 2000)

2.1.19 Digestibilidad

El tema de la digestibilidad es tan importante, por estar ligado con el nivel de consumo de los pastos, es así que Bernal J., indica que se ha encontrado que un aumento de 10% en la digestibilidad puede aumentar hasta en 100% el consumo del forraje provocando el aumento de peso de los animales y que la baja calidad de las praderas disminuye el rendimiento de los animales por un triple efecto; baja concentración de nutrientes, menor digestibilidad de los mismos y disminución considerable del consumo del forraje. Estas observaciones sugieren que las diferencias entre estado de madurez pueden ser mucho más importantes que las diferencias entre especies forrajeras. Un pasto utilizado en el momento oportuno, aunque no sea de muy alta calidad, puede dar mejores resultados que un pasto de mejor calidad pero que se encuentre demasiado maduro.

La digestibilidad también depende de la estructura de las hojas. En las leguminosas las nervaduras son reticuladas, tienen menor contenido de paredes celulares, lo que permite una destrucción más rápida a nivel del rumen, comparado con las nervaduras lineales-paralelas de las gramíneas las que toman mayor tiempo en ser digeridas y por tanto en ser vaciadas del rumen.

El clima también influye en la digestibilidad, así las altas temperaturas tropicales favorecen la formación de hidratos de carbono estructurales y por ello, los pastos tropicales tienen más fibra y menor digestibilidad.

2.1.20 Digestibilidad in vitro.

Debido a que en los estudios in vivo de los alimentos sólo pueden ser evaluados en raciones totales, y al hecho de que, tales estudios requieren considerables recursos y son difíciles de estandarizar, en los últimos años, varias técnicas in situ e in vitro han sido desarrolladas. Dentro de

las técnicas *in vitro*, la de uso más frecuente es la descrita por Tilley J (1963). La técnica descrita fue modificada por Goering H. y Van Soest (1994) para estimar la digestibilidad verdadera de la materia seca, la cual, consiste en la utilización de enzimas en lugar de microorganismos, cuya principal ventaja es que no requiere animales como donadores de inóculo.

La técnica de la bolsa de nylon proporciona estimativas de la tasa y la dinámica de la degradación de los constituyentes del alimento; sin embargo, es una aproximación laboriosa, costosa e invasiva, en la que solamente un pequeño número de muestras pueden ser evaluadas al mismo tiempo. (Mehrez & Orskov, 1977)

Otra variable que se puede determinar a través del método *in-vitro* es la cinética de degradación de nutrientes a través del volumen de gas producido durante el proceso fermentativo (Theodorou, 1994). Una de las ventajas de este procedimiento es que el curso de la fermentación y el papel de los componentes solubles del sustrato puede ser cuantificado. (Pell A., 1997)

2.1.21 Digestibilidad *in situ*.

La técnica de digestibilidad *in-situ* consiste en la deshidratación de los ingredientes, molienda a una medida de 1 mm y homogenizar la mezcla, seguido de un análisis proximal descrito por la Asociación de las Comunidades Analíticas, como sigue, se coloca 10 gramos de muestra en cada bolsa de nylon, y se realiza una desecación de las bolsas de nylon a 135°C por 7 horas en la estufa, con 2 repeticiones por hora de incubación, es decir; a las 24 y 48 horas (Veray & Aranguid, 2014), Se coloca las bolsas en la región ventral dentro del rumen de un bovino fistulado para que queden expuestas a las condiciones, luego de sujetar con fuerza las bolsas a unos 50 cm entre la cánula o fistula y la bolsa, se debe recolectar en formas secuenciales y enumeradas para ser extraídas de la misma forma de acuerdo al tiempo requerido de incubación, luego de lavar con agua limpia para

retirar restos del rumen se procederá a la desecación en la estufa las bolsas hasta eliminar toda la humedad, para finalmente someterlas a un análisis bromatológico.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del lugar de investigación

La presente investigación se desarrolló en la zona baja del valle de los Chillos, en la parroquia Cotogchoa, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha.

3.1.1 Ubicación Ecológica

Temperatura media anual: 22,9°C

Precipitación media anual: 1200 mm/año

Humedad relativa: 78 %

Piso altitudinal: 2200 msnm

Fuente: Estación meteorológica Santa Catalina – INAMHI

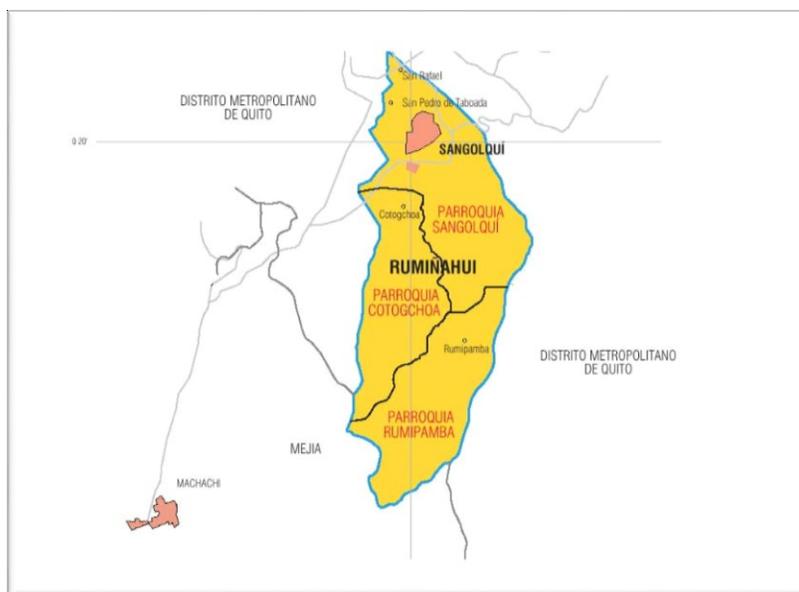


Figura 2. Mapa de ubicación del cantón Rumiñahui

3.1.2 Ubicación y límites

El Cantón Rumiñahui se ubica al sureste de la Provincia de Pichincha, a veinte minutos de Quito; se caracteriza por un clima agradable y su temperatura promedio es de 17 °C. Su extensión es de 134.15 km.

3.1.2.1 Límites

Al norte: Distrito Metropolitano de Quito (Conocoto, El Tingo)

Al Sur: Distrito Metropolitano de Quito (cantón Mejía)

Al Este: Distrito Metropolitano de Quito (Alangasí y Pintag)

Al Oeste: Distrito Metropolitano de Quito (Amaguaña y Conocoto)

(GADMUR, 2013)

3.1.3 Clima

El clima del Cantón Rumiñahui es muy agradable, oscila en un promedio de 16 grados y a veces caluroso, en días soleados llegando a marcar los 23 grados de temperatura; en las noches baja hasta los 8 grados, siendo muy frío. El clima del Cantón Rumiñahui es uno de los principales recursos naturales de esta zona.

Por otra parte, la precipitación anual es de 1000mm. La mayor "concentración" de lluvia se produce entre los meses de abril y octubre. Esto hace que la zona sea muy fértil y el paisaje se conserve siempre verde.

El clima del Cantón Rumiñahui es temperado y muy agradable, toda esta zona está sujeta a dos estaciones, verano e invierno. El verano se presenta en junio a septiembre y se caracteriza por una

sequía algo prolongada y por fuertes vientos; los meses de mayor lluvia se presentan de diciembre hasta abril. La estación seca aumenta la temperatura y la lluviosa aumenta la humedad.

3.1.4 Flora y fauna

La flora del Cantón Rumiñahui, está constituida por especies características del callejón interandino, como son: los cultivos de maíz, arveja, hortalizas, árboles frutales como: tomate, aguacate, y una gran variedad de cítricos, etc. En terrenos más altos se cultiva trigo, cebada, choclos, papas, habas, mellocos, ocas, etc.

La fauna esta presentada por especies como; el ganado vacuno, bovino, porcino, caballar, mular, caprino y asnal. Además de una infinidad de aves voladoras como: tórtola, mirlo, gallinazo negro, etc.

3.2 Materiales y equipos

a. De campo

- Cinta métrica
- GPS
- Cámara fotográfica
- Balanza

b. De laboratorio

- Estufa
- Balanza analítica
- Fundas Nylon para digestibilidad
- Bovinos fistulados

3.3 Metodología

3.3.1 Toma de muestra.

Se tomó varios lotes de muestras representativas y al azar de forraje, vaina y semilla del porotón, de un total de 15 árboles dispersos en el área de estudio, estas muestras se mezclaron, se homogenizaron, por reiteradas veces, y se depositaron en fundas de tela a temperatura ambiente, dichas muestras fueron utilizadas para el estudio del valor nutricional y digestibilidad en las 2 etapas fenológicas (floración y fructificación) del porotón.

Se define como lote, a un forraje tomado de una misma finca, de una misma área, en condiciones similares, dentro de un mismo período de tiempo, 48 horas, y almacenado en condiciones idénticas. (Ball, et al., 2001)

3.3.2 Separación de la fracción botánica.

Para comparar la digestibilidad de las fracciones botánicas en las dos etapas fenológicas del porotón, se las dividió en: hoja, vaina y semilla respectivamente, según la producción de las partes. El elemento hoja, constituido por la lámina de la hoja, el elemento vaina cuya época de cosecha es 120 días después de iniciar la foliación, y la fracción semilla constituida por la semilla madura, cosechada en el día 61 post floración.

3.3.3 Preparación de la muestra.

Una vez obtenidas las muestras de hoja, vaina y semilla se colocarán en un horno de aire forzado a 60 °C por 48 horas. Las muestras secas serán molidas en un molino de corte a un tamaño de partícula de 2 mm, para el análisis de digestibilidad por el método adecuado.

3.3.4 Análisis de Laboratorio.

Tanto para la etapa vegetativa (producción de follaje) como para la etapa de fructificación (producción de vainas) del porotón se realizó el análisis proximal por el método de Weende, en el cual, se determinó el contenido de humedad, cenizas, materia seca, proteína, fibra, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno. El análisis para determinar paredes celulares (FDA y FDN) será obtenido por el método de Van Soest.

3.3.5 Animales y dieta.

La alimentación a los animales fistulados se basa en una dieta de pasto kikuyo y ray grass, con consumo ad libitum como una dieta de mantenimiento. Las instalaciones disponen de bebederos de agua al libitum y las sales minerales se suministraron con base en los requerimientos para una dieta de mantenimiento.

3.3.6 Digestibilidad In Situ.

La determinación de digestibilidad de materia seca (DMS) se realizó incubando muestras de hojas, vainas, semillas de las dos edades fenológicas en fundas nylon, (Olaisen, Mejdell, Volden, & Nesse., 2003) de tipo monofilamento de poliéster, tamaño 10 x 20 cm, con tamaño de poro de 53 micrones, libres de nitrógeno (Bar Diamond, 2017), en el rumen de los animales fistulados.

Se pesó 10 g aproximadamente de cada muestra molida a 2 mm de tamaño de partícula (hoja, vaina y semilla) y se colocó en las fundas nylon, para posteriormente incubar las fundas debidamente selladas y sujetadas al rumen. Una vez concluido el tiempo de incubación se retiró las fundas del rumen y se lavaron minuciosamente con agua fría hasta que el agua estuvo clara, luego fueron secadas a 60 °C por 48 horas y finalmente se pesaron. La pérdida de materia seca (MS) se

estimó por el cambio en peso de la muestra en las fundas antes y después de la incubación ruminal de acuerdo con la metodología de Orskov y McDonald descrita en el año de 1979, como se describe en la siguiente ecuación. (Chavira, Gonzáles, Castillo, Trujillo, & Ortuño., 2011)

$$\text{Digestibilidad (D)} = \frac{\text{Cantidad inicial muestra} - \text{Residuo muestra posterior incubación}}{\text{Cantidad inicial muestra}} \times 100$$

Fuente: (Allen, 1997)

3.4 Tratamiento y diseño experimental

3.4.1 Estadística Descriptiva

La presente investigación se desarrolló bajo la estadística descriptiva para los valores reportados de: Degradabilidad ruminal, Humedad, Materia Seca, Cenizas, Proteína, Fibra, extracto Etéreo, Extracto libre de Nitrógeno, Paredes Celulares (Van-Soest), reportados por los diferentes análisis, en las dos etapas fenológicas del porotón.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a las siguientes pruebas estadísticas.

- Media aritmética
- Desviación Estándar
- Rango Max – Min

3.4.2 Etapas vegetativas

- Etapa 1. Vegetativa o producción de follaje
- Etapa 2. Fructificación o producción de vaina

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Análisis nutricional del porotón en la etapa I (producción de follaje)

Tabla 1

Composición química de las hojas en la etapa I (producción de follaje) del porotón

| Parte De La Planta | MS % | Cenizas % | E.E % | PB % | FIBRA % | E.L.N % | FDN % | FDA % | Lignina % |
|--------------------|-------|-----------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|-----------|
| Hojas | 38.26 | 10.5 | 1.54 | 28.74 | 24.93 | 34.29 | 62.4 | 51.15 | 13.76 |

Las hojas fueron cortadas con una edad vegetativa de 5 meses de rebrote. En la tabla 1, se muestra los resultados del análisis realizado, el contenido de materia seca (MS) presenta un valor elevado de 38,26 % si lo comparamos al reportado por Serrano (2009) en hojas de *Erythrina edulis* de 19,4%, la proteína bruta es de 28,74%, la fibra de 24,935, FDN de 62,4%, FDA de 51.15 y lignina de 13,78%, estos valores son similares a los encontrados en otros estudios realizados por (Díaz & Rodríguez, 1994), donde el valor de proteína de las hojas fue de 24,35% de proteína bruta. (Acero Duarte, 2002) Citó valores obtenidos de proteína de la hoja de porotón con un valor del 24,23%, que fue similar al reportado por (Bavera, 2000) con 24% de proteína. En el presente estudio el valor de proteína fue de 28,74%, siendo superior a los valores reportados en los estudios realizado. En la literatura se ha sugerido que las especies forrajeras deben contener niveles de proteína entre el 15 y 30% en su base seca.

El porcentaje de ceniza en las hojas de porotón fue del 10,5%, cuyo valor se encuentra dentro de los parámetros de 5 a 10% de cenizas mencionado para la mayoría de los forrajes de la sierra ecuatoriana (León , 2003).

El contenido de fibra neutro detergente (FND) está correlacionada inversamente con el consumo de materia seca, el contenido de FND en este estudio del porotón fue de 62,40 %, valor superior a los reportados por (Hernández *et al.*, 2010) de 47,58% FND en las hojas.

La fibra ácido detergente (FAD) expresa la digestibilidad del forraje y presenta un valor de 51,15%, cantidad superior a la reportada por Hernández et al (2010) con 38,54% en el porotón.

El contenido de extracto etéreo indica la fracción que identifica a las grasas; este valor es bajo como era de esperarse por tratarse de la hoja y no de la semilla donde son almacenados la mayor cantidad de lípidos en las leguminosas.

Las variaciones encontradas en el valor químico en otros estudios y en la investigación realizada, podrían indicar que el valor nutricional varía sensiblemente debido a las diferentes etapas de cosecha y las condiciones ambientales para el corte.

Tabla 2

Análisis de energía metabolizable, digerible y energía bruta expresadas en Mcal/kg, del follaje del porotón

| Parte De La Planta | Energía Metabolizable Mcal/Kg | Energía Digerible Mcal/Kg | Energía Bruta Mcal/Kg |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Hojas | 2,24 | 2,73 | 4,29 |

Los valores energéticos del porotón están expresados en Mcal/Kg. La energía metabolizable, energía digerible y la energía bruta son de 2,24 Mcal/Kg, 2,73 Mcal/Kg y 4,29 respectivamente, dichos valores se encuentran en los niveles óptimos para cubrir los requerimientos de energía tanto para mantenimiento y producción de los animales.

El contenido energético del porotón es superior al forraje comúnmente utilizado en el área de estudio, Kikuyo (*Penisetum clandestinum*), por lo que, la presencia del porotón en la dieta,

aumentaría los parámetros productivos ya el kikuyo solo aporta de 1,0 a 1,5 Mcal/Kg de materia seca.

Tabla 3

Análisis de macrominerales de las hojas de la etapa I del porotón.

| Parte De La | Ca | P | Mg | K | Na |
|-------------|------|------|------|------|------|
| Planta | % | % | % | % | % |
| Hojas | 1,35 | 0,19 | 0,23 | 1,32 | 0,02 |

Los macrominerales que se encuentran en mayor porcentaje en las hojas del porotón son el Ca y K con el 1,35% y 1,32% respectivamente y los porcentajes bajos están en el P, Mg y Na con 0,19%, 0,23% y 0,02% respectivamente.

Existe un desbalance entre Ca y P, esto ocurre porque la parte vegetativa de esta materia prima se encuentra en un corte joven (León , 2003). El valor de calcio se encuentra en similar porcentaje en las hojas reportados por Serrano (2009), de 1,28%, la cual reposa en la investigación de Laiton, Solano del Catillo, & Peña (2014).

Tabla 4

Análisis de microminerales de las hojas de la etapa I del porotón.

| Parte De La | Cu | Fe | Mn | Zn |
|-------------|-----|-----|-----|-----|
| Planta | ppm | ppm | ppm | Ppm |
| Hojas | 1 | 187 | 52 | 20 |

Los microminerales que se encuentran en mayor cantidad en las hojas del porotón son el Fe y Mn con 187 ppm y 52 ppm respectivamente, y en concentraciones bajas el Zn y Cu con valores de 20 ppm y 1 ppm respectivamente.

En los forrajes las concentraciones críticas de los microminerales para el Cu y de Zn están entre los 10 y 30 ppm, según L.R. Mc. Dowell (1993); el porotón tiene menor concentración de

estos microminerales, por lo cual, se recomienda aportar fuentes inorgánicas mediante el uso de sales minerales para suplir esta deficiencia.

Tabla 5

Análisis de aminoácidos de las hojas de la etapa I producción de follaje del porotón

| Parte De La Planta | |
|----------------------------|--------------|
| Aminoácidos | Hojas |
| Metionina | 2,386 |
| Cistina | 1,164 |
| Metionina + Cistina | 3,55 |
| Lisina | 6,288 |
| Treonina | 3,672 |
| Triptófano | 1,89 |
| Arginina | 6,089 |
| Isoleucina | 3,802 |
| Leucina | 7,307 |
| Valina | 4,799 |
| Histidina | 2,878 |
| Fenilalanina | 4,447 |
| Glicina | 5,417 |
| Serina | 4,244 |
| Prolina | 5,201 |
| Alanina | 5,259 |
| Ácido Aspártico | 9,274 |
| Ácido Glutámico | 15,268 |
| Nh₃ | 1,881 |

Los aminoácidos que se encuentran en mayor concentración en las hojas del porotón son el ácido glutámico, ácido aspártico, leucina, lisina y arginina con una concentración de 15.268, 9.274, 7.307, 6.288 y 6.089 respectivamente, los que se encuentran en menor cantidad en las hojas son cistina, triptófano e histidina con una concentración de 1.164, 1.89 y 2.878 respectivamente, estos valores coinciden con los resultados obtenidos por (Pérez, 2010). De los 18 aminoácidos que

componen la proteína del porotón en las hojas se encuentran son deficiencias en metionina cisteína y triptófano. (Acero, 1990)

4.1.1 Análisis de digestibilidad ruminal de la materia seca del porotón

Tabla 6

Valores de digestibilidad in situ, de la materia seca de las hojas del porotón (Erythrina edulis)

| Tiempo/Horas | Parte Del Porotón | Muestra 1 | Muestra 2 | Promedio |
|--------------|-------------------|-----------|-----------|----------|
| 0 | Hoja | 28,90 | 28,36 | 28,63 |
| 3 | Hoja | 33,15 | 32,59 | 32,87 |
| 6 | Hoja | 36,69 | 36,09 | 36,39 |
| 12 | Hoja | 42,06 | 41,38 | 41,72 |
| 24 | Hoja | 48,32 | 47,46 | 47,89 |
| 36 | Hoja | 51,30 | 50,31 | 50,80 |
| 48 | Hoja | 52,71 | 51,63 | 52,17 |
| 72 | Hoja | 53,70 | 52,55 | 53,13 |

4.1.2 Análisis de la digestibilidad in-situ de la materia seca

Tabla 7

Degradabilidad in situ de la Materia Seca- de las hojas del porotón (Erythrina edulis)

| Variable (Horas De Incubación) | Valor, % | | |
|--------------------------------|----------|-------|----------|
| Repetición (Animal Fistulado): | 1 | 2 | Promedio |
| 0 | 28,90 | 28,36 | 28,63 |
| 3 | 33,15 | 32,59 | 32,87 |
| 6 | 36,69 | 36,09 | 36,39 |
| 12 | 42,06 | 41,38 | 41,72 |
| 24 | 48,32 | 47,46 | 47,89 |
| 36 | 51,30 | 50,31 | 50,80 |

CONTINUA→

| | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|
| 48 | 52,71 | 51,63 | 52,17 |
| 72 | 53,70 | 52,55 | 53,13 |
| Variables De Potencial De Degradación | | | |
| A (Fracción Soluble) | 28,90 | 28,36 | 28,63 |
| B (Fracción Insoluble Pero Potencialmente Degradable) | 25,10 | 24,44 | 24,77 |
| A+B (Muestra Degradable) | 53,99 | 52,80 | 53,40 |
| C (Fracción Indegradable) | 46,01 | 47,20 | 46,60 |
| Kd (Tasa De Degradación % Hora) | 0,062 | 0,063 | 0,063 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 2% Hora ⁻¹ | 47,87 | 46,94 | 47,40 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 5% Hora ⁻¹ | 42,78 | 42,02 | 42,40 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 8% Hora ⁻¹ | 39,85 | 39,16 | 39,51 |

4.1.3 Degradabilidad ruminal in situ de la materia seca (DRISMS) de las hojas del porotón

Basado en los datos obtenidos de la degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca (DRISMS) de las hojas, sustentados en la ecuación exponencial propuesta por (Orskov; DONAL, Mc., 1970) se puede indicar que estos resultados demuestran que la *Erythrina edulis*, posee una baja concentración de componentes solubles de rápida degradabilidad a nivel celular, ya que la fracción *a* (soluble), demostró un valor de tan solo 28.63%. Así mismo, se debe indicar que la fracción potencialmente degradable (*b*), reportó una respuesta inferior de 24.77%, dando como resultado una fracción indegradable de 46.60%, lo que indica que la materia seca de las hojas de esta planta forrajera, tiene una degradabilidad intermedia (53.40%) hasta las 72 horas de incubación ruminal.

Por otra parte, la variable de tasa de degradación ruminal (*Kd*) mostró un valor de 6% h⁻¹, la cual, al ser utilizada para evaluar la degradabilidad efectiva (*De*) con una tasa de pasaje ruminal de los sólidos (*Kp*) de 2, 5 y 8%, permitió observar valores para estas variables de 47.40, 42.40 y 39.51%, respectivamente. Lo que sustenta el criterio que la materia seca de las hojas de la *Erythrina*

edulis tiene una característica nutricional intermedia, típico en las plantas forrajeras, posiblemente por su contenido de fracciones de fibra.

4.1.4 Análisis de la digestibilidad in-situ de la proteína

Tabla 8

Degradabilidad in situ de la proteína-hoja del porotón (erythrina edulis)

| Variable (Horas de incubación) | Valor, % |
|---|--------------|
| Repetición (Animal fistulado): | 1 |
| 0 | 35.02 |
| 3 | 46.36 |
| 6 | 50.69 |
| 12 | 52.98 |
| 24 | 53.37 |
| 36 | 53.38 |
| 48 | 53.38 |
| 72 | 53.38 |
| Variables de potencial de degradación | |
| a (fracción soluble) | 35.02 |
| b (fracción insoluble pero potencialmente degradable) | 18.35 |
| a+b (muestra degradable) | 53.38 |
| c (fracción indegradable) | 46.62 |
| Kd (tasa de degradación % hora) | 0.320 |
| Degradabilidad efectiva, tasa pasaje de 2% hora ⁻¹ | 52.30 |
| Degradabilidad efectiva, tasa pasaje de 5% hora ⁻¹ | 50.90 |
| Degradabilidad efectiva, tasa pasaje de 8% hora ⁻¹ | 49.71 |

4.1.5 Degradabilidad Ruminal In situ de la Proteína (DRISP)

Similar a lo encontrado en la Degradabilidad Ruminal In situ de la Proteína (DRISP), los resultados de la degradabilidad ruminal in situ de la proteína, demuestran que la *Erythrina edulis*, posee una baja concentración de compuestos nitrogenados solubles (fracción a) a nivel celular

($a=35.02\%$), aunque el valor para esta variable tenga un valor ligeramente superior que la DRISMS. También, se debe decir que la fracción potencialmente degradable (b), alcanzó una cuantía de 18.35%, dando como resultado una fracción indegradable de 46.62%, lo que indica que la proteína de las hojas de *Erythrina edulis*, posee una degradabilidad intermedia (53.38%) hasta las 72 horas de incubación ruminal.

La tasa de degradación ruminal (Kd) en este caso presentó un valor de $32\% h^{-1}$, resultado que indica que la proteína tuvo una alta tasa de degradabilidad, la misma que se logró en las primeras horas de incubación (entre 0 y 12 horas). Por otra parte, la degradabilidad efectiva (De) con una tasa de pasaje ruminal de los sólidos (Kp) de 2, 5 y 8%, permitió observar valores de 52.30, 50.90 y 49.71%, respectivamente.

4.1.6 Potencial productivo del porotón etapa I foliación (Producción de follaje)

El potencial productivo del porotón en la etapa I foliación, se consiguió realizando algunos cálculos de la producción de materia verde y materia seca en una hectárea en un año. El cálculo de producción de 1 ha de porotón, se estimó para árboles sembrados a una distancia de $1,5 m^2$, dando como resultado un total de 4444 plantas por ha, con una producción promedio de 10 Kg de materia verde por árbol, el corte se realiza cada 4 meses desde los 15 meses de edad a partir del trasplante o establecimiento por estaca. (Barrera & Mejía, 1998)

4.1.6.1 Producción de follaje (hojas)

- **Materia verde:**

$$4444 \text{ árboles} \times 3 \text{ cosechas} \times 8 \text{ Kg follaje/árbol} = 106\ 656 \text{ Kg de hoja/ha/año}$$

- **Toneladas:** 106,656 tm/ha/año de materia verde

- **Materia seca:** Materia seca = $\frac{38,26 \times 106\ 656}{100}$: 40 806,59Kg Ms

- **Toneladas:** 40,806 tm/ha/año
- **Kilogramo de follaje/árbol** = 9,18Kg de MS/árbol

El porotón produce 40,806 toneladas de hojas/ha/año de materia seca en tres cortes , con un contenido de proteína de 28,74% en las hoja jóvenes y una digestibilidad del 52,17%, que difiere de otras leguminosas arbustivas estudiadas , como *Tithonia diversifolia* (botón de oro) con un contenido de 28,5% de proteína y una digestibilidad del 63 – 65% y una producción de 35 t/ha/corte de materia seca, los mismos que se realizan cada 2 meses, obteniendo 8 cortes al año, así como también *Trichanthera gigantea* Ness (nacedero o quiebra barriga) con un contenido de proteína del 12 al 20% y una digestibilidad del entre 50 – 70% y una producción promedio de 4 t/ha/corte al año, se realizan 4 corte dando un total de 16 t/ha/año (Peters, Franco, & Schmidt., 2003); aunque estas especies tienen un alto potencial son de clima subtropical y no se adaptan a la sierra ecuatoriana; donde el porotón en cambio sí está adaptado, además que produce vainas, las cuales se pueden utilizar en la alimentación animal y humana.

En el caso de la sierra existe un número pequeño de árboles que se pueden aprovechar en la alimentación animal, tal es el caso del aliso, pero la diferencia radica en su contenido de proteína que no supera el 16,88% y una digestibilidad del 50% según estudios realizados. (Naranjo & Cuartas, 2011)

4.2 Análisis nutricional del porotón en la etapa II de fructificación (Producción de vainas)

Tabla 9

Composición química de las diferentes partes de la vaina en la etapa II fructificación del porotón

| Parte De La Planta | MS % | Cenizas % | E.E % | PB % | Fibra % | E.L.N % | FDN % | FDA % | Lignina % |
|--------------------|-------|-----------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|-----------|
| Vaina | 10.6 | 7.69 | 1.11 | 23.57 | 15.01 | 52.62 | 35.2 | 25.97 | 7.23 |
| Completa | | | | | | | | | |
| Vaina | 7.18 | 7.60 | 0.93 | 20.29 | 23.12 | 48.06 | 42.1 | 36.19 | 6.44 |
| Semilla | | | | | | | | | |
| Integra | 22.55 | 6.62 | 0.8 | 22.70 | 7.27 | 62.61 | 26.6 | 12.7 | 4.65 |
| Semilla Sin | | | | | | | | | |
| Cutícula | 21.67 | 7.10 | 0.79 | 24.15 | 4.76 | 63.2 | 17.3 | 7.46 | 1.86 |
| Cutícula | 17.92 | 4.56 | 1.14 | 27.05 | 22.13 | 45.13 | 66.8 | 52.5 | 34.32 |

Los contenidos más altos de materia seca en la etapa II (fructificación) los tienen: la semilla integra, semilla sin cutícula y la cutícula con valores de 22,55%, 21,67% y 17,92% respectivamente; mientras que los porcentajes más bajos de la materia seca tiene la vaina completa y la vaina sin semilla con un 10% y 7,18% respectivamente.

El nivel de proteína de las diferentes partes de la vaina está en 24,42% promedio, los niveles más altos de proteína se encuentran en la cutícula, semilla sin cutícula y vaina completa con valores de 27,05%, 24,15% y 23,57% respectivamente, los valores más bajos del contenido de proteína se encuentran en la vaina y semilla integra con valores de 20,29 y 22,7% respectivamente.

Los análisis realizados por los laboratorios de la Universidad de Colombia, sede Palmira en 1987 (Owen, 1959), reportaron los valores de proteína tanto para la semilla joven, así como para la semilla madura donde el contenido de proteína fue de 26,16% y 23,57% respectivamente. La

cantidad de proteína coincide con los reportados por esta investigación con un 22,75% de proteína, para semilla madura la misma que fue cosechada a los 60 días de iniciada la floración.

El porcentaje de cenizas en semilla joven es de 5,24% y en semilla madura de 5,00% en el estudio realizado en Palmira, que comparando con los resultados obtenidos en esta investigación fue de 6,625% que supera los obtenidos en los obtenidos en Colombia, esto puede deberse por los factores externos como calidad de suelo, temperatura, humedad y otros factores externos.

La fibra cruda obtenida en este estudio es de 7,27% valor muy similar a los obtenidos para semilla joven y semilla adulta de 8,44% y 8,73% respectivamente, en los laboratorios de la Universidad de Colombia sede Palmira en 1987. (Owen, 1959)

En Perú según (J. Guevara l p. díaz¹, 2013) , el nivel de proteína que presenta la harina de porotón sirve para la producción de dietas balanceadas, donde se realizó una alternativa balanceada para cuyes con niveles de inclusión del 1 y 2%, demostrando buenos resultados con la adición del 2%, además, de ser el tratamiento con el mejor mérito económico. Con lo cual, se concluyó la adición de harina de porotón tiene efectos positivos sobre los parámetros productivos de esta especie investiga.

En otro estudio realizado por (Morillo, et al., 2013), para la sustitución total de la harina de pescado, por harina de porotón y harina de soya, condujo a buenos resultados para la alimentación de alevines de *Colossoma macropomum* (cachama negra). Lo cual, demuestra que la adición de la harina de porotón en dietas para la alimentación animal es de gran utilidad aportando con una nueva materia prima en el sector acuícola.

Los valores de proteína que se encuentran en la vaina que se obtuvo en la investigación realizada por Owen (1959) fue de 20,952% para proteína, que coincide con el contenido de 20,29% para la vaina obtenida en esta investigación.

Tabla 10

Análisis de energía metabolizable, digerible y energía bruta expresadas en Mcal/kg, en la etapa II fructificación

| Parte De La Planta | Energía Metabolizable Mcal/Kg | Energía Digerible Mcal/Kg | Energía Bruta Mcal/Kg |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Vaina Completa | 2,34 | 2,85 | 4,29 |
| Vaina | 2,25 | 2,75 | 4,27 |
| Semilla Integra | 2,54 | 3,10 | 4,27 |
| Semilla Sin Cutícula | 2,51 | 3,07 | 4,26 |
| Cutícula | 2,59 | 3,16 | 4,49 |

Los valores energéticos del porotón (*Erythrina edulis*) están expresados en Mcal/Kg MS. El valor más alto de energía metabolizable fue de 2,59 Mcal/Kg, el cual, se encontró en la cutícula seguido de 2,54 Mcal/Kg en la semilla integra, mientras que el valor más bajo se presenta en la vaina con 2,25 Mcal/Kg, sin embargo, estos valores se encuentran en los rangos apropiados y para el mantenimiento y producción animal.

Tabla 11

Análisis de macrominerales de las partes de la vaina en la etapa II fructificación del porotón

| Parte De La Planta | Ca % | P % | Mg % | K % | Na % |
|-----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| Vaina Completa | 0,11 | 0,44 | 0,24 | 2,60 | 0,02 |
| Vaina | 0,09 | 0,31 | 0,16 | 3,00 | 0,02 |
| Semilla Integra | 0,03 | 0,55 | 0,24 | 2,38 | 0,00 |
| Semilla Sin Cutícula | 0,02 | 0,53 | 0,26 | 2,52 | 0,00 |
| Cutícula | 0,13 | 0,44 | 0,17 | 1,37 | 0,01 |

El potasio es el macromineral con mayor porcentaje en la vaina completa, vaina, semilla integra, semilla sin cutícula y cutícula con valores de 2,60%, 3,00%, 2,38, 2,52 y 1,37 respectivamente, los cuales, son similares a los obtenidos por (Surco.J., 1987). Los macrominerales que se encuentran en menor porcentaje en las partes del porotón son el calcio, fósforo, magnesio y sodio, tanto como en la vaina completa, vaina, semilla integra, semilla sin cutícula y cutícula cuyos contenidos no superan el 0,60% en las diferentes partes del porotón.

Tabla 12

Análisis de microminerales de las partes de la vaina, en la etapa II fructificación del porotón.

| Parte De La Planta | Cu Ppm | Fe Ppm | Mn Ppm | Zn Ppm |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Vaina Completa | 3 | 57 | 8 | 27 |
| Vaina | 2 | 43 | 8 | 36 |
| Semilla Integra | 3 | 30 | 8 | 24 |
| Semilla Sin Cutícula | 1 | 22 | 7 | 24 |
| Cutícula | 9 | 72 | 17 | 48 |

El hierro, es el micromineral que se encuentran en mayor concentración en la vaina completa, vaina, semilla integra, semilla sin cutícula y cutícula con valores de 50 ppm, 43 ppm, 30 ppm, 22 ppm y 72 ppm respectivamente, siendo la cutícula la parte de la vaina la que tiene mayor contenido de hierro. El zinc es el segundo micromineral con mayor concentración en las diferentes partes de la vaina analizada, como lo demuestran en los estudios realizados por Surco.J (1987).

Los microminerales que se encuentran en menor concentración son: el cobre que no sobre pasa las 10 ppm en las diferentes partes de la vaina y el manganeso que no sobrepasa las 20 ppm en las diferentes partes de la vaina tal como fueron analizadas por Surco.J (1987).

Tabla 13

Análisis de aminoácidos de las partes del fruto en la etapa II fructificación del porotón

| Aminoácidos | Vaina Completa | Vaina | Semilla Intgra | Semilla Sin Cutícula | Cutícula |
|----------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------|
| Metionina | 1,155 | 0,955 | 1,236 | 1,257 | 1,223 |
| Cistina | 1,29 | 0,908 | 1,471 | 1,644 | 0,984 |
| Metionina + Cistina | 2,445 | 1,863 | 2,707 | 2,902 | 2,208 |
| Lisina | 5,104 | 4,589 | 5,723 | 6,024 | 5,59 |
| Treonina | 3,639 | 3,256 | 3,901 | 4,019 | 3,415 |
| Triptófano | 1,454 | 1,379 | 1,524 | 1,612 | 1,289 |
| Arginina | 4,192 | 3,196 | 4,702 | 4,863 | 3,801 |
| Isoleucina | 3,842 | 3,415 | 4,152 | 4,299 | 3,442 |
| Leucina | 6,479 | 5,537 | 7,042 | 7,303 | 5,889 |
| Valina | 5,155 | 4,43 | 5,607 | 5,852 | 4,475 |
| Histidina | 2,885 | 3,05 | 2,838 | 3,031 | 2,686 |
| Fenilalanina | 3,904 | 3,455 | 4,262 | 4,385 | 3,529 |
| Glicina | 3,741 | 3,203 | 4,01 | 4,089 | 3,801 |
| Serina | 4,496 | 4,224 | 4,817 | 4,938 | 4,323 |
| Prolina | 4,31 | 4,582 | 4,534 | 4,627 | 4,051 |
| Alanina | 4,039 | 3,773 | 4,215 | 4,062 | 4,176 |
| Ácido Aspártico | 9,207 | 8,176 | 9,822 | 10,07 | 7,515 |
| Ácido Glutámico | 11,47 | 9,191 | 14,141 | 14,498 | 9,059 |
| Nh₃ | 2,062 | 1,923 | 2,005 | 1,838 | 3,121 |

Los aminoácidos que se encuentran en mayor concentración en las diferentes partes de la vaina del porotón son: lisina, leucina, valina, ácido aspártico y ácido glutámico; así como los aminoácidos

que se encuentran en menor concentración son: metionina, cistina y triptófano, que concuerda con los estudios de investigación realizados por Surco.J (1987).

El porotón (*Erythrina edulis*), tiene los 18 aminoácidos y con valores bajos en metionina, cisteína, aminoácidos azufrados y triptófano. (Acero, 1990)

Los aminoácidos esenciales para la mayoría de animales son: arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina, los cuales, contiene el porotón a excepción de los aminoácidos azufrados y el triptófano. En el caso de arginina e histidina, el animal puede sintetizarlos, aunque en cantidades insuficientes para satisfacer los requerimientos corporales, particularmente durante las etapas tempranas del crecimiento o para los altos niveles requeridos en la producción (NRC, 2001). En el porotón el contenido de arginina se encuentra en un 4,192%, la histidina se encuentra en un porcentaje bajo del 2,855%; el cual, debe ser suplementado con el aporte de otros componentes de la dieta.

En cuanto al balance general de aminoácidos en las proteínas, las leguminosas son ricas en lisina, en el caso del porotón este aminoácido se encuentra en la vaina completa, vaina, semilla integra, semilla sin cutícula y cutícula con valores de 5,104, 4,589, 5,723, 6,024 y 5,59, cuyos resultados son similares a los obtenidos por (Surco.J., 1987). Las diferentes partes del porotón que se analizaron en esta investigación son pobres en aminoácidos azufrados como la metionina, la cistina y especialmente en triptófano, con contenidos de 1,454 en la vaina completa, 1,379 en vaina, 1,524 en la semilla integra, 1,612 en semilla sin cutícula y 1,289 en la cutícula, la deficiencia de este aminoácido se complementarían con el aporte de materias primas que contengan estos aminoácidos deficientes o con el aporte de aminoácidos sintéticos, con lo cual, se podría equilibrar el perfil de aminoácidos en la dietas.

En otro estudio donde se analiza el perfil de aminoácidos en la semilla de porotón se observa que, supera incluso al perfil de algunas leguminosas como; las habas y arvejas, además los valores de histidina 5,84, Treonina 5,84 y tirosina 5,50 del porotón, supera a los aminoácidos hallados en el huevo (Barrera & Mejía, 1998).

4.2.1 Análisis de digestibilidad ruminal in- situ de la materia seca del porotón etapa II fructificación del porotón

Tabla 14

Valores de digestibilidad in situ, de la materia seca de la vaina

| Tiempo/horas | Parte del Porotón | Muestra 1 | Muestra 2 | Promedio |
|--------------|-------------------|-----------|-----------|----------|
| 0 | Vaina | 35.94 | 35.24 | 35.59 |
| 3 | Vaina | 44.05 | 44.94 | 44.49 |
| 6 | Vaina | 50.93 | 52.71 | 51.82 |
| 12 | Vaina | 61.72 | 63.93 | 62.82 |
| 24 | Vaina | 75.06 | 75.77 | 75.42 |
| 36 | Vaina | 81.96 | 80.66 | 81.31 |
| 48 | Vaina | 85.53 | 82.68 | 84.10 |
| 72 | Vaina | 88.34 | 83.85 | 86.10 |

Tabla 15

Valores de digestibilidad in situ, de la materia seca de la semilla

| Tiempo/Horas | Parte Del Porotón | Muestra 1 | Muestra 2 | Promedio |
|--------------|-------------------|-----------|-----------|----------|
| 0 | Semilla | 49.78 | 45.36 | 47.57 |
| 3 | Semilla | 56.89 | 57.31 | 57.10 |
| 6 | Semilla | 62.76 | 66.04 | 64.40 |
| 12 | Semilla | 71.59 | 77.11 | 74.35 |
| 24 | Semilla | 81.68 | 86.19 | 83.93 |
| 36 | Semilla | 86.34 | 88.78 | 87.56 |
| 48 | Semilla | 88.49 | 89.53 | 89.01 |
| 72 | Semilla | 89.95 | 89.80 | 89.87 |

Tabla 16

Degradabilidad in situ de la materia seca-vaina del porotón (Erythrina edulis)

| Variable (Horas De Incubación) | Valor, % | | |
|---|----------|-------|--------------|
| | 1 | 2 | Promedio |
| Repetición (Animal Fistulado): | | | |
| 0 | 35.94 | 35.24 | 35.59 |
| 3 | 44.05 | 44.94 | 44.49 |
| 6 | 50.93 | 52.71 | 51.82 |
| 12 | 61.72 | 63.93 | 62.82 |
| 24 | 75.06 | 75.77 | 75.42 |
| 36 | 81.96 | 80.66 | 81.31 |
| 48 | 85.53 | 82.68 | 84.10 |
| 72 | 88.34 | 83.85 | 86.10 |
| Variables De Potencial De Degradación | | | |
| A (Fracción Soluble) | 35.94 | 35.24 | 35.59 |
| B (Fracción Insoluble Pero Potencialmente Degradable) | 53.42 | 48.85 | 51.14 |
| A+B (Muestra Degradable) | 89.36 | 84.09 | 86.73 |
| C (Fracción Indegradable) | 10.64 | 15.91 | 13.27 |
| Kd (Tasa De Degradación % Hora) | 0.055 | 0.074 | 0.064 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 2% Hora ⁻¹ | 75.10 | 73.67 | 74.38 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 5% Hora ⁻¹ | 63.90 | 64.35 | 64.13 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 8% Hora ⁻¹ | 57.68 | 58.18 | 57.93 |

4.2.2 Degradabilidad Ruminal In Situ de la Materia Seca (DRISMS) - vaina del porotón.

Por otra parte, al analizar los resultados de la Degradabilidad ruminal in situ de la materia seca (DRISMS) de la vaina de esta fabácea, podemos evidenciar que hay una mejor degradabilidad que la hoja (86.73 vs 53.40%, respectivamente) a las 72 horas de incubación ruminal. La concentración de la fracción *a* (35.59%, soluble) de la vaina de *Erythrina edulis* evidentemente presenta mejores características nutricionales que las de la hoja, pudiéndose deber esto a la menor presencia de fracciones de fibras (FDN y FDA, ver Tabla 9). La menor concentración de carbohidratos estructurales (celulosa y hemicelulosa) de la vaina hace que la proporción de los componentes solubles de la célula sean mayores, y de mejor manera disponible al ataque del microbiota ruminal,

sobre todo porque la concentración de lignina de la vaina (6.44%) está muy por debajo al del contenido de la hoja (13.76%).

En este sentido, se evidencia que la fracción potencialmente degradable (b), mostró un valor de 51.14%, dando como resultado una fracción indegradable de 13.27%, lo que indica que la materia seca de las vainas, tiene una alta degradabilidad (86.73%) al ser comparada con la hoja. El comportamiento de la tasa de degradación ruminal de la vaina (Kd) mostró un valor de 6.4% h⁻¹, similar al reportado por la hoja, y al ser utilizada para evaluar la degradabilidad efectiva (De) con una tasa de pasaje ruminal de los sólidos (Kp) de 2, 5 y 8%, demostró que, a estas tasas de flujo, la materia seca de la vaina tiene una degradabilidad efectiva de 74.38, 64.13 y 57.93%, respectivamente, característica que se asocia a un componente alimenticio de alta disponibilidad de nutrientes a nivel ruminal.

Tabla 17

Degradabilidad in situ de la materia seca-semilla del porotón (Erythrina edulis)

| Variable (Horas De Incubación) | Valor, % | | |
|--|----------|-------|--------------|
| | 1 | 2 | Promedio |
| Repetición (Animal Fistulado): | | | |
| 0 | 49.78 | 45.36 | 47.57 |
| 3 | 56.89 | 57.31 | 57.10 |
| 6 | 62.76 | 66.04 | 64.40 |
| 12 | 71.59 | 77.11 | 74.35 |
| 24 | 81.68 | 86.19 | 83.93 |
| 36 | 86.34 | 88.78 | 87.56 |
| 48 | 88.49 | 89.53 | 89.01 |
| 72 | 89.95 | 89.80 | 89.87 |
| | | 0.00 | |
| Variables De Potencial De Degradación | | | |
| A (Fracción Soluble) | 49.78 | 45.36 | 47.57 |
| B (Fracción Insoluble Pero Potencialmente Degradable) | 40.57 | 44.46 | 42.52 |
| A+B (Muestra Degradable) | 90.35 | 89.82 | 90.08 |
| C (Fracción Indegradable) | 9.65 | 10.18 | 9.92 |
| Kd (Tasa De Degradación % Hora) | 0.064 | 0.104 | 0.084 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 2% Hora ⁻¹ | 80.72 | 82.67 | 81.70 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 5% Hora ⁻¹ | 72.60 | 75.42 | 74.01 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 8% Hora ⁻¹ | 67.86 | 69.19 | 68.52 |

4.2.3 Degradabilidad Ruminal In Situ de la Materia Seca (DRISMS) - semilla del porotón

Cuando se observa, las características nutricionales de la semilla en términos de composición química proximal y de fracciones de fibra, se sustentan los resultados que indican que este componente de la planta tiene las mejores características de disponibilidad ruminal de la materia seca. Su nivel de disponibilidad de la fracción soluble (a), es de muy alto valor nutricional (47.57%) indicándonos que las proporciones de los componentes celulares de la semilla están liderados por fuentes de fácil fermentación y degradabilidad, congruentemente con lo anterior, se puede evidenciar que la fracción insoluble pero potencialmente degradable (b) de las semillas (42.52%) es de alta disponibilidad a través de los tiempos de incubación ruminal, dando como resultado que la materia seca de la semilla posea una degradabilidad de 90.08% a las 72 horas de permanencia ruminal.

Ese gran valor de degradabilidad presentado por la semilla, está asociado a su tasa de degradación (8.4%), la misma que concomitantemente, permite una alta degradabilidad efectiva (De) con una tasa de pasaje ruminal de los sólidos (Kp) de 2, 5 y 8%, los mismos que van desde 81.70 a 68.52%, respectivamente (ver tabla 15. Valores de digestibilidad in situ, de la materia seca de la semilla).

Tabla 18

Degradabilidad in situ de la Proteína - vaina del porotón (Erythrina edulis)

| Variable (Horas De Incubación) | Valor, % |
|---------------------------------------|----------|
| Repetición (Animal Fistulado): | 1 |
| 0 | 34.97 |
| 3 | 39.56 |
| 6 | 43.69 |
| 12 | 50.79 |
| 24 | 61.29 |
| 36 | 68.24 |
| 48 | 72.86 |

CONTINUA→

| | |
|---|--------------|
| 72 | 77.95 |
| Variables De Potencial De Degradación | |
| A (Fracción Soluble) | 34.97 |
| B (Fracción Insoluble Pero Potencialmente Degradable) | 46.97 |
| A+B (Muestra Degradable) | 81.95 |
| C (Fracción Indegradable) | 18.05 |
| Kd (Tasa De Degradación % Hora) | 0.034 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 2% Hora ⁻¹ | 64.62 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 5% Hora ⁻¹ | 54.06 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 8% Hora ⁻¹ | 49.05 |

4.2.4 Degradabilidad Ruminal In Situ de la Proteína (DRINP) - vaina del porotón

En el mismo sentido, la DRINP de la vaina de la *Erythrina edulis*, presenta mejores características de degradabilidad que la hoja (81.95 vs 53.38%, respectivamente) a las 72 horas de incubación ruminal. La concentración de la fracción *a* (34.97%, soluble) de la vaina de *Erythrina edulis* presenta similares características nutricionales que las de la hoja, lo que indica que tanto las células de las hojas y vaina, poseen características similares de solubilidad de los componentes nitrogenados, independientemente del contenido de la proteína que pudiera estar asociado a la pared o contenido celular, y a la estructura conformacional de este nutriente.

Sin embargo, contrario a lo que pasó con la hoja, la fracción potencialmente degradable (b) de la vaina, presentó un valor de 46.97%, dando como resultado una fracción indegradable de 18.05%, lo que indica que la proteína de la vaina, tiene una alta degradabilidad (81.95%) al ser comparada con la hoja. La tasa de degradación ruminal de la vaina (Kd) manifestó un valor de 3.4% h⁻¹, muy por debajo al reportado por la hoja, indicando que la proteína tarda más en alcanzar su máximo de desaparición. Por otra parte, la degradabilidad efectiva (De) con una tasa de pasaje ruminal de los sólidos (Kp) de 2, 5 y 8%, demostró que, a estas tasas de flujo, la proteína de la vaina tiene una

degradabilidad efectiva de 64.62, 54.06 y 49.05%, clasificando a este componente nutricional como un elemento de alta disponibilidad ruminal.

Tabla 19

Degradabilidad in situ de la Proteína – semilla del porotón (Erythrina edulis)

| Variable (Horas De Incubación) | Valor, % |
|---|--------------|
| Repetición (Animal Fistulado): | 1 |
| 0 | 19.26 |
| 3 | 31.79 |
| 6 | 40.83 |
| 12 | 52.08 |
| 24 | 60.99 |
| 36 | 63.42 |
| 48 | 64.07 |
| 72 | 64.30 |
| Variables De Potencial De Degradación | |
| A (Fracción Soluble) | 19.26 |
| B (Fracción Insoluble Pero Potencialmente Degradable) | 45.06 |
| A+B (Muestra Degradable) | 64.32 |
| C (Fracción Indegradable) | 35.68 |
| Kd (Tasa De Degradación % Hora) | 0.109 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 2% Hora ⁻¹ | 57.31 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 5% Hora ⁻¹ | 50.11 |
| Degradabilidad Efectiva, Tasa Pasaje De 8% Hora ⁻¹ | 45.21 |

4.2.5 Degradabilidad Ruminal In Situ de la Proteína (DRINP) - semilla del porotón

La Degradabilidad Ruminal In Situ de la Proteína de la semilla presenta una baja disponibilidad de la fracción soluble (a), demostrando estos valores que en las células de la semilla no existe componentes nitrogenados de rápida disponibilidad ruminal (19.26%), manifestando esto que la proteína está asociada a la pared celular o presenta alguna conformación estructural que limita su solubilización y fácil fermentación. El análisis anterior, es racional al evidenciar que la fracción insoluble pero potencialmente degradable (b) de las semillas presenta un valor de 45.06%, señalando esto, que la proteína de la semilla tiene una mediana disponibilidad a través de los tiempos de incubación ruminal, alcanzando un alto valor cuando esta ha pasado entre 24 y 36 horas en el rumen, hasta lograr una máxima degradabilidad de 64.32% a las 72 horas de permanencia

ruminal. Lo anterior, está asociado con su tasa de degradación (10.90%), la cual permitió que se lograran degradabilidades efectivas (De) con una tasa de pasaje ruminal de los sólidos (Kp) de 2, 5 y 8%, de 57.31, 50.11 y 45.21%, respectivamente.

4.2.6 Potencial productivo del porotón etapa II fructificación (Producción de vaina y semilla)

En Colombia según cita Barrera (1991), se estima que una plantación de 278 árboles por hectáreas puede producir 46,5 toneladas de frutos por año. (Lojan.I, 1992)

Tabla 20

Producción de frutos (vainas).

| Producción | Acero (1990) | Peralta y Velasco (1985) | Fuentes (2017) |
|------------------------------|--------------|--------------------------|----------------|
| Fruto/árbol/año | 170 Kg | 245 | 218 Kg |
| % Semillas respecto al fruto | 54% | 54% | 54% |
| % Vainas respecto al fruto | 46% | 46% | 46% |

Calculo de producción en 1 ha de porotón, sembrados en una distancia de 5 m², obteniendo resultados de 400 árboles por ha. Los árboles producen frutos dos veces al año y se los cosecha cuando alcanzan su madurez fisiológica. La primera en los meses de junio y julio, la segunda cosecha se realiza de noviembre a diciembre con un promedio de 245 kg por año. (Peralta & Velasco, 1985)

Potencial productivo de vainas del porotón

- **Frutos por ha:** 400 árboles × 218 Kg de vainas = 87 200 kg de vainas/ha/año
- **Toneladas de frutos/ha:** 87,2 t/ha/año
- **Vainas del porotón por hectárea**

$$\text{Cantidad de } \frac{\text{vainas}}{\text{ha}} = \frac{46 \times 87\,000}{100} = 40\,020 \text{ kg /ha/año}$$

$$\text{Materia seca de las vainas} = \frac{7,18 \times 40\,020}{100} = 2873,44 \text{ kg/ha} / 1000 = 2,873 \text{ tm}$$

- **Kilogramos/árbol:** $2873,44 / 400 = 7,18$ kg de ms

Semillas del porotón por hectárea

- **Semillas por hectárea:** $\text{semillas} = \frac{54 \times 87\,200}{100} : 47\,088$ kg de semillas/ha
- **Semilla:** **47,08 tm /ha/año**
- **Materia seca de las semillas:** $\text{Materia seca} = \frac{22,55 \times 47\,088}{100} = 10\,618,34$ kg/ha
- **Toneladas:** 10,61 tm/ha/año de ms
- **Kilogramos/árbol:** $10\,618,34 / 400 = 26,55$ kg de ms

4.3 Discusión comparativa entre 2 etapas productivas del porotón

Tabla 21

Parámetros estadísticos referentes a media, máximo, mínimo del análisis proximal del porotón en las dos fases productivas

| Variable | Media | Máximo | Mínimo |
|---------------------|-------|--------|--------|
| Humedad | 80,32 | 92,82 | 61,74 |
| Materia Seca | 19,69 | 38,26 | 7,18 |
| Cenizas | 7,35 | 10,50 | 4,60 |
| E.E | 1,05 | 1,54 | 0,79 |
| Proteína | 24,42 | 28,74 | 20,29 |
| Fibra | 16,20 | 24,93 | 4,76 |
| E.L.N | 50,97 | 63,13 | 34,29 |
| FND | 41,75 | 66,82 | 17,34 |
| FDA | 30,99 | 52,50 | 7,46 |
| Lignina | 11,38 | 34,32 | 1,86 |

El análisis químico del laboratorio de las dos etapas fenológicas del porotón demuestran que en promedio de las partes en estudio son; para la proteína del 24.42%, materia seca de 19.69%, cenizas 7.35%, fibra 16.20%, FDN 41.75, FDA 30,99 y lignina 11,38%, lo cual, le hace un recurso forrajero muy bueno y de alto valor nutricional para la alimentación animal.

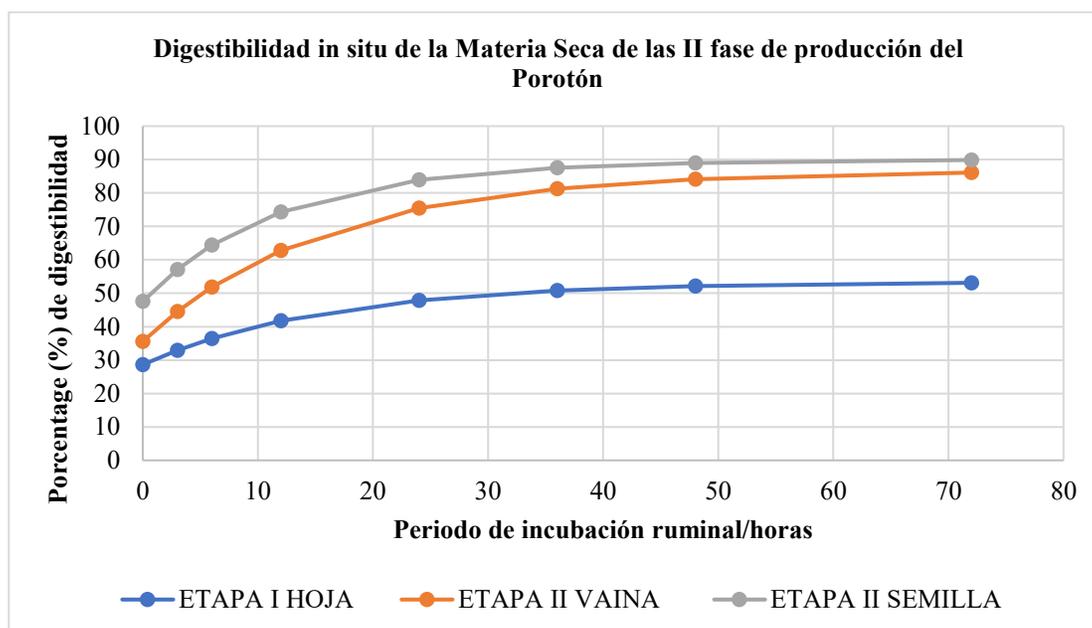


Figura 3. Digestibilidad in situ de la materia seca del porotón

La Degradabilidad In Situ de la Materia Seca (DRISMS), es del 90,08% para la semilla, seguida de la vaina 86,73% que se producen en la fase II del porotón y la digestibilidad de fase I es del 53,40% para las hojas del porotón, con lo cual concluimos que es mejor la digestibilidad in situ de la materia seca de las partes del porotón de la fase II en la etapa de fructificación.

Las vainas y las hojas de leguminosas arbóreas se usan como suplemento alimenticio para disminuir las deficiencias de nitrógeno que presentan los pastos; por ello, se realizan constantes investigaciones para determinar las características nutritivas de esta especie. En ese sentido, y en relación a los resultados de la presente investigación, Salawu, Acamovic, Stewart, & Roothaert (1999) indican que, la DRISMS de las hojas de *Calliandra calothyrsus*, otras representante de la familia de las fabáceas, fue sorprendentemente alto, ya que la asíntota media de degradación de la MS (a+b) para las hojas fue de 78.1%, sin embargo, para este caso, las vainas, fueron menos degradables en el rumen que las hojas, contrario a lo reportado por en el presente estudio. No obstante, para (Hernández, et al., 2018), las vainas de *E. cyclocarpum* (73.06%) y *S. saman*

(66.01%) cuantificaron las mayores DRISMS ($P < 0.05$) cuando se compararon con las hojas. Estas discrepancias en la calidad nutritiva en términos de la DRISMS de las Fabáceas, dentro de las que se encuentra *Erythrina edulis*, Delgado, et al. (2001) y Briceño-Poot, et al (2012), se deben específicamente a las diferencias de composición química proximal, y sobre todo a las fracciones de fibra.

4.3.1 Digestibilidad in-situ de la proteína del porotón

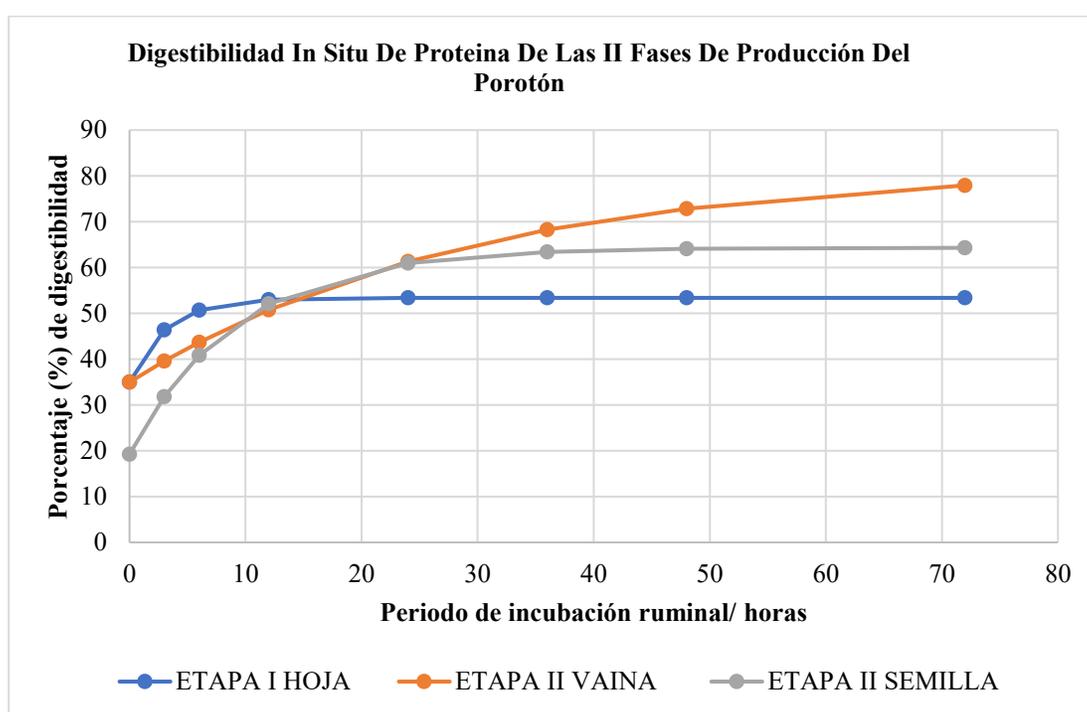


Figura 4. Digestibilidad in situ de proteína de las II fases de producción del Porotón

La Degradabilidad In Situ de la Proteína (DRINP), es del 81,95% para la vaina, seguida de la semilla 64,06% que se producen en la fase II del porotón y la digestibilidad de fase I es del 53,38% para las hojas del porotón, con lo cual concluimos que es mejor la digestibilidad in situ de la proteína de las partes del porotón de la fase II de la semilla y vaina respectivamente.

Las leguminosas forrajeras de la familia de las Fabáceas, generalmente son utilizadas por su alto nivel de proteína, ya que ellas ayudan a mejorar la calidad de la dieta de los rumiantes ya que generalmente las gramíneas poseen bajo valor nutricional, principalmente en sus tenores de proteína total, así como, en la disponibilidad ruminal de esta. Por ello, varios autores han estudiado a los diferentes géneros de esta familia, para establecer su calidad, lo que permitirá darles un mejor uso, para ello, Naranjo & Cuarta (2011) evaluaron algunas fuentes forrajeras con potencial para la suplementación de rumiantes, encontrando que la degradabilidad ruminal in situ de la proteína de *E. edulis* presentó valores de 40.91, 38.13 y 3% para la fracción soluble (a), insoluble pero potencialmente degradable (b) y tasa de degradación (kd), respectivamente; siendo estos valores superiores a los reportados en la presente investigación, cuando se midió la DRINP en la hoja.

En este contexto, Suchitra y Wanapat (2008) encontraron 40.3% en la fracción a, 30.8% en la fracción b y 0.059% en la fracción c en hojas de *E. variegata*, aunque no mencionan los días de rebrote utilizado para la evaluación. Para Cárdenas-Villanueva *et al.* (2016), la mayor degradación efectiva de la PC de *E. falcata* (41.2%/h) se obtuvo a los 105 días de rebrote, disminuyendo con el tiempo de rebrote, lo cual podría deberse al aumento de la edad de la planta que ocasiona un incremento de la lignificación, dificultando el proceso de degradabilidad de la PC y disminuyendo su aprovechamiento. En otros estudios, Pinto *et al.* (2004) estimaron 62.2% de DE del follaje de *E. goldmanii* en vacunos, y Pedraza *et al.* (2003) estimaron 68.8% en *E. variegata* y 59.4% en *E. berteriana*, pero con $K=0.05$; respuestas que distan de las encontradas en la presente investigación cuando se comparan con la DRISP de la hoja, ya que en muchos casos están por muy abajo y en otros muy arriba de los encontrados en este estudio, como los indica Kongmanila *et al.* (2013) cuando estudio varias especies de *Erythrina*. Lo anterior puede deberse a las características propias

de la especie, tipo de suelo y ambiente donde creció la planta, y hasta por los cambios de su composición química que afecta a la disponibilidad de los nutrientes.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El porotón tiene dos etapas marcadas de producción; la etapa I (producción de follaje 40,80 t/ha/año en materia seca), con un contenido de materia seca del 38,26%, un porcentaje de proteína del 28,74%, un contenido de energía metabolizable de 2,24 Mcal/Kg y un 24,93% de fibra, mismo que puede ser aprovechado para alimentar herbívoros rumiantes y no rumiantes. La etapa II de fructificación (producción de vaina 2,88 t/ha/año y semilla 10,61 t/ha/año, en materia seca), con un contenido de proteína del 20,29% y 22,70% respectivamente, las vainas podrían ser utilizadas para la alimentación de rumiantes y herbívoros monogástricos, así como, las semillas para alimentar aves y monogástricos.
- La Degradabilidad Ruminal In Situ de la Materia Seca - DRISMS, de la etapa II de fructificación (producción de vaina) a las 72 horas de incubación ruminal es del 90,08% para la semilla y 86,73% para la vaina; dichos valores de digestibilidad son mejores a la Degradabilidad in vico de la Materia Seca DIVMS para la etapa I vegetativa (producción de follaje) que no sobrepasa el 53,40% de digestibilidad ruminal.
- La Degradabilidad In Situ de la Proteína - DRINP, de la etapa II fructificación (producción de vaina) a las 72 horas de incubación ruminal es del 81,95% para la vaina y 64,06% para la semilla dichos valores de digestibilidades superan a las DRINP de la etapa I foliación (producción de forraje) con el 53,38% de digestibilidad ruminal de la proteína.
- La producción de materia seca en la etapa I foliación, es de 51 t/ha/año de MS, y para la etapa II producción de materia seca de la vaina y semilla se encuentra produce de 2,88 t/ha/año de

MS y 10,61 t/ha/año de MS, respectivamente; con lo cual, se concluye que la mayor producción de materia seca es producida por las hojas en bancos de proteína.

- En la sierra ecuatoriana, no se cuenta con recursos forrajeros con potencial productivo, especialmente árboles leguminosos para la alimentación de los animales, por esta razón el porotón sería considerado un árbol multipropósito y una buena opción para utilizarlo en la alimentación animal.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda manejar para la alimentación animal al porotón bajo el esquema de la etapa I foliación (producción de follaje), ya que tiene los niveles más altos de proteína, posee una digestibilidad intermedia y la producción de materia seca por hectárea es alta.
- Se recomienda manejar el porotón bajo la etapa II, para la producción de vainas y semillas ya que estas dos partes tienen valores altos de proteína, fibra, estrato etéreo y materia seca; los cuales, se ajustan con los requerimientos de algunas especies animales.
- Se recomienda realizar estudios de evaluación posteriores de la cinética ruminal de las diferentes partes del porotón para corroborar la calidad nutricional favorable que tiene este recurso forrajero, con los parámetros de desempeño animal y realizar investigaciones de factores anti nutricionales que pueden tener la semilla de esta leguminosa.
- Desarrollar programas de capacitación sobre los usos y beneficios de la *erythrina edulis*. de la misma manera promover un programa de reforestación, en las diferentes zonas del área de estudio para beneficiar a los productores pecuarios.

BIBLIOGRAFIA

- Acero Duarte, L. E. (2002). *Guía para el cultivo y aprovechamiento del Chachafruto o Balú: Erythrina edulis*. Bogotá: ICA.
- Acero, O. (1990). El "chachafruto" *Erythrina edulis* un árbol de uso múltiple en las fincas cafeteras. (U. Distrital, Ed.) *CLIO - CONIF*, 20.
- Allen, M. (1997). *Journal of Dairy Science*. *Journal of Dairy Science*(80), 1447-1462.
- Ball, D., Collins, M., Lacefield, G. D., Martin, N. P., Mertens, D. A., Olson, K. E., & Wolf, M. W. (2001). *Understanding forage quality*. American Farm Bureau Federation Park Ridge.
- Bar Diamond, I. (2017). http://bardiamond.com/Library/InSitu/Articles/In-Situ_Models_Bar_Diamond.pdf. Recuperado el 2017, de http://bardiamond.com/Library/InSitu/Articles/In-Situ_Models_Bar_Diamond.pdf.
- Barrera, N., & Mejía, M. (1998). *Pasado, presente y futuro*. Palmira: ABYA-YALA.
- Bavera, G. (2000). *Tabla de composición química de alimentos*. Obtenido de http://www.produccionbovina.com.ar/tablas_composicion_alimentos/57_1_introduccion.htm.
- Blair, J. (1990). The diversity and potential value of shrubs and tree feeders. (C. Devendra, Ed.) *Shrubs and tree fodders for farm animals*, 2-9.
- Borja, & Lasso. (1990). *Plantas nativas para reforestación en el Ecuador*. Quito-Ecuador: Fundación Natura.
- Briceño-Poot, González, R., Chay-Canul, Ayala-Burgos, Aguilar-Peréz, Soler-Sánchez, & Ku-Vera. (2012). Voluntary intake, apparent digestibility and prediction of methane production by rumen stoichiometry in sheep fed pods of tropical legumes. *Animal Feed Science and Technology*, 117-122.
- Carlson, P. (1990). *Establecimiento y manejo de Prácticas agroforestales en la sierra ecuatoriana. Proyecto DINAC-AID "Apoyo del sector forestal"*. Quito-Ecuador: Red Agro-forestal Ecuatoriana.
- Chavira, J. S., Gonzáles, J. C., Castillo, R. G., Trujillo, R. L., & Ortuño., A. D. (2011). Digestibilidad in situ de la materia seca de tres dietas para ovinos de engorda. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 379-385.
- Cherney, D. (2000). In Foragen Evaluation in ruminant nutrition. *CABI*, 281-385.
- Colombatto, D. (2000). Análisis de alimentos aplicaciones practicas. *Departamento de producción animal*, 1-10.
- Delgado, D., O, O. L., Chongo, B., Galindo, J., Obregón, Y., & Aldama, A. (2001). Cinética de la degradación ruminal in situ de cuatro arboles forrajeros tropicales: *Leucaena leucocephala*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Sapindus saponaria* y *Gliricidia sepium*. *Revista Cubana de Ciencias Agrícola*, 141-145.
- Díaz, T., & Rodríguez, J. (1994). *El Chachafruto (Erythrina edulis Micheli)*. Bogotá, Colombia: Santafe de Bogotá.
- Gorosito, R. (01 de 01 de 1997). *Ergomix*. Obtenido de www.produccion-animal.com.ar.
- Guaita, M. S. (2015). *Algunas consideraciones acerca del análisis de alimentos para rumiantes*. Balcarce: INTA.
- Hernández, J., Sánchez, P., Salado, N. T., Pérez, J. H., García, A. R., Vázquez, I. R., & Núñez, M. M. (2018). Composición química y degradaciones in vitro de vainas y hojas de

- leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 107-120.
- Guevara, D. (2013). Uso de harina de pajuro (*Erythrina edulis*) como suplemento en la alimentación de cuyes - lima. *Peruana*, 16(2), 21-28.
- Jung, H. A. (1995). *Journal of Animal Science*, 73, 2774-2790.
- Kass, D. L. (1994). (R. C. Gutteridge, & H. M. Shelton, Edits.) Oxford: CAB International.
- Krukoff, & Barneby. (1974). *El "Chachafruto" (Erythrina edulis) Metodología ADAC*. Association of Official Agricultural Chemist.
- Laiton, A., Solano del Catillo, A., & Peña, W. (2014). *Determinación de especies vegetativas alternativas en el municipio de Pauna (Boyaca) para el analisis del potencial forrajero y nutrición dirigidos a ganadería de leche especializada*. Chiquinquirá.
- León, R. (2003). *Pastos y Forrajes Manejo y Producción* (Primera ed.). Quito: San Agustín.
- Lojan, I. (1992). *El verdor de los andes*. Quito: Proyecto de desarrollo forestal.
- Martel, A. (1988). *Identificación de sistemas agroforestales Tradicionales Proyecto FAO/Holanda/dgff*.
- Mehrez, A. Z., & Orskov. (1977). The use of a Dacron bag technique to determine rate of degradation of protein and energy in the rumen. 88, 645-650.
- Morillo, M., Visbal, T., Rial, L., Ovalles, F., Aguirre, P., & Medina, A. L. (2013). Alimentación de alevines de *Colossoma macropomum*, con dietas a base *Erythrina edulis* y Soya. *Interciencia*, 121-126.
- Naranjo, J., & Cuartas, C. (2011). Caracterización nutricional y cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 9-16.
- Ocaña, D. (1994). *Desarrollo forestal campesino en la región andina del Perú* (FAO ed.). Lima: Pronamachcs.
- Olaisen, V., Mejdell, T., Volden, H., & Nesse, N. (2003). Simplified in situ method for estimating ruminal dry matter and protein degradability of concentrates. *Journal of animal science*, 2(81), 520-528.
- Orskov, D., & Donal, Mc. (1970). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal Agricultural Science Cambridge*, 499 - 503.
- Owen, A. (1959). *Tablas de Alimentos Colombianos*. Bogotá: Instituto Nacional de Nutrición.
- Pell A., S. P. (1997). In vitro digestibility and gas production. In *Simpósio sobre Tópicos Especiais em Zootecnia*, (págs. 109-132).
- Peralta, I., & Velasco, A. (1985). *Aprovechamiento del género Erythrina L. en la alimentación humana*. Iquitos-Perú: Congreso nacional de botánica.
- Pérez, O. (2010). *Manual para el cultivo y aprovechamiento del chacharuto*. Merida.
- Peters, M., Franco, L., & Schmidt, B. (2003). *Especies Forrajeras Multipropósito*. Cali.
- Pirela, M. (2005). <http://ava.ula.ve/docuPDFs/libros/online/manual.ganaderia/seleccion3/articulo6-s3.pdf>. Recuperado el 22 de 06 de 2017
- Rodríguez, I. (1985). *Estudio morfológico y aspecto fisiológico de semilla de Erythrina edulis triana, en el valle de Lima*. Cuzco: Tambo.
- Roggero, P. P., Bellon, S., & Rosales, M. (1996). Sustainable feeding systems based on the use of local resources. *Annales de Zootechnie*, 45, 105-118.

- Salawu, M., Acamovic, T., Stewart, C. S., & Roothaert, R. L. (1999). Composition and degradability of different fractions of Calliandra leaves, pods and seeds. *Animal Feed Science and Technology*, 181-199.
- Segura, F. (2007). Descripción y Discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de forrajes y alimentos para animales. *Revista de la Facultad de Química Farmaceutica*, 14, 72-81.
- Surco, J. (1987). *Evaluación de minerales nutricios en las semillas de Erythrina edulis*. Cuzco.
- Theodorou, A. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*(48), 185-197.
- Tilley J., y. T. (1963). A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society*, 18, 104-111.
- Van Soest, P. (1994). *Nutritional ecology of the ruminat*. Cornell University Press.
- Veray, & Aranguid. (2014). Implementación de Cánulas ruminales a dos bovinos del Departamento de producción animal. Universidad Técnica de Manabí.