

**PRODUCCIÓN DE PELETIZADO A PARTIR DE FORRAJE DE SOYA
(*Glycine max. L. Merr. var CIGRAS 06*) PARA LA ALIMENTACIÓN EN
BOVINOS DE CARNE Y LECHE**

JORGE ARMANDO BARRIENTOS BLANCO

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de
Bachillerato en Ingeniería en Agronomía.

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS**

2010

**PRODUCCIÓN DE PELETIZADO A PARTIR DE FORRAJE DE SOYA
(*Glycine max. L. Merr. var CIGRAS 06*) PARA LA ALIMENTACIÓN EN
BOVINOS DE CARNE Y LECHE**

JORGE ARMANDO BARRIENTOS BLANCO

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de
Bachillerato en Ingeniería en Agronomía.

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS**

2010

PRODUCCIÓN DE PELLETIZADO A PARTIR DE FORRAJE DE SOYA
(*Glycine max. L. Merr. var CIGRAS 06*) PARA LA ALIMENTACIÓN EN
BOVINOS DE CARNE Y LECHE

JORGE ARMANDO BARRIENTOS BLANCO

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. Milton Villarreal Castro, Ph. D.

Asesor

Ing. Agr. Luis Alberto Camero Rey, M.Sc.

Jurado

Ing. Agr. Wilfrido Paniagua Madrigal, M.G.A.

Jurado

Ing. Agr. Fernando Gómez Sánchez, M.A.E.

Coordinador

Trabajo Final de Graduación

Ing. Agr. Arnoldo Gadea Rivas, M. Sc.

Director
Escuela de Agronomía

2010

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen que han sido mi apoyo incondicional durante cada etapa de mi vida y que me dieron la bendición de poder cumplir mis metas.

A mis padres Jorge Barrientos y Rita Blanco quienes con su gran dedicación, trabajo y apoyo incondicional, me brindaron la oportunidad de estudiar y desarrollarme como persona y profesional.

¡Son mi mayor orgullo!

A Kimberly Alfaro por ser mi apoyo incondicional en todos los momentos buenos y difíciles de mi carrera.

¡Eres mi bendición, te amo!

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Diosito por estar siempre a mi lado, a mis padres, hermanos, amigos, compañeros, profesores y conocidos que me han dado su apoyo para seguir adelante.

Gracias de forma muy especial a mi asesor Milton Villareal por creer en mi trabajo y por su gran apoyo como profesional y amigo.

Gracias a todo mis compañeros de carrera por brindarme su amistad y apoyo durante todos estos años de estudio, en especial a Warren Cubillo Paniagua, Esteban Villalobos Elizondo, Andrés Aragonés Villalobos, Wayler Álvarez, Mauricio Fernández Calvo, Enzo Porras Araica y Daniel Quesada Jimenez.

Gracias a mis abuelos Lilia Alfaro y Eduardo Blanco, a mis tíos Javier Blanco y Pablo Blanco por su ayuda en la construcción del deshidratador de forraje.

Gracias a todos y cada uno de los profesores que me brindaron gran conocimiento y formación profesional, muy especialmente a Milton Villareal, Carlos Ramirez y Arnoldo Gadea, excelentes profesores.

A la empresa TicoFrut y a todo su personal, quienes me brindaron gran ayuda en el proceso industrial; son increíbles profesionales, muy especialmente Ing. Minor Campos por su apoyo en la parte técnica y logística.

Gracias al Ing. Oscar Echeverría por su aporte en el conocimiento técnico para la industrialización.

¡¡¡Gracias, esto no hubiera sido posible sin ustedes!!!

TABLA DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Objetivos del trabajo.....	19
1.1.1. Objetivo general.....	19
1.1.2. Objetivos específicos	19
II. REVISIÓN DE LITERATURA	20
2.1. Características botánicas de la soya	20
2.1.1. Taxonomía.....	20
2.1.2. Morfología de la planta de soya	20
2.1.3. Etapas fenológicas de la planta de soya.....	21
2.1.4. Condiciones climáticas aptas para el cultivo de soya	22
2.2. Generalidades de manejo del cultivo de soya en el trópico.....	24
2.2.1. Siembra.....	24
2.2.2. Fertilización.....	24
2.2.3. Plagas y enfermedades	24
2.2.4. Cosecha.....	25
2.3. Características nutricionales y rendimientos de producción de forraje de soya <i>Glycine max L. Merr. Var CIGRAS 06</i>	27
2.4. Análisis económico del cultivo de soya	29
2.5. Formas de conservación de forrajes	29
2.5.1. Henolaje.....	30
2.5.2. Henificación	31
2.5.3. Ensilado de forraje	32
2.6. Proceso industrial para la peletización de forraje	33
2.6.1. Concepto básico de deshidratación y peletización de forraje	33

2.6.2. Deshidratación de forraje	34
2.6.3. Peletización de forraje	42
2.6.4. Características nutricionales del forraje de soya peletizado	47
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
3.1. Ubicación de la práctica	48
3.2. Periodo de trabajo	49
3.3. Selección y uso de material para peletizar	49
3.3.1. Cultivo de Soya (Glicyne max L. Merr)	49
3.4. Producción de peletizado de forraje de soya.....	50
3.4.1. Elaboración de secador	50
3.4.2. Secado de forraje de soya	51
3.4.3. Proceso de peletizado de forraje	51
3.5. Toma de muestras.....	51
3.5.1. Período de cosecha del forraje	52
3.5.2. Fase de secado del forraje.....	52
3.5.3. Fase de peletización	52
3.6. Variables a evaluar.....	53
3.6.2. Determinación del contenido de materia seca (MS)	54
3.6.3. Determinación de la capacidad de consumo diario de forraje.....	54
3.6.4. Determinación de la concentración de proteína cruda (PC)	54
3.6.5. Determinación de la concentración de carbohidratos estructurales (FND, FAD)	55
3.6.2. Determinación de valor relativo del forraje VRF.....	55
3.6.3. Determinación de tiempo de duración del peletizado de soya en anaquel	55
3.6.4. Determinación de la columna de aire producida por la turbina del secador....	55
3.6.5. Determinación la presión estática dentro del cilindro de secado	56

3.6.6. Cálculo de la capacidad de extracción de agua por un deshidratador para forraje.	57
3.6.7. Determinación de carga de secado	58
3.6.8. Evaluación del gasto energético del deshidratador de forraje.....	58
3.6.9. Determinación de producción de forraje de soya seco por unidad de tiempo en el deshidratador.....	59
3.6.10. Determinación del gasto energético por el secador	59
3.7. Análisis de resultados.....	59
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	60
4.1. Manejo agronómico del cultivo de soya para producción de forraje.	60
4.1.2. Rendimiento en producción de forraje de soya a nivel de campo.....	60
4.2. Descripción del proceso industrial de peletización de forraje de soya.....	64
4.2.2. Cosecha del forraje en campo	64
4.2.3. Diseño y construcción del deshidratador de forraje	68
4.2.4. Proceso de deshidratación de forraje	72
4.2.5. Proceso de peletización de forraje.....	78
4.2.6. Durabilidad del forraje de soya peletizado bajo almacenamiento ordinario	81
4.2.7. Costos de producción de forraje de soya en campo y del proceso de peletización a nivel industrial.	82
4.3. Variables indicadoras de valor nutricional para el forraje de soya en campo y peletizado.....	85
4.3.2. Valor nutricional del forraje de soya producido en el campo y peletizada.....	85
V. CONCLUSIONES	94
VI. RECOMENDACIONES	96
VII. LITERATURA CITADA	97

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1.	Descripción de los diferentes estados vegetativos y reproductivos de la planta de soya <i>Glycine max</i> L. Merr. _____	21
2.	Rendimientos y cualidades del forraje de soya según la madurez al estado de cosecha. _____	26
3.	Distribución y composición de la materia seca (kg ha ⁻¹) en las diferentes partes de la planta de soya cosechada en estado R6. Hacienda Pozo Azul, Sarapiquí. _____	28
4.	Materia seca (MS), Proteína cruda (PC), total de carbohidratos solubles en Neutro detergente (NDSC) Capacidad buffer (CB) para forraje de soya cultivado en el estadio de desarrollo R6. _____	29
5.	Exigencias en forraje fresco según el tamaño de las deshidratadoras _____	41
6.	Efecto del contenido en humedad del forraje sobre la producción de una deshidratadora con capacidad de evaporación de 3500 kg/hora _	42
7.	Diferencias entre las empastilladoras de pistón y las rotativas _____	45
8.	Niveles de materia seca y humedad en el cultivo de soya utilizado y su respectiva carga de secado. _____	66
9.	Efecto del contenido en humedad del forraje sobre la producción de una deshidratadora con capacidad de evaporación de 21,73 kg H ₂ O /hora. _____	67
10.	Poder calorífico de los diferentes sistemas de calefacción _____	77
11.	Pronóstico de gasto por hora de distintos combustibles para el secador utilizado. _____	78
12.	Costos de producción de forraje de soya en campo. _____	82
13.	Costos de producción de forraje de soya peletizado. _____	83

14.	Comportamiento del costo de combustible para deshidratación de forrajes con distintos porcentajes de humedad al momento de ingresar al secador. _____	84
15.	Capacidad de consumo de peletizado y de forraje fresco de soya por unidad animal. _____	86
16.	Valores de digestibilidad de materia seca (DSM) y consumo de materia seca (CMS) estimados en base a fibra ácido detergente (FAD) y fibra neutro detergente (FND) según Mertens (1992), para las distintas fases de la producción de pellets de soya. _____	88
17.	Clasificación de los forrajes según el porcentaje de fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y el valor relativo del forraje (VRF) _____	89
18.	Clasificación de las distintas fases de la producción de pellets de soya según su FND, FAD y VRF. _____	90
19.	Comportamiento del VFR del forraje de soya durante el proceso industrial de deshidratación y peletización. _____	91
20.	Necesidad de consumo diario de forrajes para una vaca lechera de PV=450kg, producción de leche= 6 l, grasa=3,1%, 20 días de lactancia. _____	92

LISTA DE FIGURAS

Figura	Titulo	Página
1.	Secador rotativo simple inclinado de flujo contrario para máxima eficiencia de calentamiento. _____	36
2.	Esquema de una deshidratadora de forraje de un solo paso y de elevada temperatura con molino de martillos y prensa peletizadora. ____	39
3.	Herramienta para medición de presión estática del aire dentro de un cilindro de secado. _____	57
4.	Comportamiento de las lluvias durante el año 2009. _____	61
5.	Incidencia de malezas en el cultivo de soya utilizado para la producción de forraje peletizado. _____	62
6.	Promedio de horas luz, en horas y décimas de hora durante el año 2009. _____	63
7.	Tamaño de partícula después de picado el forraje de soya para un posterior proceso de deshidratación. _____	64
8.	Deshidratador de forraje de temperatura media utilizado en la práctica para el secado de forraje de soya. _____	68
9.	Aspas agitadoras de un deshidratador de forraje de temperatura media utilizado en la práctica para el secado de forraje de soya. _____	70
10.	Agujeros de evacuación de aire húmedo de un deshidratador de forraje de temperatura media utilizado en la práctica para el secado de forraje de soya. _____	71
11.	Diagrama de flujo del proceso de deshidratación de forraje en un secador de temperatura media. _____	73
12.	Gráfica de comportamiento de velocidad de deshidratación de un material orgánico. _____	74
13.	Eficiencia y gasto energético en la deshidratación de forraje con diferentes niveles humedad de campo. _____	76

14.	Diagrama del proceso de peletización de forraje en una granuladora rotativa. _____	78
15.	Forraje de soya peletizado _____	80
16.	Forraje de soya peletizado _____	81

RESUMEN

Utilizando el proceso industrial de peletización de forraje, se deshidrató y pelletizó forraje de soya (*Glycine max.* L. Merr. var CIGRAS 06), además se evaluó el comportamiento del valor nutricional del forraje durante el proceso industrial y en el producto final. Se estableció un área para la producción de forraje de soya con una densidad de siembra de 312.500 semillas por hectárea y se realizó el correspondiente manejo agronómico. Para la deshidratación del forraje obtenido se construyó un prototipo de secador, utilizando un tanque de miel de 16,950 m³ como cilindro de secado, un chasis de camión como soporte y una turbina que proporcionó la columna de aire que fue calentada por un quemador; el combustible utilizado fue gas licuado. El proceso de peletización se realizó con un peletizador proporcionado por la empresa TicoFrut; dicha maquina posee una capacidad de producción de 3 toneladas por hora y éste es impulsado por un motor de 250 Hp.

La producción de forraje de soya en campo fue de 14,56 t/ha en base fresca y de 2,44 t MS/ha, la baja producción de forraje fue por causa del establecimiento del cultivo en fotoperíodo decreciente (setiembre, octubre y noviembre). La capacidad de deshidratación del secador construido fue 7,68 kg/hr de forraje seco, con una capacidad de evaporación promedio de 21,73 kgH₂O/hr, el gasto energético para este secador fue de 4,711 lb/hr de gas licuado. En el proceso de peletización se obtuvo 9 quintales de forraje de soya peletizado, con 75,99 % de materia seca, 16,66% de proteína cruda, 40,20% de fibra ácido detergente, 55,11% del fibra neutro detergente, 14,66% de cenizas y 3,35% de extracto etéreo. El tamaño de partícula del forraje fue de 6,5mm de diámetro y una longitud promedio de una pulgada, la humedad del pellets obtenido fue de 18,41%. Los costos de producción para peletizado de forraje de soya fueron de 423 colones por kilogramo, con gastos elevados en el proceso de deshidratación del forraje, debido a la alta humedad del forraje cosechado en campo.

Palabras claves: Soya, *Glycine max.*, forraje, peletizado, análisis bromatológico, costos.

ABSTRAC

Using the industrial process of making pellets out of forage; soy bean (*Glycine max. L. Merr var CIGRAS 06*) was dehydrated and submitted to the complete process that takes to make the pellet. In addition to this process, the behavior of the nutritional value of the forage was evaluated during the industrial procedure of the final product.

An area was established for the production of soy bean with a density of 312500 seeds per hectare with the agronomic management required. A drying machine was built for the dehydration of the forage using a 16 950 m³ tank of melaza as a drying cylinder, a truck chassis as support and a turbine that provided an air column heated by a burner. The fuel used in this drying machine was LPG. The pellet process was performed with a pellet machine property of TicoFrut. This machine has a 3 ton per hour capacity with a 250 hp engine that moves it. The yield obtained was of 14,56 tons/ha with a total production of dry matter of 2,44 tons per hectare. This low yield was obtained because of the low photoperiod in witch was planted (September, October and November).

The capacity of the drying machine built is of 7,68 kg per hour of dry forage and with an evaporation of 21,73 kgH₂O/hr. The energy required for making this dryer functional is of 4,711 lbs/hr of LP gas. 9 qq of pellet soy bean were obtained during the process with a 75,99% of dry matter, 16,66% of crude protein, 40,20% of fiber acid detergent, 55,11% of fiber neutral detergent, 14,66% of ashes and 3,35% of E.E. The final size of the particle of forage was of 6,5 mm of diameter and an average of an inch of length. The humidity calculated in these pellets were of 18,41%. Production costs for the soy bean pellet were of 423 colons per kilogram, with high costs in the dehydration of the forage due to a high content of water in the harvested soy bean in field.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción lechera en Costa Rica, se han orientado al mejoramiento genético animal y su especialización en producción, lo que ha llevado a la necesidad de utilizar alimentos de alto valor y calidad nutricional para satisfacer la demanda de nutrientes por parte del animal y así lograr explotar su potencial productivo y mantener buenos índices reproductivos.

En Costa Rica según el censo nacional de ganadería realizado por CORFOGA (2000), se reportan 6,408 fincas destinadas a la producción especializada en leche y 7,947 fincas con sistemas de doble propósito. Para el año 2008 según estudios de la Cámara Nacional de Productores de Leche de Costa Rica en conjunto con el Banco Central de Costa Rica se reporta una producción de 889,957.80 kg de leche diarios, con un incremento en la producción con respecto al año anterior de un 3.0%. (Cámara Nacional de Productores de Leche de Costa Rica 2009)

Debido a los tipos de sistemas de producción lechera utilizados, al alto potencial productivo y a la genética mejorada que posee el hato lechero costarricense, se tiene gran dependencia de alimentos concentrados, esto por el bajo valor y calidad nutricional de los pastos utilizados en los sistemas productivos, que influyen de forma negativa en el nivel de consumo de forraje y la disponibilidad de nutrientes requeridos por el animal; dichas características nutricionales en los forrajes están muy influenciados por condiciones climáticas y de manejo, que en algunos casos es deficiente debido a la falta de conocimiento o adopción de tecnología.

Es evidente la necesidad del productor de suplementar sus animales con concentrados para obtener mejor producción de leche. La elección de producir en base a granos se debe al alto aporte energético, proteico y al alto nivel de materia seca que tienen los alimentos, lo que ayuda a suplir la demanda nutricional de la vaca; además, la alta palatabilidad promueve el consumo por parte del animal. Sin embargo, los altos

precios actuales en las materias primas para concentrado, ha llevado a la disminución en la rentabilidad de la producción de leche nacional.

Según un estudio elaborado por la Cooperativa de productores de leche Dos Pinos R.L (2010) en el 2009, se determinó un gasto del 42% de los ingresos de la producción de leche en alimentos concentrado, siendo este el gasto de mayor importancia en la actividad láctea actual.

Las principales materias primas para la elaboración de alimentos concentrados en Costa Rica son el maíz amarillo y la soya en grano; sin embargo, estos granos básicos para la dieta animal se están cotizando con altos valores en el mercado mundial, debido a la creciente demanda para la producción de etanol.

En nuestro país importamos granos, principalmente de Estados Unidos y actualmente este país pronostica utilizar el 25% de los cultivos de maíz, para producir 26.500 millones de litros de etanol para el año 2010, reduciendo las exportaciones de maíz para alimento, según publica el Boletín de Información Agraria y Pesquera de Estados Unidos y Canadá. (Ecoagro 2006)

Este aumento de costos actuales y a futuro en los insumos concentrados para el sector lácteo en Costa Rica, perjudica directamente el sistema productivo, ya que disminuye la rentabilidad en la producción y las utilidades netas de las finca, afectando la inversión dentro de la actividad para su crecimiento.

Buscando nuevas alternativas de alimentación de bajo costo y alta calidad nutricional para los sistemas de producción bovina en nuestro país, se desarrolló la variedad de soya CIGRAS 06, la cual fue obtenida del cruce de Padre x Doucrop, esta última del grupo VII desarrollada en Georgia. Dicho proyecto fue impulsado por el Centro de Investigación en Granos y Semillas (CIGRAS, UCR), con el objetivo de obtener una variedad de soya adaptada a nuestra región de condición tropical, que

proporcionara granos y forraje de soya de alta calidad nutritiva y gran productividad (Tobía *et al*, 2006).

Para efectos de este trabajo, se hace énfasis en el proceso de conservación por peletizado de la variedad de soya 'CIGRAS-06', buscando preservar la calidad y el valor nutricional del forraje de forma más eficiente, además producir un material con características físicas favorables, que mejoren el nivel de consumo de materia seca de los animales de producción lechera en nuestro país.

1.1. Objetivos del trabajo

1.1.1. Objetivo general

Producir alimento peletizado a partir de forraje de soya (*Glicyne max L. Merr*).

1.1.2. Objetivos específicos

- Sembrar y manejar de forma óptima el cultivo de soya (*Glicyne max L. Merr*) para producción de forraje.
- Realizar análisis bromatológico al forraje fresco, obtenido en la cosecha de soya (*Glicyne max L. Merr*).
- Secar mecánicamente el forraje de soya (*Glicyne max L. Merr*) al 12% de humedad, mediante la construcción de un prototipo de secador.
- Peletizar mecánicamente el forraje de soya (*Glicyne max L. Merr*).
- Realizar análisis bromatológico al forraje de soya (*Glicyne max L. Merr*) peletizado para verificar posibles pérdidas de valor nutritivo en el forraje.
- Medir costos de producción desde el cultivo hasta el producto terminado de la peletización.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS DE LA SOYA

2.1.1. Taxonomía

Esta planta pertenece al orden Roseae, familia *Leguminosae*, subfamilia Papilionoideae, tribu Phaseoleae (Venturi y Amaducci 1988) y su género es *Glycine*, el cual abarca las especies con valor económico, botánico y genético, su especie *max* es la soya comestible y comercial (Monge 1989).

2.1.2. Morfología de la planta de soya

La soya se caracteriza por ser una planta anual de porte erecto, las dos primeras hojas son simples y opuestas, las hojas posteriores a estas son trifoliadas y alternas, su parte aérea está llena de tricomas, desarrolla ramas a partir de yemas situadas en las axilas de las hojas inferiores, las flores se desarrollan a partir de axilas foliares; estas plantas pueden ser determinadas o indeterminadas con respecto a la floración (Geoffrey 1983).

Las semillas de soya poseen cubierta seminal que encierra el embrión, este está formado por dos cotiledones que le darán la energía a la planta en la primera etapa de la germinación. Para la germinación de la semilla, las temperaturas óptimas en el suelo son de 25 a 35 °C a una profundidad de 2,5 a 5 cm, dependiendo de la clase de suelo, la humedad del mismo y otros factores (Hinson y Hartwing 1978).





La raíz de la planta de soya es pivotante y su desarrollo radical está influenciado por el manejo al momento de la fertilización (por profundidad y lugar de aplicación) y labranza, otros factores como la textura del suelo y las propiedades físicas y químicas influyen sobre el desarrollo radical, suelos de buena estructura promueven el desarrollo radical (Hinson y Hartwing 1978).









La reproducción de la soya es sexual y la planta es autógama por tanto se autofecunda casi por completo, solo hay un 0,5% de cruzamiento (Geoffrey 1983).

2.1.3. Etapas fenológicas de la planta de soya

Los estadios pueden ser vegetativos ó reproductivos. En la germinación y emergencia la pérdida de ambos cotiledones reduce el rendimiento al 9% en la cosecha, ya que estos generan la energía de la plántula. La pérdida de un solo cotiledón tiene poco efecto (Madrigal 1982).

Cuadro 1. Descripción de los diferentes estados vegetativos y reproductivos de la planta de soya *Glycine max L. Merr.*

Estado vegetativo		
	VE	Emergencia – Los cotiledones son impulsados hasta alcanzar la superficie del suelo.
	VC	Desarrollo de las hojas unifoliadas - Aparecen hojas unifoliadas
	V1	Primera hoja trifoliada – desarrollo de la primera hoja trifoliada
	V2	Segunda hoja trifoliada – establecimiento de la segunda hoja trifoliada
	V4	Cuarta hoja trifoliada - despliegue de la cuarta hoja trifoliada
	V(n)	Desarrollo vegetativo – Continua el desarrollo vegetativo con el despliegue de mas hojas trifoliadas. El despliegue de la última hoja trifoliada depende de la variedad de la planta y las condiciones ambientales.
Estado Reproductivo		

	R1	Inicio de la floración - las plantas tienen al menos una flor por nudo.
	R2	Floración total – Hay al menos una flor abierta, y predomina una o dos flores por nudo.
	R3	Inicio de vainicas – las vainicas tienen 3/16 de pulgada (5mm) y una vainica en uno de los cuatro nudos superiores.
	R4	Vainas completas – vainicas de 3/4 de pulgada (2 cm) en uno de los cuatro nudos superiores.
	R5	Aparición de semillas – semillas con una longitud de 1/8 de pulgada (3 mm) esta longitud de la vaina en uno de los cuatro nudos superiores en el tallo principal.
	R6	Llenado de semilla – vainas con semillas verdes llenas en toda su capacidad de contenido, presentes en uno de los cuatro nudos superiores del tallo principal.
	R7	Inicio de maduración – vainas normales en el tallo principal cuyo color es de una vaina madura.
	R8	Maduración completa - 95% de las vainas han alcanzado su plena madures con la coloración.

Fuente: Pedersen 2003.

2.1.4. Condiciones climáticas aptas para el cultivo de soya

Los factores climáticos como temperatura, luminosidad, humedad, y precipitación condicionan la productividad, el valor y la calidad nutricional de la planta.

2.1.4.1. Temperatura

La temperatura óptima en el suelo para una eficiente germinación oscila entre los 18 y 30°C para lograr una emergencia de tres a siete días, para el inicio del crecimiento vegetativo la temperatura mínima debe ser de 10°C y la temperatura óptima diurna conforme avanza el cultivo es de 25 a 30°C, para las nocturna es

necesario que oscilen entre 18 a 25°C (Monge 1989). La suma de temperaturas se ha utilizado para definir las regiones térmicas aptas para el cultivo, basándose en la temperatura mínima tolerada por la planta de soya, siendo la suma de 600 a 2400°C la adecuada para su desarrollo (Montero y Mata 1988).

2.1.4.2. Humedad y requerimientos hídricos

El cultivo de soya requiere de 500 a 700 mm anuales de agua con una buena distribución durante el ciclo. La escasez de agua en los periodos vegetativos y de reproducción puede afectar los rendimientos de producción, presentándose deficiencia hídricas 2 o 4 semanas antes de la floración, además de provocar aborto floral y de vainas (Monge 1989).

2.1.4.3. Fotoperiodo de la planta de soya

La planta de soya presenta una tasa de llenado de fruto mayor, cuando las plantas se exponen a mayor cantidad de días cortos después de la floración (Thomas y Raper 1976) citado por Geoffrey 1983.

La variedad soya 'CIGRAS-06' pertenece al grupo VII, siendo una planta de floración tardía, adaptada a la zona tropical de nuestro país (Tobía *et al*, 2006).

2.1.4.4. Condiciones edáficas optimas para el cultivo de soya.

El cultivo de soya requiere de suelos profundos de buena fertilidad, livianos que no sobrepase el 40% de arcillas, pero que tampoco sean muy arenosos, el pH óptimo oscila entre 5,7 y 6,5; es importante tener suelos con buen drenaje para evitar encharcamientos que produzcan anoxia en la planta, los contenidos de materia orgánica deben ser no menores al 1,5% pero no mayores al 4% (MAG 1991).

2.2. Generalidades de manejo del cultivo de soya en el trópico

2.2.1. Siembra

Las densidades de siembra para la variedad 'CIGRAS- 06', deben oscilar entre 150 000 a 300 000 plantas/ha, para lograr rendimientos deseables de forraje; la distancia entre hilera debe oscilar de 50 y 60 cm y la distancias entre plantas se recomienda utilizar 15 plantas por metro lineal, la población óptimas es de 300 000 plantas/ha (Tobía *et al*, 2006).

2.2.2. Fertilización

Para una cosecha de 300kg/ha de grano de soya, se requieren de 205 kg/ha de nitrógeno, 55 kg/ha de fósforo (P_2O_5) y 135 kg/ha de potasio (K_2O), con una distribución adecuada durante el ciclo, esto es de acuerdo a las necesidades nutricionales específicas por cada estado fenológico (Monge 1989).

2.2.3. Plagas y enfermedades

El cultivo de soya es afectado por una serie de enfermedades y plagas, de las cuales unas son más importantes que otras dependiendo de la zona y la situación climática de esta, esto se debe a que los factores ambientales que condicionan el comportamiento ecológico, etológico y biológico de un patógeno, siendo el ambiente favorable o desfavorable para su desarrollo. Las principales plagas son las del orden coleóptera donde las principales especies que afectan la soya son la familia Chrysomelidae, la mayoría de insectos son pequeños, sus antenas son cortas, filiformes, clavadas ó aserradas, menos que la longitud del cuerpo, los ojos son laterales medianos, redondos ó marginados. Dentro de los chrysomelidos están los géneros *Diabrotica sp* y *Cerotoma sp*, siendo estos las plagas principales, debido a los niveles de daño que se presentan en tejido foliar, lo que disminuye el área fotosintética de las plantas(Coto y Saunders 2004).

Las principales enfermedades que se presentan en el cultivo de soya son *Fusarium sp.* y *Sclerotium sp.*; produciendo daños en tallo, causando marchitamiento de la planta (Coto y Saunders 2004).

2.2.4. Cosecha

La cosecha de forraje de soya para alimentación de ganado debe ser en el estado fenológico R6, este momento específico de corta del forraje se debe a que la planta ha alcanzado su máximo rendimiento de materia seca y ha iniciado la disminución del contenido de humedad (Undersander 2001). Al finalizar el estado R6 e iniciar el estado R7 existe el problema de pérdida de hojas por senescencia, además de una disminución en el rendimiento de materia seca si la cosecha se realiza después del estado fenológico de R7 (Oplinger *et al*, 1992).

Es importante recalcar que la digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) de las distintas partes de la planta de soya disminuye con la edad, conjuntamente con el incremento en el contenido de lignina, celulosa y otros componentes de la pared celular, siendo el tallo la parte que sufre mayor disminución de la DIVMS (Gupta *et al*, 1973).

Otro factor importante, es que la planta en estado R6 ha realizado el mayor aprovechamiento del nitrógeno atmosférico, fijado mediante la simbiosis con la bacteria *Bradhizobium japonicum* durante la época reproductiva (Harper 1974).

Además, el momento de cosecha de forraje en estado R6 es en menor cantidad de días con respecto al estadio R7, debido a que la diferencia de días entre un R6 y R7 oscila entre 9 y 30 días, dependiendo de la variedad, de manera que se pueden lograr más ciclos de cultivo de forraje en un año, cosechando la soya en estado R6 (Fehr y Caviness 1980).

La cosecha en estado fenológico R6 es ventajoso con respecto a la condición fitosanitaria, ya que se disminuye considerablemente el riesgo de sufrir estrés por invasión de plagas, enfermedades y malezas, lo cual reduce el costo de producción y ofrece la oportunidad de ampliar hasta 7 siembras cada dos años si no se presenta limitantes por parte de las condiciones climáticas (Tobía y Villalobos 2004).

Para reconocer el estadio R6, Undersander (2001) lo describe como el momento en que las semillas de las vainas están totalmente llenas y las hojas inferiores de la planta se tornan de color amarillo. Sin embargo, Pedersen (2003) describe el estadio R6 como el momento en que el cuarto nudo de arriba hacia abajo en el tallo principal posee vainas con llenado completo de semilla.

Cuadro 2. Rendimientos y cualidades del forraje de soya según la madurez al estado de cosecha.

Factor	Estado fenológico	Rendimiento de Material seca	Proteína Cruda	FND	FAD
		(t/acre)	-----%		
Madurez	R 1	1.07	20.11	38.68	28.17
	R 3	1.74	18.07	43.12	31.94
	R 5	2.53	18.21	45.67	33.69
	R 7	3.32	19.22	40.73	29.27

Fuente: Oplinger *et al*,1992

2.3. Características nutricionales y rendimientos de producción de forraje de soya *Glycine max L. Merr. Var CIGRAS 06*

La planta de soya presenta rendimientos de forraje similares a alfalfa *Medicago sativa* cosechada en el estadio de primera floración (Oplinger *et al*, 1992). La excelente calidad nutricional del forraje de soya es comparable con el forraje de alfalfa, esta última posee altos contenidos de proteína y bajos niveles de fibra (Weiss y Shockey 1991). Sin embargo el forraje de soya presenta un mayor contenido de energía que la alfalfa debido a la alta cantidad de grasas (extracto etéreo) que contiene la semilla inmadura de la soya en el estadio R6. (Tobía y Villalobos 2004).

Oplinger *et al.* (1992), indica que la concentración de aceite en el forraje de alfalfa es de 0,2%, mientras que el forraje de soya cosechado en estado R7 posee una concentración de aceite que varía entre un 7 a un 12%, siendo esto favorable, debido a que la energía contenida en la fracción del extracto etéreo (EE) puede incrementar la producción de leche; sin embargo, estos altos niveles de energía podría disminuir el consumo y reducir la digestibilidad de la fibra. Este mismo autor recomienda que la concentración de EE en una dieta no deber superar el 5% del total de la ración de materia seca, si el forraje de soya se cosecha en estado R7, la cantidad de alimento en materia seca, no debe sobrepasar el 50% del total de la ración.

Tobía y Villalobos (2004), mencionan que la mejor variedad de soya forrajera es aquella que produce más semilla, debido a que esta es la que contiene la materia seca con mayor cantidad de grasa y proteína, por ende es importante realizar buenas prácticas de manejo del cultivo, las cuales pueden funcionar tanto para producir semilla así como forraje.

El grano de soya maduro es de alto valor proteico y energético, posee grandes cantidades de minerales; sin embargo, es deficiente con respecto a los aminoácidos azufrados, cistina y metionina. Con respecto a su contenido energético, la semilla de soya posee aceite que representa entre un 18 a un 26% del grano, siendo un aceite de

alta calidad, debido a que la mayoría de sus ácidos grasos son no saturados entre los cuales están: el oleico con un 20%, linoleico con un 52% y linolénico con un 8% (Monge 1989).

La variedad de soya CIGRAS 06 (*Glycine max L. Merr.*) posee altas concentraciones proteicas, en su mayoría en las hojas así como carbohidratos no fibrosos y cenizas (Tobía y Villalobos 2004), estos autores presentan la siguiente información obtenida en un estudio realizado en la Hacienda Pozo Azul en Sarapiquí de Heredia, Costa Rica:

Cuadro 3. Distribución y composición de la materia seca (kg ha⁻¹) en las diferentes partes de la planta de soya cosechada en estado R6. Hacienda Pozo Azul, Sarapiquí.

Parte de la planta	MS	PC	EE	CC	%FDN	CNF
Hojas	1171,2 (24,4 ±1,5)	294 (25,1±3,3)	62,1 (5,3 ± 0,5)	87,8 (7,5±0,3)	310, (26,5±2,4)	416,9 (35,6±2,5)
Tallos y peciolos	1876.8 (39,1 ±2,9)	148,4 (9,2 ±1,4)	22,5 (1,2 ±0,3)	80,7 (4,3±0,9)	1032 (64,0±1,6)	341,9 (21,2±3,6)
Vainas y semillas	1752 (36,5 ±3,9)	438 (29,1±1,1)	204,7 (13,6 ±2)	79,8 (5,3±0,4)	439,5 (29,2±2,2)	341,8 (22,7±1,1)
Planta entera	4800 (26,7 ±2,2)	880,4 (20,2±2,2)	289,3 (6,7 ±1,4)	248,3 (5,5±0,6)	1781,9 (42,2±1,8)	1100,6 (25,4±2,3)

Densidad de siembra 192000 plantas ha⁻¹ (distancia entre surcos 0,80 m)

Valores entre paréntesis significa=valor promedio ± IC 95

(Intervalo de confianza 95%)

MS= materia seca; PC= proteína cruda; EE= extracto etéreo; CC= cenizas

FDN= fibra detergente neutro corregida por cenizas y por proteína cruda

CNF= carbohidratos no fibrosos.

Tobía *et al.* (2008), también muestra en el siguiente cuadro el valor nutricional de forraje de soya CIGRAS 06 cosechado en el estado R6.

Cuadro 4. Materia seca (MS), Proteína cruda (PC), total de carbohidratos solubles en Neutro detergente (NDSC) Capacidad buffer (CB) para forraje de soya cultivado en el estadio de desarrollo R6.

	MS, % DM	CP, % DM	NDSC, % DM	BC, meq./kg DM
Forraje de soya (R6)	24.8 ±1.6	20.2 ±2.2	25.4±2.3	515.2±113.7

Estos valores representan la media de cuatro repeticiones ± intervalo de confianza ($P \leq 0,05$)

2.4. Análisis económico del cultivo de soya

El precio de un kilogramo de concentrado en el 2003 para un productor de leche en Costa Rica fue de \$0,159 con un contenido de proteína de 14%, mientras que los costos de producción de forraje de soya fresco fue de \$0,02 por kg en el mismo año, con un contenido de proteína de 20%, por lo tanto, el forraje de soya de la variedad CIGRAS 06 cosechado en el estado de desarrollo R6 es una excelente alternativa para reducir los costos de alimentación suplementarios en un sistema de producción de leche bajo pastoreo, utilizando un forraje mucho más nutritivo (Tobía y Villalobos 2004).

2.5. Formas de conservación de forrajes

Es necesario tener estrategias de alimentación con recursos endógenos en los sistemas de producción ganadero, esto se debe a que el mejoramiento de la alimentación animal con recursos producidos en la misma finca estimula la intensificación de los sistemas ganaderos, contribuyendo así a reducir la ampliación del área de pasturas en los ecosistemas frágiles, además de solucionar problemas por escasez de alimento en épocas secas o por disminución de calidad del pasto en épocas de excesiva lluvia, ofreciendo alimento a los animales con un mismo valor y

calidad nutricional durante todo el año, con recursos de la finca. Existen distintas estrategias de conservación de forrajes, el tipo de conservación que se utilice en las fincas depende de las condiciones climáticas y económicas (Camero 2008).

2.5.1. Henolaje

2.5.1.1. *Definición de henolaje*

Este sistema consiste en embalar forraje húmedo (aproximadamente a 50% de humedad) y empacarlo con película plástica para lograr condiciones de anaerobiosis y así producir una fermentación similar al ensilado clásico; a diferencia de las pacas de heno, la pastura luego de cortada permanece poco tiempo a la intemperie, por lo que evita de problemas por posibles lluvias en el momento de embalado y empacado (Camero 2008).

2.5.1.2. *Descripción del proceso de henolaje*

El forraje que se desea embalar y empacar inicialmente es cortado con una humedad de entre 75 y 80%, el cual debe ser secado hasta llegar a una humedad de entre 60 y 65% para ser empacado con el plástico; el tiempo de secado varía de acuerdo con las condiciones climáticas de la zona (Undersander 2007).

2.5.2. Henificación

2.5.2.1. *Definición de henificación*

El proceso de henificación consiste en convertir forraje húmedo en forraje seco, para conservarlo durante largo tiempo y ofrecerlo a los animales en el momento de escasez en forma de pacas. Todo forraje cortado y expuesto al sol durante un tiempo prudencial, generalmente 24 horas, pierde entre 75 y 80% de su contenido de agua, estas pacas deben ser almacenadas bajo condiciones de mínima humedad y ventilación suficiente, para evitar degradación del material (Lobo y Díaz 1998).

2.5.2.2. *Descripción del proceso de henificación*

El proceso de producción de pacas de heno es similar al proceso de la silo paca; sin embargo, este primero no utiliza emplastado. El forraje que se desea embalar debe ser cortado con una humedad de entre 75 y 80%, y posterior a esto es secado hasta llegar a un contenido de 30% a 25% de humedad, para luego ser embalado; el tiempo de secado varía de acuerdo con las condiciones climáticas de la zona (Undersander 2007).

2.5.2.3. *Henificación de forraje de soya*

El proceso de henificación no es recomendado para conservar forraje de soya debido a que requiere de un mayor tiempo de secado en el campo, siendo riesgoso por posibles lluvias inesperadas, adicionalmente los tallos de la soya embalada se vuelven quebradizos y es un material muy polvoriento lo que causa disminución en la palatabilidad, sin embargo un buen acondicionamiento en el campo y una cosecha temprana reduce este último problema, pero el rendimiento de materia seca es menor (Undersander 2001).

2.5.3. Ensilado de forraje

2.5.3.1. *Definición de ensilaje*

El ensilaje es un método de conservación de forrajes verde, ya sea de gramíneas ó leguminosas cosechadas en épocas de abundancias, este almacenamiento permite mantener una alimentación uniforme durante todo el año, especialmente en épocas críticas de pastoreo (Camero 2008). El ensilaje consiste conservar forraje con alto contenido de humedad y se basa en la fermentación ácido láctica espontánea del forraje bajo condiciones anaeróbicas. Las bacterias ácido lácticas (BAL), propias del material a ensilar, fermentan los carbohidratos solubles del forraje, produciendo en su mayoría ácido láctico y en menor grado ácido acético (Stefanie *et al*, 1999).

2.5.3.2. *Descripción del proceso de ensilado*

El proceso de ensilado puede realizarse de forma mecánica o manual, primeramente el forraje es cosechado en el campo con una picadora en línea, el tamaño de partícula del forraje debe estar entre 9 y 12 mm (Adams *et al*, 1995), para lograr una compactación eficiente; posterior a la cosecha, el material se acarrea para ser empacado, este empaque puede ser en trincheras, ya sea de cemento o en huecos en el suelo, en silo bolsas, o en ensilajes de chorizo, esto depende de las capacidades económicas de la finca. El compactado es un factor importante para lograr una buena fermentación anaeróbica, enseguida después del compactado se empaca y se da un tiempo mínimo para que se lleve a cabo el proceso fermentativo.

Rojas (1999), describe el ensilaje como un proceso dinámico donde intervienen factores enzimáticos y microbianos encargados de llevar a cabo la fermentación. En este proceso participan los carbohidratos no estructurales ó solubles (CNE-CHS) fácilmente fermentables, siendo el sustrato del cual dependen la acción de la microflora; por ende, a mayor contenido de carbohidratos no estructurales, mejor será

la eficiencia del ensilado. Una vez empacado y sellado el forraje se da el proceso de ensilado, el cual se divide en cuatro fases: La fase de respiración del forraje, la fase de fermentación acética, la fase de fermentación láctica y al final la fase de estabilización del material.

2.6. Proceso industrial para la peletización de forraje

2.6.1. Concepto básico de deshidratación y peletización de forraje

La deshidratación de forraje es un procedimiento que permite obtener una mayor cantidad de materia seca (88-92 %) (Ortiz y Hernanz 1989). Este proceso inició en el Reino Unido en los años de 1930, y consiste en la utilización de aire caliente para evaporación del agua que contiene el forraje una vez que es segado en el campo, mediante este método de secado las pérdidas debidas a la respiración de las células del material se eliminan casi totalmente después de secar, ya que estas no pueden funcionar sin agua (Raymond *et al*, 1977); así también se eliminan las perdidas por microorganismos que causan descomposición, ya que los microorganismos necesitan del agua para funcionar y propagarse (Geankoplis 1998) y además la deshidratación permite recoger el forraje en su estado óptimo vegetativo, reduciendo las pérdidas totales de materia seca (Ortiz y Hernanz 1989).

La reducción de agua en el forraje para mantener condiciones seguras de manejo y almacenamiento del material se denomina carga de secado y se expresa en términos de toneladas de agua por toneladas de forraje seco. Este proceso debe ser aplicado únicamente a forrajes de alto valor nutricional, debido al alto costo del proceso. Existen algunas pérdidas durante el proceso de secado causadas por el hecho de quemarse ó chamuscarse las hojas en el secador y las pérdidas de polvo fino durante el proceso ó durante las operaciones subsiguientes, estas pueden variar desde 3% hasta un máximo de 8% (Raymond *et al*, 1977).

La peletización de forraje consiste en la obtención de una bolita de forraje compacta de un molino que expulsa material a alta presión a través de un dado, utilizando una configuración de rodillos (Porter *et al*, 2008).

2.6.2. Deshidratación de forraje

2.6.2.1. *Manejo del forraje cosechado en campo para deshidratación y peletización*

La deshidratación a altas temperaturas permite desecar forraje tierno con alto nivel de digestibilidad y elevado contenido de humedad en momentos en que la evacuación del agua en el campo no es posible; sin embargo, los costos del proceso son elevados, debido a una mayor carga de secado, por los altos porcentajes de humedad contenida en el forraje que va desde 85% hasta un 90%, de los cuales un forraje con 85% de humedad presenta una carga de secado de 5 a 1 y una humedad de 88% presenta una carga de secado de 6,5 a 1. Para reducir la carga de secado existen alternativas como es el presecado que permite eliminar una parte de la humedad del forraje, ya sea en el campo ó utilizando alguna técnica mecánica de extracción. Reduciendo el contenido de humedad a 75%, se obtiene una carga de secado de 2,6 a 1 y al 70% solo tendríamos una carga de secado de 2 a 1. No obstante, el presecado presenta pérdidas por respiración ó mecánicas de un 5 a un 10%, que se deben comparar con los beneficios del ahorro de carga de secado (Raymond *et al*, 1977).

2.6.2.2. *Extracción mecánica de humedad*

Este sistema consiste en sacar el agua del forraje por medio de presión mecánica, este proceso presenta pérdidas de entre un 10 a un 25% de materia seca, conteniendo entre un 20 y un 40% de la proteína bruta. La fibra extraída es un buen alimento para el ganado pero se debe incluir el jugo obtenido, de lo contrario habría

pérdidas de nutrientes en el alimento que superarían los costos del proceso (Raymond *et al*, 1977).

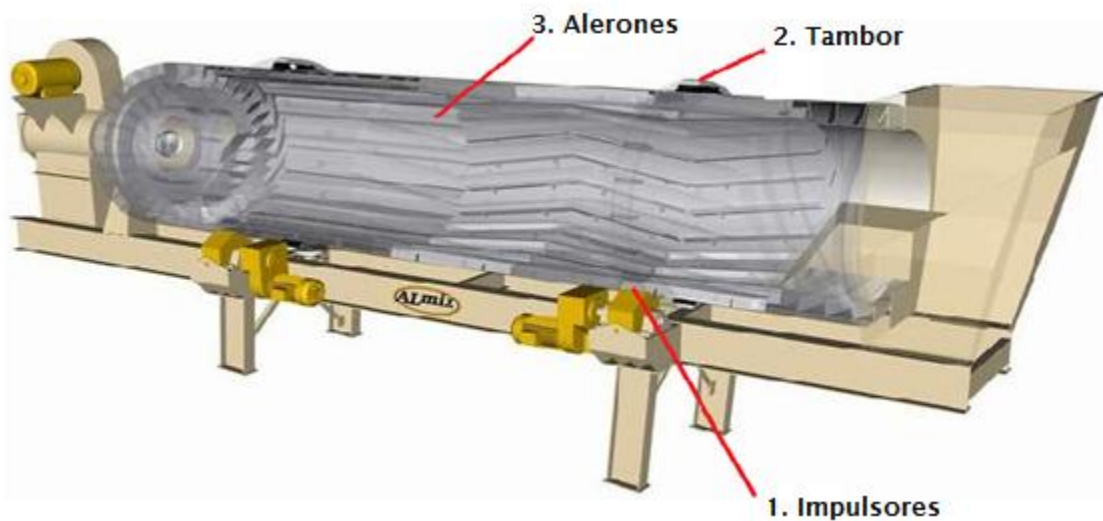
2.6.2.3. *Extracción de humedad en el campo*

Este método consiste en segar el forraje en el campo y acondicionarlo, lo que permite una rápida y uniforme eliminación de agua de los tejidos de la planta; sin embargo, también presenta pérdidas físicas de pequeñas parte de las hojas y de los tallos, además de pérdidas por combustión del forraje en el momento en que es deshidratado, debido a que las hojas se secan más rápido en el campo y se abrazan a los trozos de tallo, los cuales se secan lentamente en la deshidratadora, retrasando el avance de las fracciones más secas (las hojas adheridas al tallo) a través del tambor de secado, lo que ocasiona la combustión de estas. El proceso de extracción de humedad por presión tiene como ventaja particular que el forraje triturado pasa mejor a través del secador que un forraje pre secado en campo, pero las pérdidas de nutrientes en el jugo son altas (Raymond *et al*, 1977).

Para lograr un proceso de pre secado de calidad y uniforme antes de ingresar a la deshidratadora, se puede utilizar una combinación de presecado en el campo y la extracción mecánica de humedad, lo cual permite reducir la variación en los contenidos de agua en el forraje cosechado. Normalmente, sin aplicar dicho procedimiento el forraje tiene intervalos amplios de humedad de entre 70 a 80%, reducir estas variaciones permitiría simplificar el diseño y el funcionamiento de los secadores, el producto se equilibraría más con la capacidad de los equipos para granulado y más aun la programación del momento de cosecha mejorarían, lográndose reducir las variaciones diarias de volumen del producto tratado (Raymond *et al*, 1977).

2.6.2.4. Tipos y características mecánicas de secadores para forraje

Existen secadores de alta temperatura y temperatura media, que pueden ser estacionarios ó móviles, su uso depende del material que se desee secar. Los secadores de alta temperatura son utilizados principalmente para deshidratación de forraje, son de tambor rotativo y su temperatura en la entrada de aire donde ingresa el forraje es de 800-900°C con una temperatura de salida de 120°C (Fig. 1), este tipo de secadores son de menor tamaño pero con la misma capacidad que tienen los de temperatura media, su longitud es del orden de 12 a 18m, mientras que un secador de temperatura media tiene una longitud de 36 m (Raymond *et al*, 1977).



Fuente: almix.com

Figura 1. Secador rotativo simple inclinado de flujo contrario para máxima eficiencia de calentamiento.

La Figura. 1 presenta un secador rotativo simple de flujo contrario, este posee cuatro impulsosres independientes (1) que proporcionan la tracción y el contacto con los anillos del tambor (2); los alerones ó deflectores (3) paralelos de aleta, brindan efectividad adicional a la transferencia de calor del gas a los materiales.

Existen dos tipos de diseño de secadores de alta temperatura de tambor rotativos. El secador de unidad de paso triple, están compuestos por tres tubos concéntricos, donde el forraje pasa rápidamente ayudado por pequeños deflectores a través de la sección central, muy ancha, que luego se devuelve hacia el extremo del quemador por la segunda sección que finalmente sale por la sección exterior. Para este tipo de secadores el forraje debe tener un picado corto y uniforme para evitar problemas de bloqueo o incendios (Raymond *et al*, 1977).

El otro tipo de secador de alta temperatura es con un tambor rotativo de paso único (Fig.1) que pueden tener deflectores (3) o ser de paso único pero sin deflectores. Los deflectores en un secador de paso único tienen como función retardar el paso del forraje, los trozos húmedos del material avanzan progresivamente con un movimiento sincopado que retarda la expulsión hasta el momento en que el material está lo bastante seco para ser arrastrado por la corriente de aire del ventilador, los secadores de tambor rotativo de paso único simples tienen una velocidad de trabajo que es de 5 a 15 rpm y la velocidad de avance del forraje es de 1,5 y 5 cm/s, la duración del material en el cilindro oscila entre 10 y 15 min (Ortiz y Hernanz 1989), en estos secadores se puede procesar fibras más largas de hasta 20 o 25 cm, sin embargo hay riesgo de atascamiento de los materiales húmedos, además la longitud de picado entre 5 y 15 cm puede aumentar el consumo de energía, en el caso del combustible aumentaría en 18 litros por toneladas de producto seco (Raymond *et al*, 1977).

Los secadores de temperatura media de flujo continuo mantienen una temperatura de 150°C en la entrada de aire; en este caso el material es conducido por una banda transportadora a través de la cual se sopla aire caliente. El tiempo que dura el material en pasar el proceso de secado varía de los 20 minutos y una hora, esto depende del diseño del secador y del contenido de humedad del forraje. La uniformidad del secado del forraje en este tipo de máquinas también está influida por el tamaño de la partícula con que se cosechó el forraje, un tamaño de picado muy corto ó fuertemente lacerado crea problemas en el proceso y en el almacenamiento del material, reduciendo también la eficiencia de trabajo. Este problema se puede resolver picando de manera que el tamaño de partícula sea mayor. En algunos secadores se

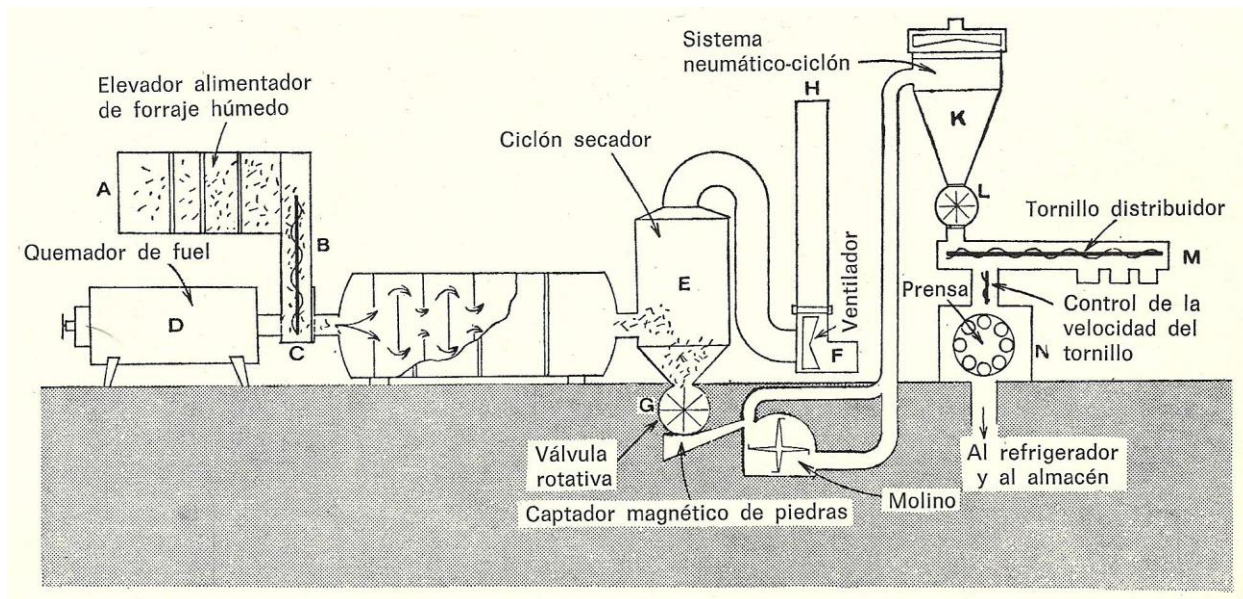
utiliza un agitador, que levanta y deja mullido el forraje parcialmente seco en un punto de la banda transportadora. Otra solución adicional es utilizar el aire caliente que ha pasado a través del forraje más seco al final de la banda y recircularlo mediante un ducto hacia la entrada del ventilador principal (Raymond *et al*, 1977).

La capacidad de evaporación de los secadores de temperatura media es menor a los 3500 kg de agua por hora en un secador con capacidad de producción de una tonelada por hora de forraje seco, con un consumo de 1 litro de combustible para extraer de 9 a 10 litros de agua. A pesar de su baja eficiencia, este secador tiene la ventaja de que sirve para secar forraje que haya sido procesado en el campo ya que es menor el riesgo de quemado del forraje poco uniforme en humedad (Raymond *et al*, 1977).

2.6.2.5. *Proceso de secado de forraje*

El forraje que ingresa a la deshidratadora debe ir picado, el secador (Fig. 2) es alimentado a través de un tornillo sin fin (A) el cual controla la velocidad de alimentación de acuerdo con la temperatura de salida en el ciclón (E), de esta manera el forraje húmedo entra más lento que el forraje seco, este material ingresa a un ducto que dirige el chorro de aire caliente al interior del secador, junto con el forraje, el volumen de alimentación al secador depende de la capacidad de carga de secado de la máquina y de la humedad con que ingresa el material, que al pasar entre la entrada (B) y la salida (E) se separan las partes ligeras (secas) de las partes pesadas (húmedas), esto se debe a que hay partículas como las hojas que se secan con mayor facilidad y rapidez en el campo las cuales son más livianas y pueden ser transportadas por el aire, además estas partículas no deben permanecer mucho tiempo a alta temperatura, porque de lo contrario se quemarían. Las partículas que ingresan al tambor rotativo tanto las que están secas como las que aun están húmedas y se secan rápidamente, son sopladas hasta el ciclón recolector (E) y pasan por una válvula rotativa (G), las partículas pesadas y húmedas que se secan lentamente (tallos, peciolo etc) caen al cilindro de secado el cual por su rotación las transporta lentamente hasta que están secos y pasan al ciclón, el aire húmedo es expulsado por un ventilador (F) y una

chimenea (H), el tiempo que tarda una cantidad de material en pasar el tambor varia de entre 0,5 y 2 minutos. Las piedras y algunos otros materiales ajenos al forraje deben ser separados antes de ingresar al mecanismo de elevación utilizando mecanismos apropiados (Raymond *et al*, 1977).



Fuente: Raymond *et al*, 1977.

Figura 2. Esquema de una deshidratadora de forraje de un solo paso y de elevada temperatura con molino de martillos y prensa peletizadora.

2.6.2.6. Fuentes de energía para secado de forraje

Existen distintas fuentes de energía para el uso en secadores, tales como el gas propano, de origen vegetal (leña o carbón), aceite reutilizado, diesel, electricidad y gas metano. Cada material posee un poder calórico característico, el cual puede variar según la forma directa ó indirecta como se utilice para secar los materiales (Ortiz y Hernanz 1989).

2.6.2.7. Factores que influyen sobre la velocidad de producción de forraje seco en los deshidratadores.

La velocidad de producción de forraje seco por un deshidratador está influida la humedad presente en el forraje, la capacidad de evaporación de agua del secador y la cantidad de forraje con que se alimente el deshidratador.

La alimentación de forraje al sistema de secado debe ser planificado para mantener el máximo rendimiento del secador. La cantidad de forraje que ingresa al secador depende del grado de humedad que posea el material como se mencionó anteriormente, y la capacidad de trabajo de la máquina deshidratadora, para ello se debe establecer un programa de cosecha en campo que supla con eficiencia la cantidad de forraje que requiere el secador por hora durante el día; es necesario que la maquinaria de cosecha tenga el tamaño adecuado para suplir esta cantidad de material que debe ingresar al secador (Raymond *et al*, 1977).

En el cuadro 5 se observa una comparación en la capacidad de producción de forraje seco que tiene distintos deshidratadores según su capacidad de evaporación de agua; sin embargo dicho rendimientos de producción de forraje seco y la alimentación de la maquina, está influido de forma directa por el contenido de humedad en el material a deshidratar (Raymond *et al*, 1977).

Para lograr obtener el máximo rendimiento del secador es necesario medir la humedad en el forraje que va a ingresar a la máquina y tener un buen plan de alimentación al secador, basado en la información que se tenga del forraje que llega del campo, de esta manera se puede determinar la necesidad de forraje húmedo que debe estar disponible durante el día.

Cuadro 5. Exigencias en forraje fresco según el tamaño de las deshidratadoras

	Capacidad de evaporación de la deshidratadora en kg de agua/hora			
	2250	3500	4500	9000
Forraje húmedo 80%				
Producción de forraje (kg) con 10% de humedad	640	1000	1280	2560
Forraje requerido en (t/hora)	2,9	4,5	5,8	11,6
Forraje requerido en (t/24horas)	70	108	140	280
Forraje húmedo 75%				
Producción de forraje (kg) con 10% de humedad	860	1350	1710	3440
Forraje requerido en (t/hora)	3,1	4,9	6,2	12,4
Forraje requerido en (t/24horas)	75	118	149	298

Fuente: Raymond *et al*, (1977)

Es importante tomar en cuenta el tiempo de descanso en el día de los operadores de cosecha y las posibles averías, esto último se puede controlar manteniendo una máquina de reserva para cosecha, En horas de la noche debe haber material para secar, por esto es necesario cosechar en el día lo que se utilice en el secador durante las 24 horas, manteniendo material almacenado para las horas de la noche. Por tanto, si las distintas fases de operación no están proporcionadas dentro de un sistema bien equilibrado, el rendimiento final, puede quedar por debajo de los niveles esperados (Raymond *et al*, 1977).

Para realizar el programa de operación de la planta industrial, es necesario tomar en cuenta el clima de las distintas épocas del año que influyen sobre el contenido de materia seca y la humedad en el cultivo, ya que a mayor humedad en el forraje, mayor la carga de secado y menor la producción de material deshidratado. En el cuadro 6 se observa la influencia de la humedad contenida en el forraje sobre la producción de forraje seco en el secador.

Cuadro 6. Efecto del contenido en humedad del forraje sobre la producción de una deshidratadora con capacidad de evaporación de 3500 kg/hora

Contenido de humedad en el forraje (%)	Carga de secado en toneladas de agua por tonelada de forraje seco	Producción de una deshidratadora de 1 tonelada por hora (ton/hora)
87	5,92	0,59
82-85	4, 00- 500	0,88-0,70
80	3,50	1,00
75	2,60	1,35
78	3,09	1,13

Fuente: Raymond et al. (1977)

2.6.2.8. Costos de secado

La deshidratación de forrajes tiene altos costos durante el proceso de producción, la eficiencia con que se produce pellets y la calidad del producto mismo, determina el éxito económico y la aceptación en el mercado. Los costos directos son muy variables de ahí la importancia de una buena operación de la planta industrial ya que cualquier disminución en la producción provoca un aumento en los gastos de operación. La implementación de este proceso debe ser manejado por especialistas y mano de obra calificada para asegurar su eficiencia y eficacia, además debe dirigirse a un mercado con capacidades de pago del producto y consumo ó bien crear cooperativas de pequeñas explotaciones de ganadería, para poder invertir en la construcción y manejo de una planta de producción de forrajes peletizados (Raymond et al, 1977).

2.6.3. Peletización de forraje

Los forrajes deshidratados sueltos presentan problemas de almacenamiento y suministro, por esta razón es necesario utilizar sistemas de ventilación para evitar problemas de enmohecimiento y calentamiento, siendo esto último un problema debido a que reduce el valor nutricional del forraje. El forraje seco es de partícula pequeña, por

ende el almacenamiento de este requiere de un sistema de ventilación que distribuya el aire de forma más eficiente, con un diseño que reduzca la profundidad de forraje que debe atravesar el aire, a unos 1,5 m ya que la presión estática de 45 f.p.m es casi el doble del equivalente para pacas de heno. Otra solución es aumentar el tamaño de picado del forraje, sin embargo esto disminuye la densidad favoreciendo la ventilación pero aumenta el volumen para el almacenaje (Raymond *et al*, 1977).

Por las razones anteriores es necesario buscar otro tipo de presentación del forraje que aumente la densidad en la partícula antes de almacenarse o suministrarse al ganado.

2.6.3.1. Tipos de peletizados y características mecánicas de peletizadora

Existen distintos tipos de presentaciones de pellets, entre ellas están las Briquetas, en las cuales el forraje picado y secado es comprimido por una prensa de pistón, esta requiere un proporción de forraje con partícula larga, los granulados son forraje comprimido mediante una prensa radial ó rotativa y los cobs ó pastillas que son forraje comprimido en una prensa radial pero con un tamaño intermedio entre briquetas y granulado (Raymond *et al*, 1977). La diferencia entre los gránulos y las pastillas está en que los gránulos se forman cuando se aglomeran los productos molidos y las pastillas son fibras compactadas (Ortiz y Hernanz 1989).

Las prensas para briquetas son hechas para producir elementos de forrajes deshidratados que contengan partícula larga, que suministren fibra larga para vacas lecheras, estas briquetas tienen un diámetro de 5 a 6 cm y con una densidad de 400 a 500 kg/m³ y una longitud promedio de 6mm, Una prensa que produce briquetas de un diámetro de 5cm tiene una capacidad de producción de media tonelada por hora. Este tipo de pellets presenta problemas de consistencia, la manipulación causa deformación en las briquetas, existe riesgos de atragantamiento por el animal debido al tamaño del material con un tamaño mayor a 5cm y además existe desperdicio por los animales cuando lo consumen (Raymond *et al*, 1977). La máquina para producir estas briquetas

es de funcionamiento discontinuo debido a que es una prensa de pistón como se ha mencionado anteriormente (Ortiz y Hernanz 1989).

Las presentaciones granuladas son fáciles de almacenar y de manejar, su pequeño tamaño es ideal cuando se suministra en las raciones mixtas, sin embargo sus costos de producción son elevados debido al uso de molinos de martillo y de prensas (Raymond *et al.* 1977).

Las presentaciones de gránulos y de cobs ó pastillas, se realizan con peletizadora de funcionamiento continuo entre ellos están:

- a) Prensa de tornillo sin fin cónico.
- b) Prensa de rodillos rugosos.
- c) Prensa con rodillos con anillo de matrices.
- d) Prensa de rodillos con disco de matrices.
- e) Prensa de rodillos de matrices. Es una combinación de la prensa de rodillos con la de matrices.
- f) Prensa de engranajes. El forraje es aplastado entre los dientes de dos grandes engranajes.

En el cuadro 7 encontramos diferencia entre empastilladoras de pistón ó rotativas, para cada una se presentan las ventajas y las desventajas del producto para el ganado. Con respecto a las empastilladoras se incluye que tienen la opción de mezclar distintas fuentes de alimento para crear una ración completa para ganado incluso se puede poner aditivos al fabricar las pastillas; sin embargo, en este tipo de presentación no se deben utilizar elementos molidos finos debido a la baja digestibilidad para los rumiantes (Ortiz y Hernanz 1989).

Cuadro 7. Diferencias entre las empastilladoras de pistón y las rotativas

	Ventajas	Inconvenientes
De pistón	Mayor duración de las pastillas Mejor digestibilidad de las pastillas para el ganado vacuno.	Rendimiento bajo (300-500 kg/ha). Gran consumo de energía.
Rotativas	Alto rendimiento (diez veces al anterior) Coste más bajo	Poca uniformidad en los componentes de la pastilla (mayor proporción de elementos finos). Menor digestibilidad para el ganado vacuno.

Fuente: Ortiz y Hernanz (1989)

2.6.3.2. *Proceso de peletización*

Una maquina empastilladora de prensa con rodillos con anillo de matrices requiere de hasta 50 CV por tonelada por hora y la velocidad de trabajo está influenciada por la humedad contenida en el forraje (a niveles bajos de humedad mejora el rendimiento), por los nivel de molienda con que ingresa el material seco a la máquina ó cuando el forraje proviene de plantas poco maduras (Raymond *et al*, 1977). Para lograr un proceso óptimo de granulación del forraje es necesario que el material deshidratado ingrese con una humedad no mayor al 12% (Ortiz y Hernanz 1989) y el tamaño de partícula de forraje que ingresa a la maquina deber ser menor a 7mm.

El proceso de peletización inicia con el ingreso del forraje de forma continua a la cámara de granulación, esta posee una prensa de rodillos que presionan el material sobre una matriz, la cual pose agujeros que son el molde de los gránulos. Estos rodillos gemelos giran cada uno sobre su propio eje y a las vez ambos están pegados a un rotor que giran en un eje común, con el fin de desplazar los rodillos sobre la superficie de la matriz; este trabajo mecánico se encarga de presionar el material para que pase a través de los agujeros de la matriz por una presión extrema, el material extruido es

cortado por un cuchillo a una longitud deseada, esto según el ajuste que se le dé (King 1999).

2.6.3.3. *Fuentes para aglutinación en el proceso de peletizado*

Durante el proceso de peletización se debe aplicar melaza, almidón de yuca al 12% ó algún tipo de aglutinante sintético ¹ incluso puede ser agua pulverizada, para lograr una buena consistencia del pellet.

2.6.3.4. *Características físicas del forraje peletizado*

Las pastillas que salen de la peletizadora tienen una humedad de 12 al 15% y una densidad de 700-900 kg/m³, una vez que está amontonado este tiene una densidad baja de 400-500kg/m³ (Ortiz y Hernanz 1989).

Sin embargo Raymond *et al.* (1977) menciona que las pastillas y gránulos más aceptados por los animales son los que tienen un diámetro de entre 12, 5 a 18 mm con una longitud del doble de su diámetro, lo que favorece el transporte mecánico; la densidad bajo estas especificaciones es de 1200 kg/ m³ y una densidad en conjunto de 800kg/m³.

2.6.3.5. *Almacenamiento del forraje peletizado*

Para lograr un peletizado que tenga una duración mínima de 6 meses en almacenamiento, es necesario que el pellets salga de la máquina con una humedad máxima de 13,5% ², una vez formado el pellets, es necesario enfriar el material a temperatura ambiente para evitar que sude y se forme enmohecimiento cuando se encuentra almacenado (Raymond *et al.*, 1977).

¹ Tobía, C. 2008. Peletización de Forraje (correo electrónico). Venezuela

² Campos, M. 2009. Peletización de naranja (entrevista). Alajuela, CR, Tico Fruit.

Para almacenar el pellets es importante tomar en cuenta densidad de la partícula y la densidad cuando se encuentra amontonado el material así como su materia seca, esto para definir las especificaciones del diseño del edificio donde se va almacenar el material. Mediante dichas características del material podemos determinar el tamaño de la estructura, el espesor de las paredes (mediante la determinación de las fuerzas horizontales) y el espesor del piso (mediante la determinación de las fuerzas verticales) (Kammel 1996). Los alimentos peletizados tienen una densidad de 700-900 kg/m³ y amontonado 400-500kg/m³ (Raymond *et al.* 1977).

Por ejemplo si tenemos una cantidad de 20 toneladas de forraje peletizado y este tiene una densidad de 500 kg/m³, el volumen del almacén debe ser de 20000kg dividido entre 500kg/m³, tenemos que el volumen requerido es de 40m³ (Tyson y Graves 2004).

Por otro lado, la temperatura y la humedad son factores que afectan la vida de almacenamiento, las altas temperaturas provocan la formación de moho. En general el deterioro del alimento es causado por mohos y hongos, ranciando el alimento y secundariamente provoca fermentación (Kammel 1996).

2.6.4. Características nutricionales del forraje de soya peletizado

La disminución del tamaño de la partícula del forraje debida al proceso de peletización aumenta la ingesta voluntaria del alimento, sin embargo aumenta la tasa de pasaje en el rumen, disminuyendo la digestibilidad de la fibra así como bajando la producción de metano y disminuyendo la relación de ácido acético y ácido propiónico en el rumen, estos cambios tienden a incrementar la eficiencia en la digestión de la energía para el engorde pero disminuye la grasa en la leche de las vacas lactantes, pero esta disminución en la digestibilidad debido al incremento de la tasa de pasaje, puede ser compensado con el aumento de la ingesta (Van Soest 1982).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la práctica

La presente práctica de especialidad se llevó a cabo en cinco fases distintas, la fase de producción del forraje de soya de la variedad CIGRAS 06 perteneciente al CIGRAS de la Universidad de Costa Rica, la fase de la construcción del secador, la fase del secado del forraje, la fase de peletización del forraje de soya seco y la fase de análisis bromatológicos del producto.

La fase de producción del forraje de soya se efectuó en las parcelas de producción pertenecientes a la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Sede San Carlos), ubicado a 10° 20 minutos latitud norte y 84° 32 minutos longitud oeste, en la localidad Santa Clara, distrito Florencia, cantón San Carlos, provincia Alajuela. La Sede se encuentra a 172 m.s.n.m, cuya clasificación de la zona es bosque tropical húmedo, transición a muy húmedo. Su situación climática presenta una temperatura promedio anual es de 26 °C con 85% de humedad relativa y una precipitación anual que oscila entre los 2500 y 3000 mm.

La fase de construcción del secador de forraje se realizó en el taller familiar ubicado en el caserío del Tanque de La Fortuna, San Carlos.

La fase de pruebas de las máquina para deshidratación y el secado del forraje de soya se realizó en los talleres de mecanización agrícola pertenecientes a la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Sede San Carlos).

La etapa de peletización del forraje de soya secado en el ITCR, se realizó en la planta de TICO FRUIT, ubicada en la Palmera, distrito Agua Zarcas, cantón San Carlos, provincia Alajuela.

Por ultimo la fase de análisis bromatológico del producto se realizó en los laboratorios de Nutrición Animal y de Agrostología pertenecientes a la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Sede San Carlos).

3.2. Periodo de trabajo

El proyecto inició el 21 setiembre del 2009, día en que se realizó la preparación del terreno para la siembra del cultivo de soya de la variedad CIGRAS 06, y finalizó en el mes de octubre del año 2010 con el análisis bromatológico de laboratorio del forraje de soya peletizado.

3.3. Selección y uso de material para peletizar

El peletizado se realizó utilizando forraje de soya (*Glycyne max L. Merr*) de la variedad CIGRAS 06, obtenida por la Universidad de Costa Rica, este cultivo es utilizado como suplemento de forraje, debido a su alto contenido de proteínas, grasa y por su alto rendimiento forrajero en el campo.

El forraje de soya se cosechó a finales del estadio fenológico R5. El material cosechado se picó a 7mm, utilizando una picadora de forraje de tercer punto en línea marca *FERABOLI 343*, de fabricación Italiana.

3.3.1. Cultivo de Soya (*Glycyne max L. Merr*)

La Soya que se utilizó en el trabajo pertenece a la variedad CIGRAS 06, la cual fue cultivada en las parcelas del Instituto Tecnológico de Costa Rica. El material a producir se cultivó a una distancia de siembra de 80 cm entre hileras y 4 cm entre plantas, con una densidad de siembra calculada de 312'500 plantas por hectárea. Para la limpieza del área de cultivo se utilizó un control de malezas químico con Glifosato, antes de realizar la siembra y Fusilade (Fluazifop-butil) como post emergente, así también se utilizó control mecánico entre las hileras, para evitar influencia de las

malezas sobre el valor nutricional del forraje peletizado. La cantidad de material verde que se procesó fue de acuerdo con la capacidad de trabajo que tuvo el secador construido. La cosecha del forraje se realizó a 4 pulgadas de altura sobre el nivel del suelo.

3.4. Producción de peletizado de forraje de soya

3.4.1. Elaboración de secador

Para el secado del forraje de soya se construyó un secador rotativo, el cual utilizó gas propano como fuente de energía calórica, y electricidad como fuente de energía mecánica para el movimiento rotativo del cilindro y de la turbina, la cual produjo una columna de aire que pasaba por una flama de fuego para ser calentado y utilizado para deshidratar el forraje. El secador contó con un cilindro metálico, de 1,46 m de diámetro y un largo de 3,76 m. El movimiento rotacional fue impulsado por un motor eléctrico de 1725 rpm, 3 hp y 230 voltios, en el interior del tanque se instalaron unas aspas para lograr movimiento del forraje dentro del tanque. La columna de aire fue producida por una turbina de 34 cm de diámetro y 50 cm de ancho, movida por un motor eléctrico similar al mencionado anteriormente. El quemador que calentó el aire fue instalado directamente al flujo de entrada de aire en la turbina, para logran alta temperatura al inicio de la columna de aire. Todos los componentes mencionados anteriormente se instalaron sobre un chasis de camión, mientras que todo el sistema se monto sobre un eje, lo cual facilitó el transporte de la maquina al lugar de trabajo.

Todo el material utilizado provino de equipos viejos que estaban para desecho, esto con el fin de obtener una máquina de bajo costo para las pruebas y que se adaptara al tamaño de proyecto en el que se trabajó.

3.4.2. Secado de forraje de soya

El proceso de secado del forraje de soya se realizó en el secador construido. El material seco debía tener una humedad de 12%; así, la temperatura de secado fue de 60 °C para evitar la degradación de la proteína que posee el material³. El tiempo del proceso y la cantidad de material que se procesó, dependió de la capacidad que tuvo la máquina, la cual fue probada con anticipación para lograr establecer los parámetros de tiempo y producción.

3.4.3. Proceso de peletizado de forraje

La peletización del forraje de soya secada, se realizó en la maquina peletizadora de la planta de TICO FRUIT, esta máquina tiene una capacidad de trabajo de 3 toneladas por hora, y posee una matriz con orificios de 6,5 mm de diámetro. Es importante que los orificios en una matriz para peletizado de forraje sean mayores a 5 mm. La humedad del forraje debe estar entre 10 y 12% para ingresar a la peletizadora³.

3.5. Toma de muestras

Se tomaron muestras de forraje de soya en el campo para determinar el rendimiento del cultivo y valores nutricionales del forraje y el contenido de materia seca, antes de ser sometido a proceso industrial.

Se sacaron muestras del forraje deshidratado, para determinar el contenido de materia seca y el valor nutricional del mismo.

Una vez peletizado el forraje de soya, se sacó una muestra para determinar el valor y la calidad nutricional del pellets, así como el contenido de materia seca.

³ Tobía, C. 2009. Peletización de forraje de soya (correo electrónico). Venezuela.

3.5.1. Período de cosecha del forraje

Cuando la soya estuvo en finales del estadio R5 se tomaron 10 muestras directamente en la zona del cultivo, cada una de 2 metros lineales en distintas hileras del cultivo, con una distribución al azar, estas se pesaron y se les determinó el rendimiento de forraje que tuvo el cultivo de soya en el área. Durante la cosecha del forraje se tomaron muestras del material y se llevaron al Laboratorio de Agrostología de la Escuela de Agronomía de Instituto Tecnológico de Costa Rica donde fueron pesadas, secadas y molidas para análisis posteriores de contenido de MS, PC, Contenido de Cenizas (CC), EE, FAD y FND.

3.5.2. Fase de secado del forraje

La segunda fase de muestreo se llevó a cabo en el momento de secado del forraje. Para este muestreo se extrajeron dos muestras de 1 kg cada una, la primera muestra fue antes de ingresar el material al secador y la segunda muestra se tomó directamente del secador una vez que estuvo seco el forraje, posteriormente las muestras fueron pesadas y luego secadas en la estufa durante 72 horas, posteriormente se pesó la muestra para determinar MS, luego fueron molidas para la determinación de contenido de PC, CC, EE, FAD y FND.

La determinación del tiempo de secado se realizó mediante muestreos para determinar el porcentaje de humedad extraída en el forraje, esto se realizó en el laboratorio de agrostología, las muestras se extrajeron directamente del cilindro obteniendo una cada dos horas.

3.5.3. Fase de peletización

Una vez peletizado el forraje, se tomó una muestra de cada quintal obtenido y se determinó su peso, posteriormente se secó en la estufa durante 72 horas para

determinar % MS, luego se molió para determinar el contenido de PC, FAD, EE, Contenido de Cenizas (CC) y FND.

También se realizó una prueba para determinar el tiempo de duración en almacenaje, esto fue por medio de observaciones para identificar el momento en que aparecen indicadores de degradación del material, como por ejemplo micelio de hongos.

3.6. Variables a evaluar

Se determinaron contenidos de materia seca del forraje obtenido en el campo, de los materiales obtenidos en el proceso de secado y peletizado del forraje de soya, este procedimiento fue realizado en el laboratorio de Agrostología de la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Los análisis químicos para estimación del valor nutritivo fueron realizados en el laboratorio de Nutrición Animal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y la determinación del tiempo de duración en almacenaje del pellets de soya, fue realizado en la Finca de Jorge Barrientos Alfaro.

En la fase industrial de secado, se determinó la columna de aire producida por la turbina del secador, la presión estática dentro del cilindro de secado, la humedad extraída por hora, la carga de secado, la producción de forraje seco por hora, así como el gasto energético en Unidades Térmicas Británicas (BTU) y en libras por hora de gas que se utilizaron para deshidratar el forraje.

Finalmente, para la evaluación de los costos de producción, se determinó el costo por kilogramo de forraje de soya peletizado, donde se incluyó el costo de producción de forraje en el campo, el costo de deshidratación del forraje y el costo de peletización.

3.6.2. Determinación del contenido de materia seca (MS)

El contenido de materia parcialmente seca se obtuvo mediante el secado de la muestra a 55 °C por 72 horas en un horno de aire forzado. El peso de la muestra seca a 55 °C se le determinó una vez que se retiró de la estufa. Posteriormente las muestras fueron molidas en un molino Wiley con criba de 1mm.

El contenido de materia seca total, se determinó multiplicando el contenido de materia parcialmente seca, por el resultado de la determinación de materia seca a 105°C. La materia seca a 105°C se realizó en un horno a dicha temperatura durante 8 horas.

3.6.3. Determinación de la capacidad de consumo diario de forraje

Para determinar la capacidad de consumo diario de forraje (CCF) de una vaca, se debe conocer la capacidad de consumo de materia seca (CMS), la cual se obtiene de dividir ciento veinte entre el porcentaje de la fibra neutro detergente en materia seca (FND_{%MS}); las unidades obtenidas en esta ecuación son, kilogramos de materia seca por cada cien kilogramos de peso vivo (PV) del animal. Una vez obtenido el CMS, se divide entre la materia seca total (%MS_{total}) del forraje en cuestión y se multiplica por el peso del animal dividido entre cien (Mertens 1992).

$$\text{CMS en kg/100 P.V} = 120 / \text{FND}_{\% \text{MS}}$$

$$\text{CCF} = (\text{CMS} / \text{MS}_{\text{total}}) \cdot (\text{PV}/100)$$

3.6.4. Determinación de la concentración de proteína cruda (PC)

La cantidad de proteína cruda se determinó según concentración de nitrógeno total utilizando el método combustión (Dumas) utilizando el equipo Rapid N cube (Elementar, Hanan Alemania).

3.6.5. Determinación de la concentración de carbohidratos estructurales (FND, FAD)

La determinación de carbohidratos estructurales se realizó utilizando el método descrito por Van Soest y Robertson (1985), utilizando el sistema de tecnología de ANKOM para la Fibra Acido Detergente y la Fibra Neutro Detergente (ANKOM 2000).

3.6.2. Determinación de valor relativo del forraje VRF

El valor relativo del forraje (VRF) se determinó utilizando las variables de consumo de materia seca (CMS), en kilogramos por cada 100kg de peso vivo y el porcentaje de digestibilidad de materia seca (DMS). Para determinar el CMS se utilizó el porcentaje de fibra neutro detergente (FND) y para la DMS se utilizó el porcentaje de la fibra ácido detergente (Linn y Martin 1999).

$$\text{CMS en kg/100 P.V} = 120 / \text{FDN}_{\% \text{MS}}$$

$$\% \text{ DMS} = 88.9 - (0.779 \cdot \text{FAD}_{\% \text{MS}})$$

$$\text{VRF} = (\text{CMS} \cdot \text{DMS}) / 1.29$$

3.6.3. Determinación de tiempo de duración del peletizado de soya en anaquel

El material peletizado obtenido en TICO FRUIT fue almacenado en una bodega en condiciones normales que podría un ganadero tener en su finca, con el fin de evaluar el tiempo de duración del peletizado de soya en buen estado. Este tiempo es determinado desde que sale el pellets de la máquina hasta el momento en que se inicie el proceso de putrefacción del material almacenado en la finca.

3.6.4. Determinación de la columna de aire producida por la turbina del secador

La columna de aire que ingresa al cilindro de secado se determinó mediante el uso de un anemómetro para medir la velocidad con que sale el aire de la turbina, con

este resultado se utilizó una fórmula para obtener la columna de aire ó caudal de aire lo cual dice que caudal ($Q = m^3/h$) es igual a la multiplicación de la velocidad del aire por el área del ducto, donde el área del ducto se determina multiplicando π por el radio del ducto elevado a la dos.

Área del ducto:

$$A = \pi r^2$$

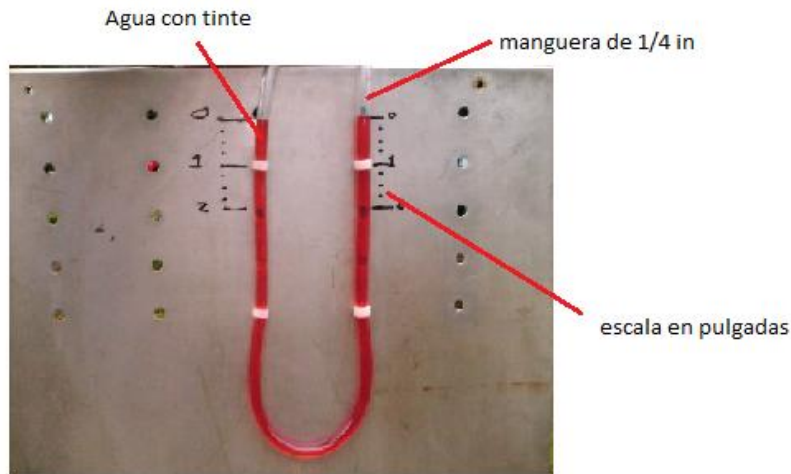
Columna de aire:

$$Q (m^3/h) = \text{velocidad (m/s)} \cdot \text{Área del ducto (m}^2\text{)}$$

3.6.5. Determinación la presión estática dentro del cilindro de secado

La presión estática dentro del cilindro de secado es una medida que se obtiene de la presión perpendicular que ejerce el aire sobre una superficie de agua, esta presión es perpendicular a la dirección en que se desplaza el aire dentro del cilindro de secado. Para determinar dicha presión se utilizó un implemento que indicó la variación en pulgadas de agua según la presión que ejerció el aire, la posición del medidor de presión estática fue en forma perpendicular a la dirección del aire que se desplazó dentro del cilindro.

El medidor de presión estática que se utilizó puede ser de manufactura propia, utilizando una manguera de ¼ de pulgada, una tabla marcada con una cinta en pulgadas y agua la cual debe ser una cantidad de acuerdo a la calibración a las medidas marcadas en la tabla, el siguiente gráfico especifica las características del medidor de presión estática.



Fuente: Jorge Barrientos.

Figura 3. Herramienta para medición de presión estática del aire dentro de un cilindro de secado.

3.6.6. Cálculo de la capacidad de extracción de agua por un deshidratador para forraje.

La capacidad de extracción de de agua por el deshidratador se expresa en kilogramos de agua extraída por hora ($\text{kg H}_2\text{O/h}$). Este dato se obtuvo de la sumatoria del agua extraída en cada porción de forraje deshidratado, dividida entre el total de horas trabajadas por el secador. Es necesario indicar el promedio de los porcentajes de humedad que tuvo cada porción de forraje que salió del secador con el fin determinar la relación capacidad de extracción de agua por el secador con respecto a la humedad presente en el forraje que sale deshidratado.

3.6.7. Determinación de carga de secado

Para determinar la carga de secado se pesó la cantidad de forraje húmedo que ingresó al secador (Fh) y se le restó la cantidad del forraje seco (Fs) que se obtuvo en el proceso para determinar la cantidad de agua extraída (H) y este resultado obtenido se dividió por la cantidad de forraje seco (Fs), de esta manera se obtuvo la cantidad de agua extraída en kilogramos por kilogramo de forraje seco, la cual se denomina carga de secado (Cs).

Formula:

$$\text{Humedad (H)} = F_h - F_s$$

$$\text{Carga de secado (Cs)} = \frac{H}{F_s}$$

3.6.8. Evaluación del gasto energético del deshidratador de forraje

Las unidades de medida para el gasto energético de un deshidratador se expresan en BTU/h (Unidades Térmicas Británicas). Para determinar el gasto de combustible por unidad de tiempo en el secado, se tomaron en cuenta dos variables, la columna de aire que produce la turbina y la energía requerida por metro cúbico de aire la cual es de 60 BTU/m³.

Por lo tanto el gasto de combustible por hora se obtuvo de la siguiente manera:

$$\text{Combustible en gal/h} = \frac{\text{Columna de aire (m}^3\text{/h)} \cdot 60 \text{ BTU/m}^3}{\text{BTU combustible/gal}}$$

3.6.9. Determinación de producción de forraje de soya seco por unidad de tiempo en el deshidratador.

Esto es el resultado de la cantidad de forraje seco dividido entre la cantidad de horas de trabajo del secador, como resultado se obtiene los kilogramos de forraje seco producidos por hora.

3.6.10. Determinación del gasto energético por el secador

Para determinar el gasto energético en el proceso de deshidratación, primero se debe obtener el gasto de combustible del secador por hora, donde este depende de la columna de aire que genera la turbina y las características energéticas del combustible suministrado para calentar el aire que se inyecta al cilindro de secado; posteriormente el resultado de gasto de combustible por hora se divide entre la producción de forraje seco por hora; así, se determinó el gasto de combustible por kilogramo de forraje.

3.7. Análisis de resultados

En el proceso de producción del forraje de soya peletizado se hizo referencia al desempeño agronómico del cultivo y el costo económico de producción del forraje de soya en el campo. Se examinaron las características nutricionales del forraje en el momento de cosecha, al forraje obtenido en el proceso de secado industrial y posteriormente al producto peletizado. Así también se analizó el proceso industrial de peletización, el desempeño de las maquinas utilizadas y el costo económico de producción de pellets de soya. Por último se determinó el tiempo de duración del pellets de soya en almacenamiento bajo condiciones normales en una lechería.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presenta y discute el proceso industrial de peletizado de forraje de soya y los resultados cualitativos y cuantitativos obtenidos en: rendimiento en producción de forraje de soya a nivel de campo, descripción del proceso industrial en la producción de forraje de soya peletizado, valor y calidad nutricional del forraje de soya en el campo y del forraje de soya peletizado, durabilidad del producto peletizado en almacenamiento bajo condiciones normales en una lechería y costos de producción de forraje de soya en campo y de pellets de soya.

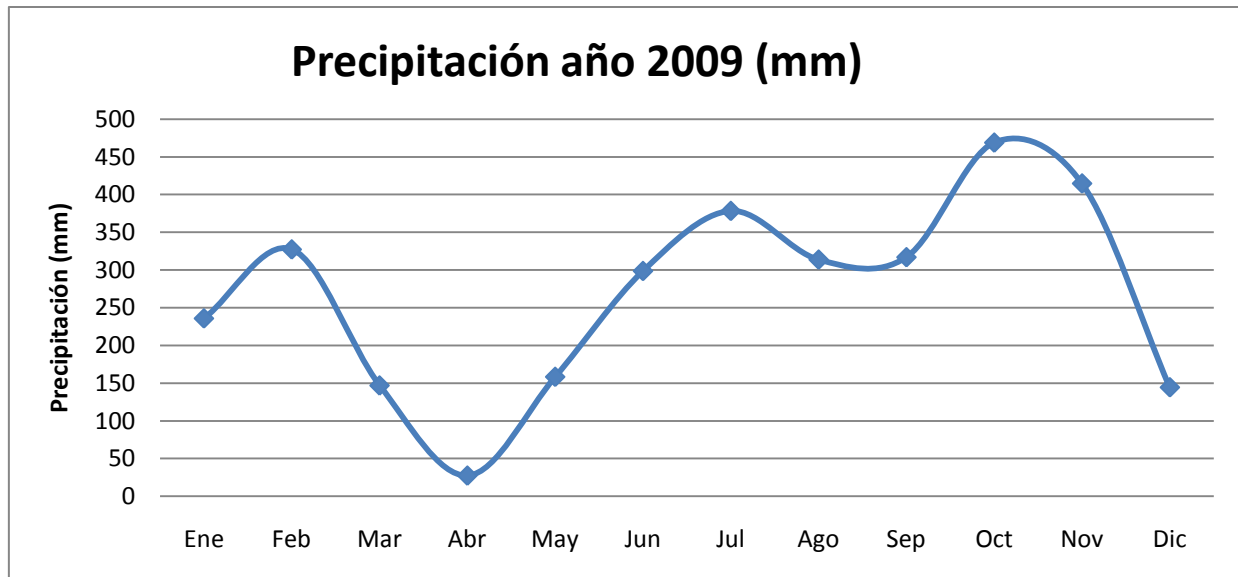
4.1. Manejo agronómico del cultivo de soya para producción de forraje.

4.1.1. Rendimiento en producción de forraje de soya a nivel de campo.

Los rendimientos de producción de materia seca por hectárea para el cultivo de soya, dependen de las condiciones climáticas, edáficas y de manejo agronómico del cultivo, siendo este último un punto importante, ya que factores de manejo como la densidad de siembra influyen sobre el valor nutritivo del forraje de soya. Tobía *et al.* (2006), señala que la producción de biomasa en el cultivo de soya es relativamente estable en un ámbito de densidad de siembra de entre 150,000 a 300,000 plantas por hectárea, debido a la capacidad compensatoria que posee, por ejemplo cuando la densidad de siembra es alta, la planta tiende a producir más hojas y tallos menos gruesos, pero cuando la densidad es baja la planta tiende a ser más ramificada y con más cantidad de semilla; sin embargo para efectos de la producción de forraje para bovinos es necesario disminuir el grosor del tallo y la producción de ramas, ya que estos son de menor digestibilidad y poseen menos proteína y energía.

La densidad de siembra en la parcela de producción de soya fue de 312,500 semillas por hectárea, debido a que se tomó en cuenta el 70% de germinación que poseía la semilla de siembra; sin embargo la densidad de plantas por hectárea en el área sembrada fue de 91,250 plantas, esta baja densidad de plantas pudo ser causada

por factores como encharcamiento por problemas de drenaje en el área, causando anoxia en algunas plántulas. El periodo de setiembre a noviembre del 2009, época durante la cual se estableció el cultivo, estuvo caracterizada por altas precipitaciones (Figura 1).



Fuente: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Figura 4. Comportamiento de las lluvias durante el año 2009.

Al momento de cosechar el forraje de soya en estado R6, la poca densidad de plantas en la parcela y el momento de siembra en un fotoperiodo decreciente (siembra en setiembre), provocó que se diera un baja producción de materia seca (MS) en el forraje de soya, con un rendimiento de 2,44 t MS ha, la cual es baja si se compara con lo reportado por Tobía *et al.* (2006) de 7,3 t MS/ha de forraje de soya cosechada en el estado R6 en la zona de La Fortuna de San Carlos; es importante tomar en cuenta que el clima de la zona de Santa Clara en Florencia de San Carlos es muy similar al de La Fortuna. Esta baja producción de materia seca (MS) por área, es resultado de una baja producción de biomasa en el campo de 14,56 t/ha, siendo este valor el más importante en el bajo rendimiento de MS por hectárea; sin embargo, el porcentaje de materia seca total en el forraje picado y en la planta entera fueron 16,80% y 23,91% respectivamente. Estos dos últimos valores comparados con 24,8% de materia seca en

el forraje picado, que presenta Tobía *et al.* (2008), en el cuadro 4 y el 26,7% de materia seca en la planta entera, presentado por Tobía y Villalobos (2004) en el cuadro 3, son valores bajos, lo cual influye también en el bajo rendimiento de materia seca.

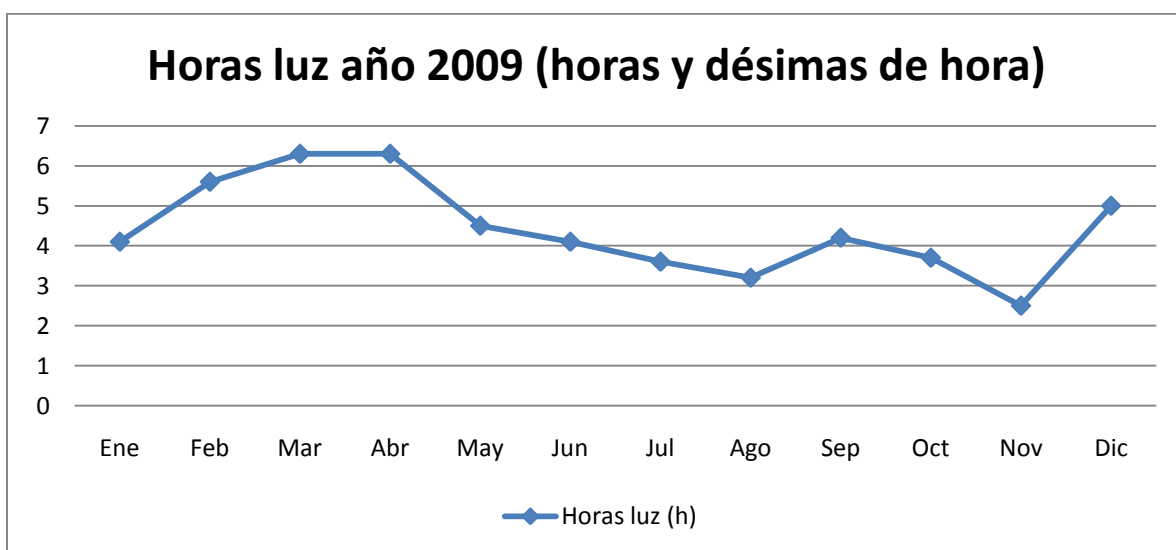
El bajo porcentaje de materia seca en el forraje picado con respecto al porcentaje de materia seca en la planta entera, puede estar influenciado por la cantidad de malezas dentro del cultivo, debido a que algunas variedades son plantas con bajo porcentaje de materia seca, como el *Amaranthus spinosus* y la *Rottboellia cochinchinensis*. En el cultivo se observó alta incidencia de estas malezas en el momento de la cosecha, como lo podemos observar en la figura 5; las plantas de soya no lograron un crecimiento adecuado que permitiera cerrar lo suficiente el ingreso de luz en la superficie del suelo y reducir el crecimiento de las malezas; esta incidencia también la podemos adjudicar en menor medida al control mecánico de malezas que se realizó, ya que este fue bastante efectivo en el área de la entre calle, pero no fue efectivo para controlar las malezas que se encontraban dentro de la línea de siembra. Posteriormente para disminuir malezas en la línea de siembra se utilizó herbicida, pero no se logró un control efectivo.



Foto: Jorge Barrientos.

Figura 5. Incidencia de malezas en el cultivo de soya utilizado para la producción de forraje peletizado.

Los bajos niveles de materia seca en la planta entera de soya comparados anteriormente, se deben a la baja luminosidad que hubo durante el cultivo de soya, ya que este fue sembrado en una época de fotoperiodo decreciente (baja cantidad de horas luz), que corresponde a los meses de setiembre, octubre y noviembre (Figura 6). Otro factor que influyó en el porcentaje de materia seca en las plantas de soya que se cortaron, fue el estado fenológico en que se cosechó, ya que este se realizó finalizando el estado R5, siendo lo más adecuado haberlo cortado en estado R6, para lograr un mayor porcentaje de materia seca.



Fuente: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Figura 6. Promedio de horas luz, en horas y décimas de hora durante el año 2009.

El método de siembra utilizado fue de mínima labranza, lo cual no favoreció la infiltración del agua en el suelo y potencializó el encharcamiento; sin embargo, al no ser labrado el suelo, se favoreció la limpieza mecánica y la cosecha del cultivo con maquinaria agrícola. Un suelo labrado en la época mencionada anteriormente, provoca condiciones de exceso de barro, dificultando la cosecha y reduciendo la calidad del forraje; también deteriora la estructura del suelo para posteriores cultivos por el ingreso de la maquinaria.

4.2. Descripción del proceso industrial de peletización de forraje de soya

4.2.1. Cosecha del forraje en campo

El proceso de cualquier sistema de conservación de forraje inicia al momento de la cosecha en campo. Existen factores específicos que influyen sobre la forma y el momento de cosecha del forraje para cada sistema de conservación.

El momento adecuado para la cosecha de forraje de soya debe ser en estado R6, para cualquier sistema de conservación de forraje para rumiantes. Ello se debe a que la planta ha alcanzado su máximo rendimiento de materia seca y ha iniciado la disminución de humedad en los tejidos (Undersander 2001). Sin embargo la cosecha del forraje se realizó finalizando el estado R5, debido al factor tiempo e itinerario de trabajo.

Para la cosecha se utilizó una cortadora y picadora de forraje en línea impulsada por un tractor, la cual debe estar calibrada para picar a un tamaño de partícula de 7mm (Figura. 7).



Foto: Jorge Barrientos.

Figura 7. Tamaño de partícula después de picado el forraje de soya para un posterior proceso de deshidratación.

Este tamaño de partícula es con el fin de lograr una mayor área superficial de exposición del forraje al aire desecante en el deshidratador, de esta manera se aumenta la eficiencia de extracción de agua, además se logra una distribución uniforme del forraje en el cilindro rotativo de secado, ya que una partícula muy larga puede provocar amontonamiento de forraje en una área específica, una disminución del área de exposición del forraje al aire caliente y un desequilibrio dentro del cilindro que provoca golpes en la maquina que causan daños en las piezas con movimiento.

La condición climática en el momento en que se cosecha el forraje y el tratamiento mecánico que se le da a este, condiciona el gasto energético en la fase de deshidratación. En lugares de altas precipitaciones como la Región Huetar Norte de Costa Rica, se presentan altos niveles de humedad en los cultivos para forraje, lo que implica una alta carga de secado. El forraje cosechado en campo para procesar en la deshidratadora presentó un 81,48 % de humedad (Cuadro 8). Según menciona Raymond *et al.* (1977), la carga de secado para este nivel de humedad en el forraje es de 3,5 ó 4 a 1, lo que representa un alto gasto de energía para sacar el agua del forraje hasta llegar a una humedad de 12%, mientras que un forraje con 70% de humedad solo tendría una carga de secado de 2 a 1. No obstante, la carga de secado promedio obtenida en la práctica fue de 3,06 a 1 (Cuadro 8), siendo esta menor a la carga de secado establecida por Raymond *et al.* (1977) para un forraje con 82% de humedad o incluso para un 80% de humedad. Lo anterior se debió a que el forraje no fue deshidratado hasta el punto óptimo de secado para su preservación, ya que las mediciones de humedad electrónicas mostraron un promedio de 32% de humedad en el forraje deshidrato por el secador. Sin embargo, la maquina deshidratadora no fue el limitante para obtener un forraje con 12% de humedad, en este caso el factor que afectó el resultado promedio en el forraje deshidratado, fue la cantidad de agua presente de cada carreta de forraje de soya que se cosechó. Esto se debe a que ciertas cargas cosechadas eran mucho más húmedas que otras, lo cual cambia la necesidad de tiempo de secado en cada tanda que ingresara a la maquina secadora.

De un 10 a un 13,5% de humedad en el material deshidratado es un nivel óptimo y logra una preservación de hasta 6 meses del forraje seco bajo condiciones de almacenamiento adecuadas ó para ingreso en maquinas de peletización⁴. Se concluye que la humedad presente en nuestro forraje deshidratado no fue la adecuada y esto se debió a que el forraje que ingresaba al secador contenía una humedad distinta en cada porción de secado, debido a las condiciones de alta precipitación en ciertos momentos de cosecha, lo cual aumentaba la humedad en el forraje.

Cuadro 8. Niveles de materia seca y humedad en el cultivo de soya utilizado y su respectiva carga de secado.

Tipo de Forraje muestreado	% de materia seca	% de humedad	**Carga de secado en kilogramos de agua por kilogramo de forraje seco
Forraje cosechado	18,51	81,49	3,06

**Carga de secado: es la cantidad de agua que se extrajo por kg de forraje seco

Para entender más la importancia del nivel de humedad del forraje sobre el gasto energético en el proceso de deshidratación, se presenta el Cuadro 9 que muestra una serie de niveles de humedad y su respectiva carga de secado obtenida en el deshidratador utilizado, el cual es de temperatura media y tiene una capacidad de evaporación de 21,73 kilogramos de agua por hora (kg H₂O/h), llevando el forraje a una humedad mínima de 28%; no obstante, su rendimiento de producción real está influenciado por la humedad que se le extrae al material. Así por ejemplo, se observa en el cuadro 9 que cuando a un material se le extrae un 77,00% de humedad, tiene una carga de secado mayor (3,35 kg H₂O/kg de material seco) que un forraje cuando se le extrae el 68,75% de la humedad (2,2 kg H₂O/kg de material seco), siendo la capacidad de producción por el secador mucho mayor en el material que tiene 68,75% humedad con un rendimiento de 9,56 kg/h de producto seco, comparado con un forraje que tenga 82,97% de humedad con rendimiento de 5,93 kg/h de producto seco. En

⁴ Campos, M. 2009. Peletización de naranja (entrevista). Alajuela, CR, Tico Fruit.

otras palabras, un forraje que contenga un 68,75% de humedad, se le necesita sacar menos agua, para llevarlo a la humedad requerida que a un forraje que tenga 77,00% de humedad.

Cuadro 9. Efecto del contenido en humedad del forraje sobre la producción de una deshidratadora con capacidad de evaporación de 21,73 kg H₂O /hora.

Contenido de humedad en el forraje (%)	Carga de secado en kilogramos de agua por kilogramo de forraje seco
71,93	2,56
75,45	3,07
73,73	2,81
68,75	2,20
77,00	3,35
Promedio	73,37
	2,80

Para reducir estos niveles de carga de secado en el forraje en la zona Huetar Norte, se debe cosechar la planta en la época de menor precipitación para lograr forrajes con menor contenido de humedad. Es importante tomar en cuenta que en forrajes con altos niveles de humedad se debe utilizar secadores de temperatura media ya que disminuyen el riesgo de quemando del forraje por desuniformidad en la humedad del material que ingresa al secador. Otra técnica para disminuir la humedad en el forraje que ingresa al cilindro secador es la extracción mecánica; sin embargo, Raymond *et al.* (1977), menciona que hay una pérdida importante de materia seca dentro de un 10 a un 25% y por ende pérdida de proteína bruta que va de un 20 a un 40%. Otro método de pre extracción de humedad en el forraje es la deshidratación en campo, pero este sólo se puede realizar en zonas secas como Guanacaste, que poseen un clima más estable en tiempos de verano, ya que no hay riesgos de lluvias intermitentes como suele ocurrir en la Zona Huetar Norte en épocas de verano.

Un factor importante a tomar en cuenta es la calidad del material que ingresa al secador. Para la fecha de cosecha del forraje, la maquina debe cortar la planta a una altura adecuada, en la cual no recoja material muy leñoso ni tierra u otros materiales que vayan a contaminar el forraje, ya que en este caso disminuiría la calidad del material. Para el caso específico de plantas de soya, esta altura debe ser alrededor de 10 cm sobre el nivel del suelo.

4.2.2. Diseño y construcción del deshidratador de forraje

4.2.2.1. Descripción del deshidratador para forraje

Para efectos de esta práctica fue necesario construir el propio secador que se ajustara con el presupuesto para realizar el proceso, ya que los secadores industriales tienen una capacidad de producción de 15 toneladas por hora, lo que implica un gasto energético alto y un costo superior al presupuesto disponible.

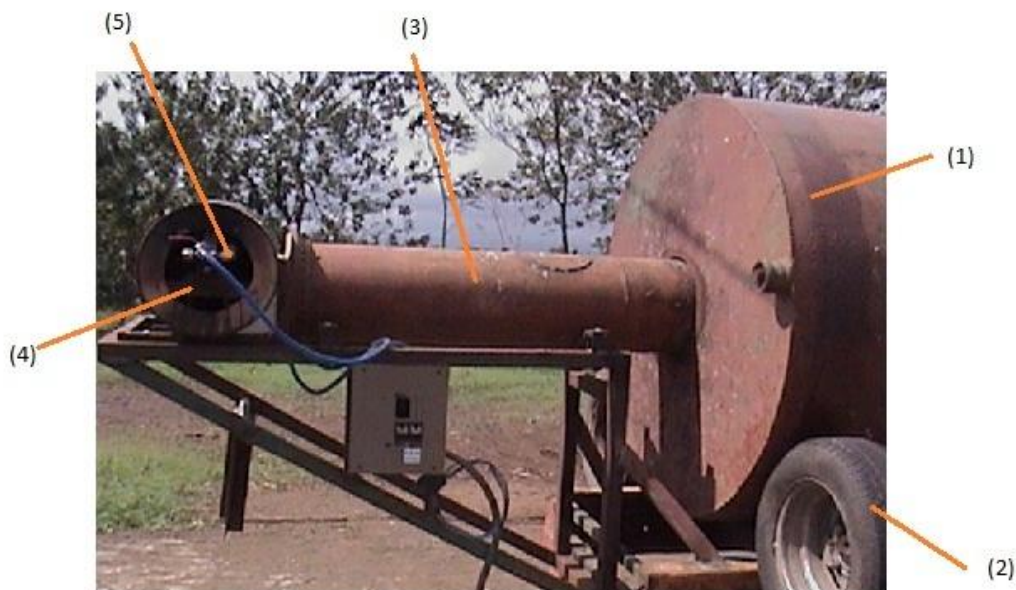


Foto: Jorge Barrientos

Figura 8. Deshidratador de forraje de temperatura media utilizado en la práctica para el secado de forraje de soya.

El secador fue construido con materiales de hierro para desecho (Figura. 8). El cilindro de secado (1) fue un tanque que se utilizaba anteriormente para almacenamiento de melaza, este posee un volumen de 16,950 m³; sin embargo, la capacidad máxima de ingreso de forraje que soporta el secador es de 220kg. En este cilindro se lleva a cabo la deshidratación. El mismo rota sobre unas ruedas (2) que proporcionan la tracción para el movimiento del cilindro. Las ruedas son de neumático, lo que permite amoldarse a la superficie irregular del tanque, manteniendo una tracción constante. Estos neumáticos son accionados mediante un motor eléctrico de 3 HP. En un extremo del cilindro se introdujo un ducto (3) por el cual pasa el aire caliente impulsado por la turbina (4) la cual gira a 1773 rpm impulsando el aire seco calentado por dos quemadores de gas propano (5) y estos están colocados en un extremo de la turbina. Dentro del cilindro de secado (Figura 9) se adicionaron dos aspas de madera (1) para proporcionar mayor movimiento al forraje, lo cual mejora la eficiencia y la uniformidad del secado. Para explicar mejor la importancia del movimiento de las partículas de forraje y los beneficios que se obtienen, se debe entender que la partícula de forraje durante el proceso de secado está rodeada por una capa de vapor saturado, llamada capa film⁵ ó guano (Geankoplis 1998), la cual tiene una presión de vapor en equilibrio con la humedad de la partícula de forraje, esta condición retarda la transferencia de calor al material y la evaporación de su humedad. Al utilizar las aspas y aumentar el movimiento dentro del cilindro de secado, se rompe esta capa, lo que produce un aumento en la transferencia de calor del aire a las partículas, para aumentar la presión de vapor de humedad presente en ellas y que esta sea absorbida por el aire desecante, que tiene una presión de vapor menor, esta corriente de aire desecante pasa a través de esta capa (film), entra en contacto directo con la humedad y con una mayor área de superficie ya que el movimiento expone más las partículas, logrando así una mayor eficiencia y uniformidad en el secado⁵.

⁵ Echeverría, O. 2009. Peletización de forraje de soya (entrevista). Cartago, CR, SAESA.



Foto: Jorge Barrientos

Figura 9. Aspas agitadoras de un deshidratador de forraje de temperatura media utilizado en la práctica para el secado de forraje de soya.

El tanque o cilindro de deshidratación contó con unos agujeros de evacuación de aire húmedo (1) (Figura 10), los cuales tuvieron como función liberar el aire cargado de humedad que sale del secador, producto de la evaporación del agua del forraje. La presión estática dentro del cilindro de secado es una variable importante, ya que de esta depende de la eficiencia con que se transmite la energía del aire caliente al forraje en desecación. Cuando tenemos un rango de presión estática de entre 1,5 a 2 pulgadas de agua aseguramos una trasmisión eficiente de energía al material, lo que permite lograr la evaporación del agua y una salida eficiente de aire con vapor húmedo⁶. Sin embargo esta presión estática está influenciada por la velocidad del aire que ingresa al cilindro de secado, la cual no debe ser mayor a 80km/h y el tamaño del área de los agujeros evacuadores de aire húmedo. De manera que si tenemos presión estática dentro del cilindro con un nivel superior a 2 pulgadas de agua, a una velocidad óptima del aire que ingresa y poca abertura para la salida del aire húmedo, ocurre una “cocción” del forraje, causando que no se deshidrate, debido a que no hay salida de la humedad, lo que causa pérdidas importantes en el valor nutritivo en el forraje; mientras

⁶ Echeverría, O. 2009. Peletización de forraje de soya (entrevista). Cartago, CR, SAESA.

que si tenemos mismas velocidades de aire, niveles de presión estática menor a 1,5 pulgadas de agua y amplia área de evacuación de aire húmedo, disminuye la eficiencia de vaporización de la humedad del material causando lentitud en el proceso de secado y alto gasto energético.

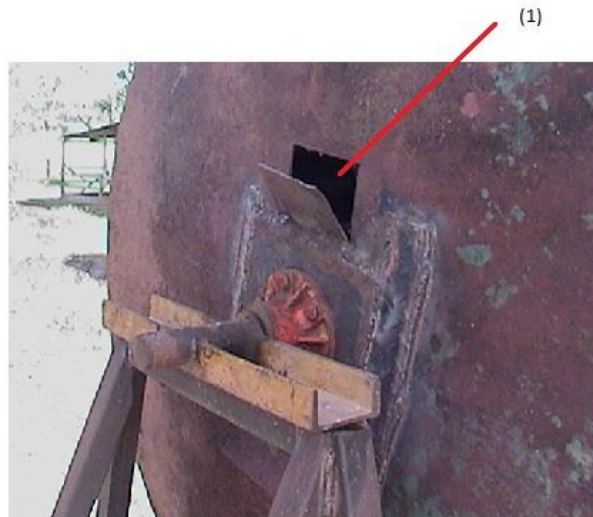


Foto: Jorge Barrientos

Figura 10. Agujeros de evacuación de aire húmedo de un deshidratador de forraje de temperatura media utilizado en la práctica para el secado de forraje de soya.

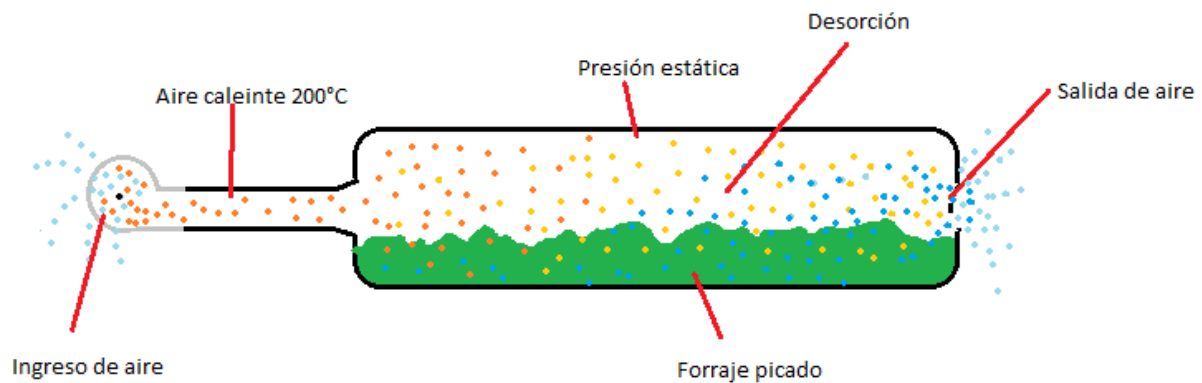
El secador que se construyó no poseía la velocidad óptima en el ingreso del aire, ya que ésta era de 24km/h lo que proporcionó una baja presión estática de $\frac{1}{4}$ de pulgada de agua y una lenta salida del aire húmedo por los orificios de evacuación, los cuales poseían un área de 309.68 cm². Aunque el área de estos agujeros fuera óptima, la velocidad de ingreso del aire no permitía dar una adecuada presión estática y una salida rápida del aire húmedo. Debido a este desequilibrio entre las variables de velocidad del aire y presión estática, el gasto energético fue alto, esto se refleja en la duración de 7 horas de secado para cada porción de material.

4.2.3. Proceso de deshidratación de forraje

Cuando se transfiere el agua de fase líquida a mezcla gaseosa de aire y vapor de agua, se denomina humidificación y cuando este proceso se realiza con la mezcla de aire y vapor de agua para extraer humedad de un material sólido se llama desorción (Geankoplis 1998).

En la Figura 11 se describe cómo se comporta el aire durante el proceso de deshidratación en el secador construido para este trabajo. En ese diagrama se observa el movimiento del aire desde que ingresa hasta que sale del deshidratador; primeramente el aire a temperatura ambiente ingresa a la turbina donde es calentado por los quemadores a 200°C, este se desplaza a través del ducto hasta el cilindro donde se encuentra el forraje, en este momento se da la transferencia de energía del aire caliente al material por convección, la presión estática dentro del cilindro es la que permite el intercambio de energía del aire al forraje, produciendo la evaporación del agua y el arrastre de esta se da por el paso del aire absorbente a una velocidad establecida⁷; en este caso la velocidad fue de 24 km/h. Este proceso de deshidratación se llama desorción y la velocidad de este la describe Geankoplis (1998) mediante un gráfico que se observa en la Figura 12 y lo explica de la siguiente manera. En el primer periodo de deshidratación, la superficie del sólido está muy mojada con una película de agua continua, a esta capa se le llama guano combinado y se comporta como si el sólido no estuviera presente, en este momento la velocidad de evaporación es igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura, no obstante, las ondulaciones y las hendiduras ayudan a una mayor área de exposición en la superficie del sólido, lo que aumenta la velocidad más de la que tendría una superficie plana. El segundo periodo es el de velocidad constante, en este momento la mayor parte del agua se evapora si el material es poroso, este periodo de velocidad constante se da cuando el agua que se encuentra dentro del material llega a la superficie con la misma velocidad con que se evapora.

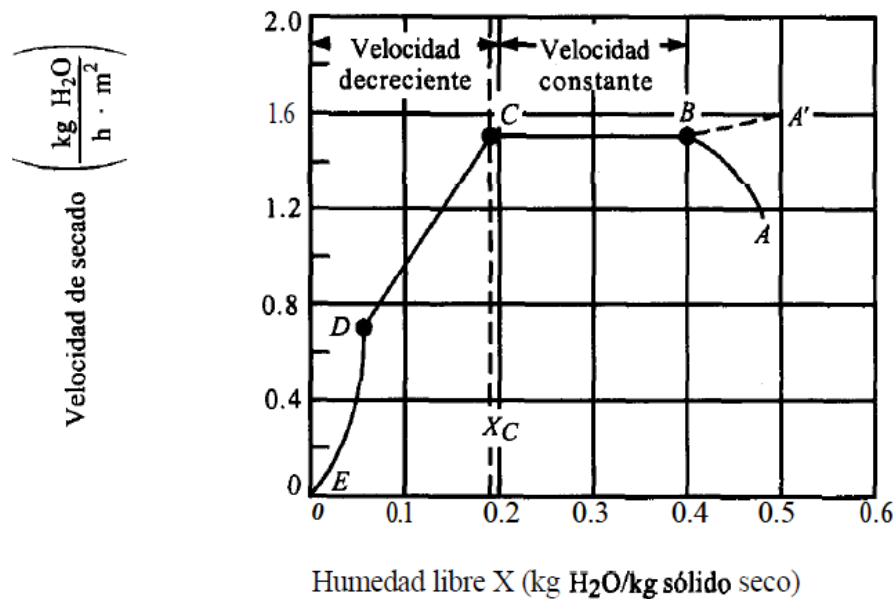
⁷ Echeverría, O. 2009. Peletización de forraje de soya (entrevista). Cartago, CR, SAESA.



(Fuente propia)

Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de deshidratación de forraje en un secador de temperatura media.

El punto C en la Figura 12 corresponde al contenido crítico de la humedad libre X_c y es donde se inicia la velocidad decreciente en la deshidratación del forraje, ya en este punto la superficie del material no está totalmente mojada, como para mantener continuidad en la película de agua que hay en el momento de velocidad constante, en este lapso de velocidad decreciente la superficie mojada empieza a disminuir hasta secarse por completo, llegando al punto D de la Figura 12. A partir de este punto D se da un segundo periodo de la velocidad decreciente, donde la superficie está totalmente seca y la humedad restante se empieza a desplazar en forma de vapor por debajo de la superficie del material, para evaporar esta humedad el calor de evaporación es transferido a través del sólido hasta la zona de vaporización, que es donde se encuentra la humedad restante, el agua evaporada atraviesa el sólido y llega hasta la corriente de aire que la absorbe y la arrastra a los orificios de evacuación (1) del secador de la Figura 10. Este arrastre del vapor obtenido del material se observa en la Figura 11 donde los puntos de color azul y anaranjado representan el movimiento del aire dentro del cilindro secador; el color azul representa el aire cargado de humedad extraída y el color naranja representa el aire caliente que ingresa y transfiere su energía a las partículas del material para producir la desorción y así sacar el vapor del material hacia afuera del secador (Geankoplis 1998).



Fuente: Geankoplis, 1998

Figura 12. Gráfica de comportamiento de velocidad de deshidratación de un material orgánico.

El tiempo de duración del periodo de velocidad decreciente es bastante prolongado y la humedad que se elimina es poca. Durante este periodo se pueden dar dos tipos de movimiento de la humedad dentro del material que se está deshidratando, el que se den estos dos fenómenos depende el tipo de material. El primer tipo de movimiento del agua es por difusión y este movimiento se da cuando existe diferencia de concentración entre el interior del sólido y la superficie de este; esta forma de transporte casi siempre se da en sólidos no porosos ó en la fase final de la deshidratación de materiales como almidón, madera, cuero, papel, harinas, arcillas y textiles (Geankoplis 1998). En el caso del forraje, el agua que se extrae por el movimiento de difusión, es la que está formando parte del protoplasma celular.

El otro comportamiento en la deshidratación de materiales es el movimiento capilar en los sólidos porosos y este sucede cuando se está secando el sólido. La

humedad libre o sin combinar se desplaza a través de capilares y espacios vacíos de los sólidos por capilaridad, en este método interviene la tensión superficial, a medida que se evapora el agua se forma un menisco de líquido en cada poro, en el interior del sólido y se crea una fuerza por tensión interfacial entre el agua y el sólido, esto produce el desplazamiento del agua a través de los poros, de los cuales los más pequeños producen más fuerza que los más grandes (Geankoplis 1998). En el caso del forraje también tiene agua en áreas porosas y ésta que se extrae por el movimiento capilar es la que está en el área intercelular.

Por tanto debemos tomar en cuenta que la velocidad de secado de un material está influenciada por los factores de velocidad de difusión en los poros y la velocidad de conducción de calor en el sólido (Geankoplis 1998), en el caso de los materiales como el forraje se dan los dos tipos de movimiento debido a que el agua se encuentra a nivel intracelular e intercelular.

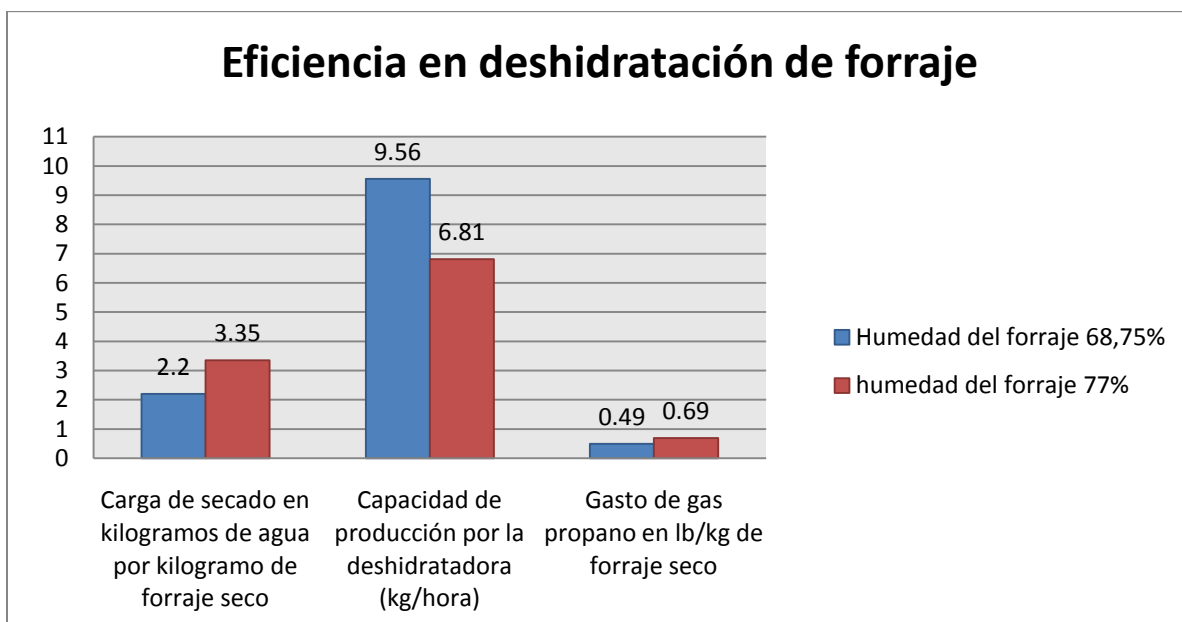
4.2.3.1. Gasto energético para la deshidratación de forraje

El gasto energético en la deshidratación de forraje es uno de los aspectos más costosos en el proceso de producción de peletizado. La cantidad de energía que se utiliza, está influenciada por el nivel de humedad en el forraje y la eficiencia de la maquinaria industrial que se utilice.

El secador que se utilizó en esta práctica contó de una turbina para producir una columna de aire de 1695,6 m³/h, la cual tuvo un consumo de 4,711 lb/hr de gas propano, esto nos da como resultado una capacidad de evaporación de 21,73 kg H₂O/hr. Usando estos números determinamos que se utilizan 0,217 lb gas/ kg de agua evaporada.

En el proceso de deshidratación del forraje, el secador tubo una capacidad de producción promedio de 7,68 kg/hr de forraje seco y un gasto promedio de 0,61

lbGas/kg de forraje seco. Cada cilindro de gas de 60 lb utilizado, duró 13,31 horas promedio en gastarse, este gasto en libras concuerda aproximadamente con el resultado de multiplicar el gasto de 4,711 lb/h de gas por la duración del cilindro, que da como resultado 62,37 libras; la mínima diferencia entre este resultado y las 60 lb que tiene un cilindro puede deberse a errores en la toma del tiempo efectivo de trabajo.



Fuente: Jorge Barrientos

Figura 13. Eficiencia y gasto energético en la deshidratación de forraje con diferentes niveles humedad de campo.

En la Figura 13 se presenta la influencia que tiene la humedad del forraje que ingresa fresco al secador, sobre la capacidad de producción, el gasto de gas propano y la carga de secado. En esta Figura 13 se señala que un forraje fresco que se le extrajo 68% de humedad para llegar al promedio de 32% de humedad en forraje seco, presenta menores niveles de carga de secado, así como menor gasto de gas propano y una mayor capacidad de producción, con respecto al forraje que se requirió extraerle un 77% de humedad para obtener un forraje seco con 32% de agua; esto significa que es menor el gasto energético en un forraje con bajo porcentaje de humedad, lo que disminuye el costo del proceso.

La cantidad de combustible que se gaste en el proceso de deshidratación depende del tipo utilizado, debido a que los combustibles varían según el poder calorífico que los caracteriza. El Cuadro 10 muestra el poder calorífico de los distintos tipos de combustible que se pueden utilizar para calentar el aire desecante de un deshidratador; sin embargo, la eficiencia para calentar el aire varía también según la dirección en que se exponga el fuego al aire.

Cuadro 10. Poder calorífico de los diferentes sistemas de calefacción

Sistema	Rendimiento	Poder Calorífico (BTU)
1 kWh Electricidad	p= 100%	3414,34
1 lb Gas licuado	p= 100% (acción directa)	21709,72
1 lb Fuel-oil	p= 100% (acción directa)	18374,73
	p= 75% (acción indirecta)	13684,22
1 lb Carbón	p= 100% (acción directa)	12608,42
	p= 70% (acción indirecta)	8821,59

Fuente: Ortiz y Hernanz (1989)

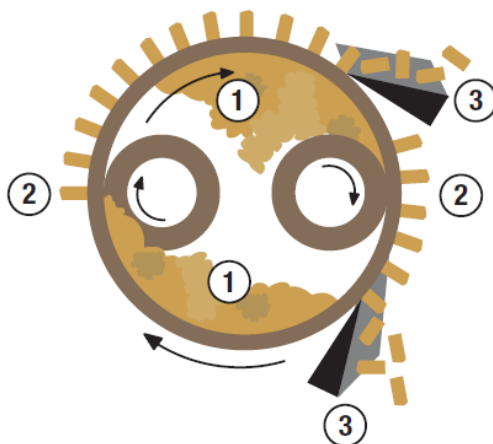
En el Cuadro 11 se muestra el gasto por hora de cada combustible que tendría el secador utilizado. El gas licuado ó propano es el que tiene menor gasto, esto se debe a su alta capacidad calorífica (Cuadro 10), con respecto a los demás combustibles; sin embargo el valor por unidad de combustible determina el costo energético del secado.

Cuadro 11. Pronóstico de gasto por hora de distintos combustibles para el secador utilizado.

Sistema	Rendimiento	Gasto
Electricidad	$\rho = 100\%$	29,8 kWh/h
Gas licuado	$\rho = 100\%$ (acción directa)	4,70 lb/h
Fuel-oil	$\rho = 100\%$ (acción directa)	5,54 lb/h
Carbón	$\rho = 75\%$ (acción indirecta)	7,44 lb/h
	$\rho = 100\%$ (acción directa)	8,07 lb/h
	$\rho = 70\%$ (acción indirecta)	11,53 lb/h

4.2.4. Proceso de peletización de forraje

Para peletizar el forraje deshidratado se utilizó una granuladora con una capacidad de producción de 3 toneladas por hora, dicho proceso inició con el ingreso del forraje a la máquina. Una vez granulado el material debe pasar a la fase de enfriamiento, que consiste en el transporta del material sobre una banda porosa y una turbina que sopla aire a temperatura ambiente, sobre la superficie de la banda para enfriar el producto; esto se denomina acondicionamiento del forraje. Una vez finalizado este proceso, un tornillo sin fin se encarga de transportar el peletizado hasta el área de empaclado.



Fuente: Agrecol 2008

Figura 14. Diagrama del proceso de peletización de forraje, en una granuladora rotativa.

4.2.4.1. Descripción del proceso de peletización

En la Figura 14 se observa una granuladora que consta de una matriz (2), la cual tiene orificios que forma el pellets con un diámetro definido, esto según el tipo de material. Para peletizar forraje de soya se utilizó una matriz con orificios de 6 milímetros de diámetro, ya que el tamaño de la partícula que ingresa es grande y además el diámetro de los gránulos es correcto, debido a que pueden contener fibra más larga.

Los bolillos (1) son los encargados de presionar el forraje contra la matriz, en este caso uno de ellos toca una cuarta parte más la superficie de la matriz que el otro, esto con el fin de que uno de los bolillos cargue el material en la matriz y que el otro comprima el forraje contra la superficie de la matriz para formar el pellets, que es cortado por unas laminas (3) para ser extraído del molde hacia el exterior de la maquina.

4.2.4.2. Características que debe tener el forraje seco para ingresar a la granuladora

El forraje deshidratado debe ingresar a la granuladora con una humedad máxima de 13,5 %, esto con el fin de evitar evaporación del agua que produzca aumento en la temperatura y cause pérdida de nutrientes, tal como desnaturalización de la proteína. El tamaño de la partícula que ingresa a la matriz de 6mm, debe tener un tamaño de corte de 7mm como máximo, ya que en tamaños más grandes se dificulta el ingreso del material en los orificios, además de aumentar la fricción y por ende quemado del material, lo que reduce la calidad del forraje.



Foto: Jorge Barrientos

Figura 15. Forraje de soya peletizado

4.2.4.3. Características físicas del forraje de soya peletizado

En la Figura 15 y Figura 16 se observa el forraje de soya peletizado obtenido en la práctica, este presenta partículas con un diámetro de 6 mm y un largo promedio de una pulgada. La granulación en el material facilita el empaclado y el manejo al momento de suministrarlo al ganado; el tamaño y la forma de la partícula facilita el consumo animal al suministrar este alimento en la canoa.



Foto: Jorge Barrientos

Figura 16. Forraje de soya peletizado

4.2.5. Durabilidad del forraje de soya peletizado bajo almacenamiento ordinario

El forraje de soya peletizado fue almacenado en una bodega bajo condiciones similares a las encontradas en una lechería común. Como resultado se obtuvo una durabilidad de 3 días sin que se presentaran indicios de aparición de hongos descomponedores. A partir del día tercero se observó presencia de hongos en el forraje, que causó la pérdida de palatabilidad para las vacas. La baja durabilidad se debe a la alta humedad promedio de 18,41 % que poseía el material deshidratado y peletizado. Para aumentar la durabilidad del material a un máximo de 6 meses, se debe contar con un forraje de máximo 13,5 % de humedad.

4.2.6. Costos de producción de forraje de soya en campo y del proceso de peletización a nivel industrial.

En el costo de producción de forraje de soya peletizado debemos tomar en cuenta el costo de la producción en campo, el costo de la deshidratación del forraje y el costo de la peletización. Cada uno de estos rubros debe incluir el costo de recurso humano y el gasto energético de las maquinas utilizadas.

4.2.6.1. Costo de producción de forraje de soya en campo

En el Cuadro 12 se presenta un resumen del costo por kilogramo de forraje tanto fresco como seco (kg MS) en campo, para cada rubro y en total. Estos costos totales podrían ser reducidos si el cultivo se sembrara en una época del año con menor precipitación y mayor cantidad de horas luz, ya que bajo estas condiciones la producción de biomasa sería mayor, propiciando un aumento en la producción de materia seca por hectárea. Los costos de producción en esta fase de campo también pueden ser reducidos cuando se cultiva mayor cantidad de área, debido a que los volúmenes de compra de insumos son más altos, lo que reduce el precio del forraje por unidad y la mayor producción diluye los costos fijos, haciendo la operación más eficiente y el producto final más barato.

Cuadro 12. Costos de producción de forraje de soya en campo.

Rubros	Costo/ha	Costo por kg de forraje fresco	Costo por kg de MS
Insumos	Ø 151.480,50	Ø 10,45	Ø 40,55
Recurso humano	Ø 13.808,04	Ø 0,95	Ø 3,70
Mecanización	Ø 210.000,00	Ø 14,48	Ø 56,22
Total	Ø 375.288,54	Ø 25,88	Ø 100,47

En el Cuadro 13 se presenta un resumen de los costos para producción de forraje de soya peletizado; dichos costos están segmentados en tres fases que son la producción

de forraje de soya en el campo, la deshidratación del forraje y su peletización. Cada una de estas fases indica el recurso utilizado y el costo.

El costo total para producir un kilogramo de forraje peletizado es de 423,34 colones, este monto no es resultado de la suma de los subtotales de la columna de los costos por kilogramo en cada fase, debido a que la cantidad de producto final (pellets) es menor que la cantidad de producto inicial (forraje fresco), ya que se cambia el divisor en la operación del subtotal en cada fase, estas diferencias se dan por la pérdida de agua en el momento de la deshidratación; por ejemplo en la fase de producción en campo, el subtotal para la columna de costo por kg se obtiene al dividir el costo total para producir 1525,29 kg de forraje fresco entre los 1525,29 kg de forraje, pero para la fase de deshidratación el divisor es 416,24 kg de forraje seco. Por esta razón el costo por kilogramo de pellets es resultado de la división del costo total para procesar 1500 kg de forraje húmedo, entre la cantidad en kg de pellets producido.

Cuadro 13. Costos de producción de forraje de soya peletizado.

Rubros	Costo por kg	Costo Total
Fase Producción en campo	Forraje Húmedo	Costo total para 1525,29 kg
Insumos	₡ 10,45	₡ 15.934,60
Recurso humano	₡ 0,95	₡ 1.452,50
Mecanización	₡ 14,48	₡ 22.090,41
Sub total	₡ 25,88	₡ 39.477,51
Fase Deshidratación	Forraje seco	Costo total para 1525,29 kg
Combustible gas (lb)	₡ 185,27	₡ 77.116,80
Recurso humano (horas laboradas)	₡ 135,99	₡ 56.604,75
Maquinaria	₡ 3,71	₡ 1.544,25
Sub total	₡ 324,97	₡ 135.265,80
Fase de peletización	Forraje peletizado	Costo total para 414,28 kg
Maquinaria	₡ 1,54	₡ 636,33
Sub total	₡ 1,54	₡ 636,33
Total	₡ 423,34	₡ 175.379,64

El rubro de recurso humano para la fase de deshidratación del forraje es un costo fijo bastante elevado ya que el mismo personal con el mismo salario puede operar una maquinaria de mayor capacidad y producir más cantidad de forraje, lo que diluye este costo de producción.

Otro factor que influye en el costo de producción de pellets, es el porcentaje de humedad presente en el forraje que ingresa a la fase de deshidratación. El Cuadro 14 presenta el costo de combustible para secar forrajes con 68,75% y 77% de humedad al momento que ingresan al secador; en esta comparación encontramos que el forraje con menor porcentaje de humedad presenta un costo de combustible de ¢158,37, menor al costo de ¢222,32 para secar el forraje con mayor porcentaje de humedad, esto se debe a que 68% de humedad tiene una carga de secado de 2,2 a 1, siendo mucho menor a la del forraje con 77% de humedad que presenta una carga de secado de 3,35 a 1.

Cuadro 14. Comportamiento del costo de combustible para deshidratación de forrajes con distintos porcentajes de humedad al momento de ingresar al secador.

Contenido de humedad en el forraje (%)	Carga de secado en kilogramos de agua por kilogramo de forraje seco	Capacidad de producción por la deshidratadora (kg/hora)	Gasto de gas propano en lb/kg de forraje seco	Costo por Kg de forraje seco
68,75	2,2	9,56	0,49	¢158,37
77	3,35	6,81	0,69	¢222,32

4.3. Variables indicadoras de valor nutricional para el forraje de soya en campo y peletizado.

4.3.2. Valor nutricional del forraje de soya producido en el campo y peletizada

La producción de materia seca (MS), la calidad y el valor nutricional del forraje de soya, están influenciados por factores edáficos y climáticos prevaletientes durante el cultivo. La baja cantidad de horas luz, induce un crecimiento vegetativo vertical en la planta y una pobre producción de vainas y semillas, lo que reduce el valor nutricional, ya que en estas partes de la planta es donde se concentran los mayores niveles de proteína y energía (Tobía y Villalobos 2004).

4.3.2.1. *Porcentaje de materia seca (MS) en el forraje de soya peletizado*

Los valores de materia seca total fueron de 23,91% y 16,80% para la planta entera cosechada manualmente mediante muestreo y el forraje cosechado de forma mecánica, respectivamente. Si comparamos estos dos últimos valores con 24,8% de materia seca en el forraje picado, que presenta Tobía *et al.* (2008), en el cuadro 4 y el 26,7% de materia seca en la planta entera, presentado por Tobía y Villalobos (2004) en el cuadro 3, los valores obtenidos en este trabajo fueron bajos. Sin embargo, el porcentaje de materia seca para este mismo forraje con el proceso de deshidratación y peletización fue de 75,99% debido a la extracción de humedad; este porcentaje de materia seca es alto comparado con los de planta entera y del forraje cosechado obtenido. Por este alto porcentaje de MS en el peletizado, es que una vaca puede consumir mayor cantidad de materia seca en un menor volumen de alimento (Cuadro 15).

Cuadro 15. Capacidad de consumo de peletizado y de forraje fresco de soya por unidad animal*.

Tipo de forraje	MS total (%)	%FND	CMS* (kg/100kg PV*)	Consumo MS (kg), 450kg PV*	Consumo fresco (kg) 450kg
Forraje soya	16,80	54,56	2,20	9,90	58,91
Soya-pellets	75,99	55,11	2,18	9,80	12,89

*Unidad animal= 450kg

* Peso vivo (PV)

* Consumo de materia seca (CMS)

Se realizó una estimación del consumo tanto de soya fresca como del pellet de soya, utilizando la aproximación basada en el contenido de FND (Mertens, 1992).

Así, para un consumo de MS total y FND en el forraje de soya de 16,8% y 54,56%, respectivamente, se estimó un consumo de 9,90 kg MS y 58,91 kg de forraje fresco para un animal de 450kg PV, respectivamente (Cuadro 15).

Para el caso de la soya peletizada, con 75,99% MS total y 55,11% FND, los consumos para un animal de 450kg PV serán de 9,80 kg MS y 12,89 kg de pellet fresco, respectivamente (Cuadro 15).

En el Cuadro 16 se observa un CMS de 2,30kg, 2,20kg, 2,12kg, 2,18kg de planta entera, forraje cosechado, forraje deshidratado y peletizado y un porcentaje de DMS de 60,25%, 57,76%, 56,42%, 57,58%, respectivamente. Los valores de mayor CMS y porcentaje de DMS son para la planta entera y el forraje cosechado; sin embargo, el mayor contenido de humedad en estos estados del forraje con respecto al forraje deshidratado y peletizado, aumenta la necesidad de consumo de alimento fresco por un animal, como lo mencionamos anteriormente.

4.3.2.2. *Proteína cruda (PC)*

Los niveles de proteína en la planta entera y en el forraje cosechado son de 18,10% y 18,86%, respectivamente. Estos dos últimos valores son ligeramente inferiores a los reportados por Tobía y Villalobos (2004) (20,2% PC para planta entera).

Los valores porcentuales de la proteína cruda obtenidos en el forraje de soya peletizado y en el forraje de soya deshidratado fueron de 16,66% y 16,89%, respectivamente, siendo estos valores menores a los obtenidos en la planta entera y en el forraje cosechado. La pérdida de proteína cruda en el proceso de peletización de forraje de soya fue de 2,2%. Esta disminución en la proteína cruda se debe a que el proceso de deshidratación del forraje fue lento, por causa de una mala evacuación de la humedad que liberaban las partículas de forraje en el secador; en este caso la humedad extraída de las partículas se mantuvo mucho tiempo dentro del cilindro de secado, produciendo lo que se define como una cocción del forraje, mencionado anteriormente; provocando un deterioro de la proteína.

4.3.2.3. *Valores de la fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD)*

La fibra de los forrajes tiene influencia sobre la digestibilidad del mismo, en la alimentación de ganado. Los valores de la fibra neutro detergente (compuesta por las fracciones hemicelulosa, celulosa y lignina) determinan el consumo de materia seca (CMS) y los valores de la fibra ácido detergente (compuesta por celulosa y lignina), determinan la digestibilidad de materia seca (DMS) (Linn y Martin 1999). Por lo tanto, por cada unidad de aumento en la digestibilidad de la fibra, obtenemos un aumento de 168g de consumo diario y de 250g en la producción diaria de leche por animal (Linn y Martin 1999).

La FND para el forraje de soya cosechado y la planta entera fue de 54,56% y 52,09% respectivamente (Cuadro 16); estos porcentajes obtenidos son mayores al 42,2% de FND en la planta entera, reportado por Tobía y Villalobos (2004), lo que disminuye el consumo de materia seca. El aumento en los valores de la FND y la FAD del forraje de soya cosechado, con respecto a los valores para la planta entera (Cuadro 16), se debe a la presencia de malezas en el cultivo, que fueron cosechadas junto con la planta de soya, disminuyendo la calidad del forraje cosechado.

Cuadro 16. Valores de digestibilidad de materia seca (DSM) y consumo de materia seca (CMS) estimados en base a fibra ácido detergente (FAD) y fibra neutro detergente (FND) según Mertens (1992), para las distintas fases de la producción de pellets de soya.

Identificación	% FAD	% DMS	% FND	CMS (kg/100kg PV)
Planta entera	36,78	60,25	52,09	2,30
Forraje cosechado	39,98	57,76	54,56	2,20
Secado 6 horas	41,69	56,42	56,56	2,12
Peletizado	40,20	57,58	55,11	2,18

Los valores de FAD y FND del forraje secado a 6 horas, aumentaron con respecto a dichos valores obtenidos para el forraje cosechado, provocando una disminución en la DMS y en el CMS; mientras que los valores de FAD y FND para el forraje peletizado, bajaron con respecto a estos valores para el forraje deshidratado, lo que mejoró la DMS y el CMS durante el proceso de peletización (Cuadro 16). Este comportamiento durante la peletización puede ser por causa de la presión de vapor que se generó en la maquina peletizadora debido al inadecuado contenido de humedad en el forraje seco que ingreso (32%) y a la fricción, provocando un rompimiento en los enlaces de las fibras vegetales. Van Soest (1982) menciona que la digestibilidad del forraje peletizado es menor, debido a una alta tasa de pasaje en el rumen. Sin embargo, esto es compensado con un aumento en el consumo voluntario, debido al

tamaño de la partícula del pellets (Figura 15 y Figura 16), lo cual se refleja en el aumento del CMS en el peletizado (Cuadro 16).

La calidad de un forraje puede ser calificada mediante el término de valor relativo del forraje (VRF) (Linn y Martin 1999) que depende de los valores de FND y FAD. En el Cuadro 17, Linn y Martin (1999) clasifica los forrajes en rangos establecidos para la FND, la FAD y el VRF.

Cuadro 17. Clasificación de los forrajes según el porcentaje de fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y el valor relativo del forraje (VRF)

Clasificación	FND	FDA	VRF
Excelente	<41	<31	>151
Primera	41-45	31-35	151-125
Segunda	46-53	36-40	124-103
tercera	54-60	41-42	102-87
Cuarta	61-65	43-45	86-75
Quinta	>65	>45	<75

Fuente: Linn y Martin (1999)

Comparando los rangos del Cuadro 16, con los datos de FND, FAD y VRF obtenidos para cada fase de la producción de pellets de soya, se observa una disminución en la digestibilidad del forraje durante el proceso de deshidratación y peletización (Cuadro 18).

En el Cuadro 18 se observa la clasificación de la FAD para las distintas fases de la producción de pellets; la planta entera y el forraje cosechado se encuentran en segunda categoría, mientras que el forraje secado a 6 horas y el peletizado tienen una categoría de tercera, debido al aumento en la FAD (Cuadro 18).

El forraje de soya cosechado, el forraje deshidratado a 6 horas y peletizado, presenta un aumento en la FND (Cuadro 18), lo que califica dichos forrajes en tercera

categoría. Este aumento en la FND para el forraje cosechado causa que el VRF disminuya, clasificándolo en tercera categoría. Para el forraje secado a 6 horas y el peletizado, tanto el aumento de la FAD, como el de la FND, son causantes de la disminución en el VRF, lo que lleva a catalogar estos dos forrajes como de tercera categoría (Cuadro 18).

Cuadro 18. Clasificación de las distintas fases de la producción de pellets de soya según su FND, FAD y VRF.

Identificación	% FAD	Clasificación FDA	% FND	Clasificación FDN	VRF	Clasificación de VRF
Planta entera	36,78	Segunda	52,09	Segunda	107,59	Segunda
Forraje cosechado	39,98	Segunda	54,56	Tercera	98,47	Tercera
Secador 6 horas	41,69	Tercera	56,56	Tercera	92,80	Tercera
Peletizado	40,20	Tercera	55,11	Tercera	97,19	Tercera

Durante el proceso de industrialización del forraje de soya peletizado, las distintas fases de la producción de pellets tuvieron cambios en el VRF (Cuadro 18). El VRF para el forraje cosechado fue menor con respecto al de planta entera, con una diferencia de 9,13 puntos (Cuadro 19), esto se puede deber a las malezas que se cosecharon junto con las plantas de soya, lo que disminuyó la calidad del forraje. La diferencia de 5,66 puntos entre el VRF del forraje cosechado y del forraje deshidratado, se debe a que este último presentó un aumento en la fibra ácido detergente y la fibra neutro detergente, que causó una disminución en el VRF; sin embargo, este valor se invierte cuando el forraje deshidratado se peletiza, ya que el número negativo de -4,39 puntos para la diferencia entre el forraje deshidratado y el peletizado, representa un aumento en el VRF una vez que se peletiza; de manera que si se compara el forraje peletizado contra el forraje cosechado se obtiene una diferencia de 1,28 puntos, indicado que el VRF se redujo en menor grado durante el proceso industrial (Cuadro 19). Esto indica que la mayor disminución en el VRF durante todo el proceso, se dio en el campo y no en el proceso industrial; esto por causa de un mal manejo agronómico del cultivo, afectando desde un inicio el VRF peletizado de soya.

Cuadro 19. Comportamiento del VFR del forraje de soya durante el proceso industrial de deshidratación y peletización.

Identificación	VRF	P.e-F.c	F.c-F.dh	F.dh-F.p	F.c-F.p	P.e- F.p
Planta entera	107,59	9,13				
Secador cosechado	98,47		5,66			
Secador 6 horas	92,80			-4,39		
Peletizado	97,19				1,28	10,41

P.e= Planta entera

F.c= Forraje cosechado

F.dh= Forraje deshidratado a 6 horas

F. p= Forraje peletizado

VRF= Valor relativo del forraje

4.3.2.4. Contenido porcentual de cenizas (CC)

El contenido de cenizas para la planta entera, el forraje cosechado, el forraje deshidratado a 6 horas y el peletizado fueron de 9,33% 9,87% 8,93% y 14,66% respectivamente; Estos valores son altos en comparación con 5,5% de cenizas en planta entera, presentado por Tobía y Villalobos (2004).

4.3.2.5. Extracto etéreo (EE)

Los porcentajes obtenidos de extracto etéreo fueron de 3,19% para la planta entera, 2,69% para el forraje cosechado, 2,80% para el forraje deshidratado a 6 horas y 3,35% para el peletizado. Estos valores obtenidos son menores, comparados con el 6,7% de extracto etéreo en planta entera, presentado por Tobía y Villalobos (2004).

Los niveles de energía contenidos en la fracción de extracto etéreo (EE) no deben ser mayores al 5%, esto se debe a que niveles mayores producen una

disminución en el consumo y reducen la digestibilidad de la fibra del forraje de soya, trayendo como consecuencia una disminución en la producción de leche, cuando se utiliza para alimentar una vaca en época de lactancia (Oplinger *et al* 1992). De manera que los porcentajes de extracto etéreo obtenidos en las distintas fases de producción de pellets de soya, son óptimos para la alimentación de una vaca en época de producción, ya que no sobrepasan el 4%.

4.3.2.6. Consumo de forraje diario para una vaca lechera.

Se utilizó el programa Spartan (2005) para hacer una simulación de necesidades de consumo de forraje para una vaca en lactancia con las siguientes características: 450kg peso vivo, producción de leche de 6kg/día, 3,1% grasa en leche y 20 días de lactancia⁸. Mediante este ejercicio se estimaron las necesidades de consumo de pellets de soya comparado con otras fuentes de forraje (Estrella aficana de 21-25d, Ray Grass, silo-paca de Transvala y planta de soya fresca), de acuerdo a los requerimientos de EN_L y PC. A partir de las estimaciones de consumo, se calculó el costo de alimentación por animal.

Cuadro 20. Necesidad de consumo diario de forrajes para una vaca lechera de PV=450kg, producción de leche= 6 l, grasa=3,1%, 20 días de lactancia.

Tipo de alimento	Alimento Fresco (kg)	MS (kg)	ENL (Mcal/día)	PC (kg)	Costo de alimentación diario por animal (base fresca) (□)
Estrella 21-25 días	42,00	9,53	12,11	1,50	840
Ray grass	54,00	8,99	12,14	1,80	1080
Silo pacas Transvala	28,78	9,70	12,12	1,30	1497
Planta soya fresca	34,94	8,35	12,11	1,50	908
Pellets de soya	11,00	8,36	12,20	1,40	4664

⁸ Rojas A. 2010. Peletización de forraje de soya (entrevista). San Jose, CR, UCR.

En el ejercicio se determinó la cantidad de consumo diario de distintos tipos de forraje; cada uno con diferente %MS, %PC, %FND, %FAD y en energía digestible. La variable utilizada como factor limitante en la dieta, fue el requerimiento de energía. Los valores de energía digestible del peletizado no se determinaron en el laboratorio, fueron pronosticados a partir un promedio entre la energía digestible de un forraje de soya fresco y un forraje de soya ensilado⁹.

Los forrajes frescos contienen un menor porcentaje de materia seca, por esto el consumo diario de forraje para llenar los requerimientos de una vaca, debe ser mayor. El pasto Ray grass presenta una necesidad de consumo de 54kg/día/vaca, esta es la mayor cantidad de consumo en comparación con el forraje de estrella fresco y los forrajes procesados (Cuadro 20), incrementando el costo en 240 colones con respecto al de la estrella.

De los forrajes procesados el que presenta una menor necesidad de consumo diaria es el peletizado de soya, con un requerimiento de 11 kg/día/vaca; sin embargo, el costo es de 4664 colones, siendo el alimento más costoso en comparación con los demás forrajes. Este alto costo del pellets de soya puede ser reducido, pero requiere de una producción en mayor escala para disminuir costos fijos y variables. Un presecado del forraje en el campo, disminuye costos de deshidratación y un cultivo en condiciones óptimas para mejorar el rendimiento y el valor nutritivo, puede bajar el costo de alimentación.

⁹ Rojas A. 2010. Peletización de forraje de soya (entrevista). San Jose, CR, UCR.

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se realizó este estudio se concluye que:

1. La época en que se sembró el cultivo de soya impuso algunas dificultades para lograr una alta producción de biomasa y materia seca.
2. El manejo de malezas en el cultivo no dio los resultados esperados, lo que causó la producción de un forraje de bajo valor nutricional.
3. Se debe mejorar el rendimiento en campo y el valor nutritivo de manera que justifique el proceso industrial para producir forraje peletizado.
4. Se logró construir un secador que cumpliera la función para deshidratar el forraje, el mínimo porcentaje de humedad a la que se logro deshidratar el forraje fue de 28%. Para mejorar el prototipo en términos de capacidad de deshidratación, se debe aumentar la velocidad del aire que genera la turbina para mejorar la presión estática dentro del cilindro de secado y aumentar la eficiencia en la evacuación de la humedad que liberan las partículas de forraje.
5. Se logró producir 9 quintales de peletizado de forraje de soya.
6. La pérdida de proteína cruda en el forraje de soya cosechado durante el proceso de peletización fue de 2,2%.
7. El proceso de peletización del forraje puede mejorar el valor relativo del forraje de soya.
8. Los niveles de extracto etéreo en el forraje de soya peletizado son adecuados, por lo tanto permite que se pueda alimentar una vaca con este pellets durante la época de producción de leche.

9. El alto porcentaje de materia seca que posee el peletizado de soya, permite que una vaca ingiera más materia seca por kilogramo de alimento (base fresca) consumido.
10. El valor nutritivo del forraje de soya peletizado, es menor que los valores para forraje de soya fresco, sin embargo, el pellets posee mayor porcentaje de materia seca.
11. El costo por kilogramo de pellets de soya fue de 423 colones y el costo por kilogramo de forraje de soya fresco fue de 26 colones.
12. “El forraje de soya peletizado” podría ser una opción interesante que aporte forraje de alto valor nutritivo para la alimentación del ganado. La estructura física del alimento facilitaría el transporte, comercialización, almacenaje y suministro al animal. Su alto contenido de materia seca, permitiría ofrecerle al animal un mayor consumo de materia seca utilizando bajos volúmenes de forraje. Sin embargo, los procesos tanto en la fase agronómica del cultivo, como en la industrialización debe ser optimizada para reducir sensiblemente los costos. El manejo del contenido de humedad del cultivo y el diseño de un prototipo para deshidratar eficientemente forraje de soya, son algunos de los principales retos.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar la siembra de soya (*Glicyne max L. Merr*) en época de fotoperiodo creciente (marzo, abril, mayo).
2. Se recomienda deshidratar el forraje en el campo para disminuir el gasto energético del secador industrial y los costos de producción.
3. Se debe deshidratar el forraje hasta una humedad mínima de 13,5%, para aumentar el tiempo de duración del pellets almacenado en una lechería. Para ello se requiere de una maquina deshidratadora de temperatura media o alta, que no sobrepase los 60 °C, con una presión estática de 1,5 a 2 pulgadas de agua dentro del cilindro de secado y una turbina que genere una velocidad de 80km/hr, para mejorar la eficiencia en la evacuación de la humedad que se desprende de las partículas del forraje. Otro punto importante, es que la turbina extraiga la humedad por succión, ya que de esta forma se eliminan puntos muertos de paso del aire dentro del cilindro de secado.
4. Para establecer el tiempo de secado en la maquina deshidratadora, se recomienda ingresar el producto y extraerle el máximo de humedad que pueda el secador, y realizar mediciones de % de MS hasta que este valor se mantenga estable en el tiempo, con el fin de generar una curva que permita pronosticar el tiempo de secado y el % de la humedad con que sale el forraje del cilindro.
5. Para obtener un forraje de mayor calidad con una producción más alta, el cultivo de soya se debe sembrar en la zona de Guanacaste, utilizando un manejo agronómico adecuado.

VII. LITERATURA CITADA

Adams, R; Comerford, J; Ford, S; Graves, R; Heald, C; Heinrichs, A; Henning, W; Hutchinson, L; Ishler, V; Keyser, R; O'Connor, M; Specht, L; Spencer, S; Varga, G y Yonkers, R. 1995. Dairy Reference Manual 3 ed ingles. Pennsylvania, USA. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. 101p.

ANKOM *Technology*. 2003. Method for Determining Neutral Detergent Fiber (NDF) and Acid Detergent Fiber (ADF). Macedon, New York, USA: Consultado 12 de Ago. 2010. Documento en línea. Disponible en <http://www.ANKOM.com>

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of analysis. 15 ed. Arlington, Virginia, USA. 69 p.

Cámara Nacional de Productores de Leche (CNPL). 2009. Información del sector lácteo costarricense 2009. Sitio web. Información del sector CNPL, San José, CR: Consultado 28 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en http://www.proleche.com/info_sector.htm

Camero, L. 2008. Estrategias de conservación de forraje para la época Seca. Curso de agrostología. Instituto Tecnológico de Costa Rica, sede San Carlos, Santa Clara, Costa Rica.

Cooperativa de productores de leche Dos Pinos R.L (Dos Pinos). 2010. VIII Congreso Cooperativo Dos Pinos 2010. Comité de Educación y Bienestar Social Dos Pinos (CEBS), Alajuela, CR.

Corporación Ganadera CORFOGA, CR. 2000. Censo Ganadero. Sitio web. Censo CORFOGA, San José, CR: Consultado 29 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en <http://www.corfoga.org/censo.php>

Coto, D; Saunders, J. 2004. Insectos Plagas de Cultivos Perennes con Énfasis en Frutales en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y la EARTH. Turrialba, Costa Rica. 400 p.

La Región Ecoagro. 2006. Producción de etanol en Estados Unidos. Sitio web. New Soliclima, USA: Consultado 21 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en <http://news.soliclima.com/noticias/biosfera/produccion-de-etanol-en-estados-unidos>

Fehr, W; Caviness, C. 1980. Stages of soybean development. In Producción y Valor Nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. Tobía, C; Villalobos, E. San José, Costa Rica. Agronomía Costarricense 28(1):17-25.

Geankoplis, C. 1998. Procesos de transporte y operaciones unitarias. University Minnesota, Estados Unidos. Editorial Continental, S.A de C.V. 579p.

Geoffrey, A. 1983. Fisiología, Mejoramiento, Cultivo y Utilización de la Soja. Ann Arbor, Michigan, Estados Unidos. Editorial Hemisferio Sur S.A. 19 p.

Gupta, B; Johnson, D; Hinds, F Y Minor, H. 1973. Forage potential of soybean straw. Agronomy Journal 65:538-541.

Harper, J. E. 1974. Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. In Producción y Valor Nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. Tobía, C; Villalobos, E. San José, Costa Rica. Agronomía Costarricense 28(1):17-25.

Hinson, K; Hartwing, E. 1978. La Producción de Soja en los Trópicos. Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 7-8 p.

Kammel, D. 1996. Physical Characteristics Of Alternative Feeds. Sitio Web. Cooperative Extension Wisconsin University, USA: Consultado 28 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en <http://www.uwex.edu/ces/dairymod/planning/documents/PhysicalPropertiesofAlternativeFeeds.pdf>.

King, J. 1999. Reducing Bioenergy Cost By Monetizing Environmental Benefits Of Reservoir Water Quality Improvements From Switchgrass Production. Sitio Web. Kansas State University Research and Extension, USA: Consultado 30 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en www.engext.ksu.edu/ees/biomass/Pelletized%20Switchgrass%20for%20Space%20and%20Water%20Heating.pdf.

Madrigal, H. 1982. Recomendaciones para cultivar Soya en Costa Rica. Calle Blancos, San José. 37 p.

Mertens, D.R.1992. Nostructural & Structural Carbohydrates. In: Large Dairy Herd Management. H.H. Van Horn y C.J Wilcox (eds). American Dairy Science Association. USA. 219-235 p.

Monge, L. 1989. Cultivo de la soya. Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia. 64 p.

Montero, R; Mata, E.1988. La Soya Guía Para su cultivo y consumo en Costa Rica. San José, Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica. 21-26 p.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 1991. Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Sitio Web. San José, Costa Rica. Consultado 2 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_soya.pdf

Muslera, E; Ratera, C. 1983. Praderas y Forrajes: Producción Aprovechamiento. Madrid, España. Editorial Mundi-Prensa. 702 p.

Norman, G. 1980. Fisiología, Mejoramiento, Cultivo y Utilización de la Soya. Universidad de Michigan Ann Arbor. Michigan. Estados Unidos. Editorial Hemisferio Sur S.A. Netherlands: Consultado 4 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPC/gp/SILAGE/PDF/Paper2.pdf>

Linn J.G y Martin N.D.1999. Forage Quality Test and Interpretation. University of Minnesota/ Extension. (Reviewed 1999). Consultado 22 de nov. 2010. Documento en línea. Disponible en <http://www.extention.umn.edu/distribution/livestocksystems/DI2637>

Lobo, M; Díaz, O. 1998. Agrostología. San José, Costa Rica. Editorial Universidad Estatal A Distancia. Capitulo 4.

Ortiz, J; Hernanz, J. 1989. Técnicas de la Mecanización Agraria. 3 ed. Madrid, España. Editorial Mundi-Prensa. 383-386, 572-578 p.

Oplinger, E; Albrecht, K; Hintz, R y J. D. Doll. 1992. Soybean As An Alternative Forage Crop. Sitio Web. Cooperative Extension Wisconsin University, USA: Consultado 22 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en [soybean.uwex.edu/.../soybean/forage/.../soybean as an alternative forage crop new.pdf](http://soybean.uwex.edu/.../soybean/forage/.../soybean%20as%20an%20alternative%20forage%20crop%20new.pdf).

Porter, P; Barry, J; Samson, R; Doudlah, M. 2008. A Native Grass Pellet Bio-Heat Roadmap for Wisconsin. Sitio Web. Cooperative Extension Wisconsin University, USA: Consultado 29 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en bio.uwex.edu/library/biomasscrops.cfm.

Pedersen, P. 2003. Soybean Growth Stages. Sitio Web. Cooperative Extension Service, Iowa State University, USA: Consultado 10 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en http://extension.agron.iastate.edu/soybean/production_growthstages.html

Rojas A. 1999b. Producción, costo y utilización de ensilajes en el Ganado lechero. In Seminario Magistral: Estrategias de Alimentación de la Vaca Lechera en Verano. Auditorio de la Facultad de Agronomía de la UCR. Memoria. San José, Costa Rica. s.e. s.p.

Raymond, F; Shepperson, G; Waltham, R. 1977. Forrajes Conservación y Alimentación. Barcelona, España. Editorial GEA. 33- p.

Stefanie, J; Driehuis, F; Gottschal, J; Spoelstra, S. 1999. Silage fermentation processes and their manipulation. FAO. Electronic Conference on Tropical Silage, Lelystad, Watson, S; Smith, A. 1984. El Ensilaje. Trad. R. Vera; Q. Zapata. 9 ed español. México D. F. México. Editorial Continental. 183 p.

Tyson, J; Graves, R. 2004. Bulk Storage. Sitio Web. Pennstate College of Agricultural Sciences Cooperative Extension, USA: Consultado 26 oct. 2009. Documento en línea. Disponible en <http://www.age.psu.edu/extension/factsheets/h/H75.pdf>.

Tobía, C; Villalobos, E y Rico, E. 2006. Uso de forraje de soya (Glycine max L. Merr.) Variedad CIGRAS 06 en la nutrición de los rumiantes. X seminario de pastos y forrajes. Sitio Web. San José, Costa Rica. Consultado 2 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en http://avpa.ula.ve/congresos/seminario_pasto_X/Conferencias/A7-Carlos%20Tobia.pdf

Tobía, C; Villalobos, E. 2004. Producción y Valor Nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. Agronomía Costarricense 28(1):17-25.

Tobía, C; Villalobos, E; Rojas A; Soto, H y Moore, K. 2008. Nutritional value of soybean (*Glycine max* L. Merr.) silage fermented with molasses and inoculated with *Lactobacillus brevis* 3. Sitio Web. Investigación Pecuaria para el Desarrollo Rural 20 (7) 2008, San Jose, Costa Rica: Consultado 24 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd20/7/tobi20106.htm>.

Undersander, D. 2007. Drying Forage for Hay and Haylage. Sitio Web. Cooperative Extension Wisconsin University, USA: Consultado 28 de oct. 2009. Documento en línea. Disponible en <http://www.uwex.edu/extension>.

Undersander, D. 2001. Soybean for Hay or Silage. Sitio Web. Cooperative Extension Wisconsin University, USA: Consultado 6 de enero. 2010. Documento en línea. Disponible en www.uwex.edu/ces/forage/pubs/SOYBNFOR.html.

Venturi, G; Amaducci, M. 1988. La Soja. Madrid. España. Editorial EDAGRICOLE. 31 p.

Van Soest, P.J.; Robertson, J.B. 1985. Analysis of forages and fibrous foods. Cornell University, A Laboratory Manual for Animal Science.

Van Soest, R. 1985. Nutritional Ecology of the Ruminant. Cornell University, USA. Editorial O & B Books. 139-140p.

Weiss, W; Shockey, W. 1991. Value of orchardgrass and alfalfa silage to dairy cows. *Journal of Dairy Science* 74:1933-1943.

