

## DISEÑO DE MÁQUINA PARA EMPAQUE DE FORRAJE DE MAÍZ PARA ENSILAJE: DOSIFICADO Y COMPACTADO

### Design of a maize forage packing machine use for ensilage: dosification and pressing

#### RESUMEN

En el siguiente artículo se presenta una propuesta para la industrialización del proceso de empaque de forraje de maíz utilizado para ensilaje, el cual es utilizado como alternativa de alimentación para el ganado. En este trabajo se describe el diseño de máquina y el diseño, construcción y pruebas del prototipo para dosificar, compactar y adición de nutrientes del forraje del maíz. Se describen las pruebas de compactación realizadas para determinar la fuerza requerida por unidad de área tal que permita extraer la mayor cantidad de aire, que conserve su forma y evite la pérdida de nutrientes.

**PALABRAS CLAVES:** Compactación, Diseño de máquina, Dosificación, Ensilaje de maíz

#### ABSTRACT

*A new proposal of a maize forage packing machine used for ensilage is presented in this article; the forage is used as an alternative for feeding cattle. A description of the design of the machine and the design, construction and tests of its prototype for the dosification, pressing and addition of nutrients to the maize forage is presented in this work. The pressing test to determine the force required for extracting the maximum amount of air that conserves its form and avoids the loss of nutrients are also described.*

**KEYWORDS:** Compactation, Dose, Ensilage of maize, machine design

#### 1. INTRODUCCIÓN

Durante años se ha planteado la alternativa, de almacenar y conservar el alimento que se produce de más en las épocas de abundancia, con el propósito de poderlo suministrar a los animales, en los tiempos cuando el alimento escasea o pierde calidad nutricional. Esta alternativa de solución está siendo solo empleada por agricultores y ganaderos que tienen los suficientes recursos tecnológicos y económicos, debido a que esta labor requiere utilizar gran cantidad de mano de obra, además de recursos tecnológicos como tractores y cortadoras, lo que la hace poco viable para el campesino que no cuenta con estos elementos.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su división para alimentos y agricultura (FAO), manifiesta por medio de varios documentos acerca del ensilaje, la necesidad de un equipo que permita facilitar las diferentes etapas del proceso, especialmente para los pequeños campesinos, los cuales realizan la mayoría del trabajo artesanalmente, [1]. El presente trabajo busca ser parte de la solución a este problema, por medio del diseño de un equipo que además de mecanizar las diferentes etapas del proceso sea eficiente y económico.

El ensilaje puede ser definido como un método de conservación de forraje en el que la mayoría de la energía, proteínas y otros nutrientes que se hallaban

Fecha de Recepción: 8 de Septiembre de 2008.  
Fecha de Aceptación: 16 de Noviembre de 2008.

#### MARLON JHAIR HERRERA

Ingeniero Mecánico,  
Profesor Catedrático  
Facultad de Ingeniería Mecánica  
Estudiante de maestría  
Sistemas Automáticos Producción  
Universidad Tecnológica de Pereira  
marlonherrera@gmail.co

#### JOANNI MEDINA

Ingeniero Mecánico  
Estudiante de maestría  
Sistemas Automáticos Producción  
Universidad Tecnológica de Pereira  
joanni\_medina@yahoo.es

#### HÉCTOR FABIO QUINTERO

Ingeniero Mecánico, M. Sc, Ph. D  
Profesor Asociado  
Facultad de Ingeniería Mecánica  
Universidad Tecnológica de Pereira  
hquinte@utp.edu.co

originalmente en la planta, permanecen en una forma que puede ser utilizado eficientemente por las vacas de producción lechera, [2]. Técnicamente, se define como un método de conservación de un recurso de alimento que está basado en la eliminación de aire (oxígeno) contenido en la masa de alimento, para promover la fermentación de azúcares a ácido láctico. Esta eliminación se debe a unas bacterias ácido-lácticas que causan un incremento de acidez (reducción en el pH), lo cual inhibe la degradación de ensilaje por enzimas vegetales (primariamente enzimas degradantes proteicas), especies indeseables de bacteria (enterobacteria, clostridia), levaduras, hongos, y las mismas bacteria ácido lácticas, [3].

En este artículo se presenta el diseño de una máquina para, empacar y compactar el alimento que se produce de exceso en las épocas de abundancia, facilitando su almacenamiento y conservación. Se presenta las pruebas realizadas al prototipo de la máquina diseñada.

Con el fin de garantizar una excelente calidad del alimento durante mucho tiempo, se debe evitar, que una vez compactado y empacado el producto, entre en contacto con el aire. Para ello, se deben realizar procesos adicionales al sistema de empaque de tal manera que aseguren la calidad del alimento en el momento en que éste sea requerido. En un trabajo paralelo [4], se realizó

el diseño y pruebas del sistema de vacío y sellado de las bolsas.

## 2. PROCESO DE ENSILAJE

El ensilaje puede ser definido como un método de conservación de forraje en el que la mayoría de la energía, proteínas y otros nutrientes que se hallaban originalmente en la planta, permanecen en una forma que puede ser utilizado eficientemente por las vacas de producción lechera, [5, 6].

El objetivo de producir ensilaje es aprovechar el excedente de forraje producido en la época de abundancia para alimentar el ganado durante épocas críticas, bien sea por sequía o por el exceso de lluvia que pudre los pastos. Pero aún en condiciones no críticas, sino en el ciclo normal de invierno-verano, la conservación de alimentos es una práctica que se debe imponer como condición para la competitividad de la ganadería, en cuanto permitirá sostener una oferta estable de carne y leche a los consumidores nacionales y extranjeros.

Se trata, por lo tanto, de mantener durante todo el año niveles estables de producción, a partir de mantener también estables las condiciones de productividad de los animales. Es importante conservar la cantidad y calidad de alimento, y, aunque hay otras alternativas, el ensilaje es quizás la más práctica y fácil de desarrollar para el ganadero.

El ensilaje no es otra cosa que forraje verde picado (de gramíneas, cultivos anuales, leguminosas), conservado en la ausencia de aire y recolectado en bolsas plásticas o en depósitos denominados silos.

Se aprovecha el excedente de forraje producido en la época de abundancia para suministrarlo en épocas críticas. Se cosecha y se ensila el forraje en su punto óptimo, preservando al máximo los nutrientes. Se necesita menos concentrados del mercado, disminuyendo así los costos de alimentación. Se pueden conservar forrajes por mucho tiempo con pérdidas pequeñas. Los materiales más utilizados en procesos de ensilaje son, por ejemplo: maíz, sorgo, caña, Cratylia, Caupí, totumo y yuca, entre otros. Para cantidades pequeñas, normalmente entre 20 kg y 40 kg, se utilizan silos de bolsa plástica y de barril (caneca), lo que facilita su transporte, comercialización y, principalmente, el proceso mismo de ensilar.

El ensilado de forraje de maíz requiere una serie de pasos que van desde la recolección de la cosecha hasta el empacado del producto para su distribución final. A continuación se describen los pasos:

**Recolección:** se recoge el maíz estando aún verde (a los cien días de la siembra aproximadamente), y se pica en pequeños trozos. Esto se hace mediante una máquina arrastrada por un tractor, que corta la mata de maíz dejando la zoca (trozo del tallo que se eleva poco menos

de 25 cm), picando la mata y descargándola en un remolque con capacidad de 1,5 toneladas.

**Compactación:** se compacta el forraje de maíz para eliminar el exceso de aire. Para esto se descarga el forraje del remolque sobre un plástico (de 7 m por 10 m) y posteriormente un tractor pasa sobre el para compactarlo, figura 1.



a) Descargue



b) Compactación

Figura 1. Imagen de descargue y compactado de forraje para ensilaje, [1]

**Rociado:** el forraje de maíz es rociado con un producto para acelerar el proceso de fermentación, este producto puede ser melaza. Esto se hace usando una fumigadora de espalda.

**Sellado:** todos estos pasos se repiten hasta acumular una cantidad aproximada de diez toneladas en el silo, momento en el que se tapa el silo con un plástico de la forma mostrada en la figura 2, una vez tapado se da comienzo a la fermentación anaeróbica.

**Empacado:** el ensilado tarda alrededor de 25 días para estabilizarse, y queda listo para ser removido. Para esto se retira la cubierta del silo, y el ensilaje se empaca manualmente en bolsas plásticas de alto calibre (150  $\mu$ m de espesor), generalmente se empaca de 30 kg a 60 kg, dependiendo del cultivador. El forraje empacado se arruma a la intemperie en lugares abiertos para evitar el ataque de roedores. Una vez empacado el ensilaje está listo para ser distribuido comercialmente.



Figura 2. Imagen de silo tipo bunker, [1]

### 3. PRUEBA DE COMPACTACIÓN

Esta prueba se realiza para evaluar la fuerza requerida por unidad de área, que permita extraer la mayor cantidad de aire de las plantas de maíz previamente picadas, y que es vital para el proceso de fermentación anaeróbica, además de reducir significativamente el volumen ocupado por el producto. También se busca probar que, una vez compactado el producto, éste puede conservar una forma que, al terminar el proceso de empaque, facilite la labor de almacenamiento y conservación; dicha presión debe evitar la pérdida de humedad y como consecuencia la pérdida de nutrientes y valor alimenticio del forraje.

Con el fin de determinar el valor aproximado del peso específico del forraje,  $\gamma_F$ , se requiere encontrar una relación entre el peso del forraje compactado,  $W_C$ , y el volumen que éste ocupa después de ser compactado,  $V_C$ .

$$\gamma_F = \frac{W_C}{V_C} \quad (1)$$

El peso específico permite calcular el tamaño de los contenedores que se deben construir de acuerdo con el peso que se desee compactar, tanto en el prototipo como en la máquina. Debemos recordar que una de las condiciones básicas del proceso de ensilaje es la necesidad de cortar la planta de maíz en unas condiciones de humedad específica, aproximadamente entre 70 y 75 %, lo que da validez a la búsqueda del peso específico del forraje, ya que éste tiene un valor aproximadamente constante.

Tabla 1. Peso específico del forraje para diferentes tamaños de máquinas compactadoras, [7]

| Peso del forraje (kg) | Volumen final del forraje (m <sup>3</sup> ) | Peso específico del forraje $\gamma_F$ (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------|---|---|
| 50                    | 0,1   | 500   |
| 450                   | 0,8   | 560   |
| 650                   | 1,1   | 590   |

En este estudio, se utiliza la primera relación de peso específico por ser la más aproximada al volumen y peso

que se desea compactar (40 kg), por lo que se elige un peso específico  $\gamma_F = 500 \text{ kg/m}^3$ .

En el prototipo se compacta un peso cercano a 0,5 kg de forraje, por lo que se calcula el volumen aproximado que ocupa el producto después de ser compactado.

$$V = \frac{W}{\gamma_F} = \frac{0,5 \text{ kg}}{500 \text{ kg/m}^3} = 0,001 \text{ m}^3 \quad (2)$$

El recipiente que se utiliza para realizar el compactado es de base cuadrada de 10 cm de lado, la altura teórica después de ser compactado el forraje es de 100 mm.

Para corroborar los cálculos anteriormente realizados, se construye un contenedor de lámina de hierro calibre 12 de apertura central, Figura 3.

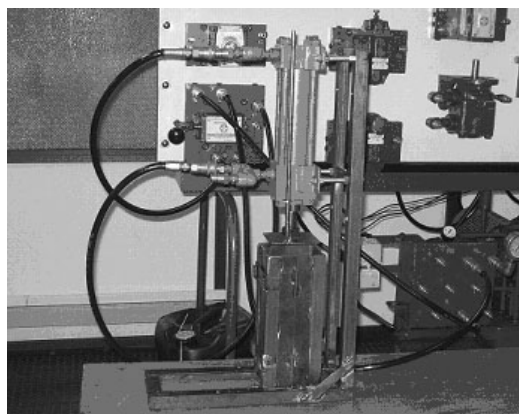


Figura 3. Mecanismo para prueba de compactación del forraje

### 4. RESULTADOS

Para realizar la prueba de compactación, se elige un cilindro hidráulico existente en el laboratorio de sistemas dinámicos de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, el diámetro del embolo es de 2 pulgadas, con este cilindro se genera la fuerza necesaria para lograr el compactado del forraje, según los cálculos anteriormente realizados.

Las pruebas de compactación del forraje se llevan a cabo bajo las siguientes características

- Un peso del forraje compactado de 500 gramos.
- Una presión de compactado entre 414 kPa (60 psi) y 690 kPa (100 psi).
- Luego de alcanzar el valor de presión de la prueba, ésta se mantiene por un tiempo de tres segundos.
- Para cada prueba se consigna el valor del volumen ocupado por el forraje antes y después de ser compactado.
- En cada prueba se verifica que el forraje una vez compactado mantenga la forma con el fin de facilitar su manipulación y almacenamiento sin presentar escurrimiento del material a ensilar.

- Se utilizan bolsas comunes, de las utilizadas en los supermercados con el fin de empacar el forraje, las medidas de estas bolsas son: 22 cm x 40 cm.

Las pruebas de compactación se realizaron a 414 kPa, 483 kPa, 552 kPa, 621 kPa y 690 kPa. En la primera prueba, El forraje no mantuvo por mucho tiempo la forma, perdió cohesión y se desmoronó, no se presenta pérdida de agua. En la prueba a 483 kPa, El forraje mantuvo la forma, pero se podía apreciar al contacto que aun existía posibilidad de lograr un mayor grado de compactación, no se presenta pérdida de agua. En la tercera prueba a 552 kPa, El forraje mantuvo la forma, se podía observar una muy buena compactación pues a pesar de sacar el producto de la bolsa, éste conserva su forma de cubo no se aprecia pérdida de líquido. En la prueba a 621 kPa, el forraje mantiene la forma, no varía significativamente con respecto a la prueba anterior se observa una muy buena compactación, se nota un poco de humedad en las paredes de la bolsa, pero no se puede precisar una pérdida de líquidos. Finalmente en la prueba a 690 kPa, el forraje mantuvo la forma, el producto está muy bien compactado pero se aprecia una mayor cantidad de humedad en las paredes de la bolsa. El volumen antes y después de compactar fueron, respectivamente  $2,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  y  $1,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

## 5. APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE COMPACTACION

Establecido ya el valor de presión con el que se obtiene la mejor compactación del forraje, se puede realizar una aproximación al tamaño del contenedor que se debe construir para lograr compactar 40 kg de forraje, además de establecer un valor cercano de la magnitud de la fuerza que debe aplicarse en el proceso. Para ello se determinan las características del forraje que es compactado a una presión de 552 kPa (80 psi).

### Cálculo de la Presión de Compactación Sobre el Forraje

La fuerza desarrollada por el vástago del cilindro,  $F_v$ , aplicada sobre el área de la platina que compacta el forraje, permite establecer la presión por unidad de área que se ejerce sobre el.

$$F_v = p_{TUH} \cdot A_p = 552 \text{ kPa} \cdot 0,002 \text{ m}^2 = 1,1 \text{ kN} \quad (3)$$

donde  $F_v$  es la fuerza desarrollada en el vástago,  $p_{TUH}$  es la presión de trabajo de la unidad hidráulica,  $A_p$  es el área del pistón,  $p_c$  es la presión de compactación sobre el forraje,  $A_{pc}$  es el área de la platina de compactado.

### Cálculo del Peso Específico del Forraje

$$\gamma_F = \frac{W_C}{V_C} = \frac{0,5 \text{ kg}}{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 417 \text{ kg/m}^3 \quad (4)$$

### Cálculo de la Relación de Volúmenes

Se puede establecer una relación entre el volumen que ocupa el forraje antes y después de ser compactado

$$R_v = \frac{V_o}{V_F} = \frac{2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 2,2 \quad (5)$$

siendo  $R_v$  la relación de tamaños

### Cálculo Aproximado del Tamaño del Contenedor

En esta etapa del proyecto no se pretende el cálculo exacto de las dimensiones del contenedor para compactar 40 kg del producto, se busca obtener una aproximación del tamaño del contenedor, esta información es requerida para el análisis del diseño definitivo.

### Volumen Ocupado por 40 kg de Forraje

Utilizando el peso específico del forraje y el peso que se desea compactar obtenemos el volumen final.

$$V_F = \frac{W}{\gamma} = \frac{40 \text{ kg}}{417 \text{ kg/m}^3} = 0,096 \text{ m}^3 \quad (6)$$

Si se toma la decisión que la forma del forraje compactado es un cubo, el valor de sus aristas será:

$$L^3 = 0,096 \text{ m}^3; \quad L = 460 \text{ mm} \quad (7)$$

Por lo tanto, el área de compactado,  $A_c$ , sería:

$$A_c = L^2 = (0,46 \text{ m})^2 = 0,2116 \text{ m}^2 = 328 \text{ pulg}^2 \quad (8)$$

## 6. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO FINAL DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA

Con el fin de cumplir las necesidades especificadas para el equipo, en se plantea el diseño de una mesa giratoria, la cual en la parte superior, aloja cuatro cajones contruidos en lámina de aluminio, cada cajón tiene puertas que permiten una fácil extracción del producto y que denominamos contenedores, ver figura 4.

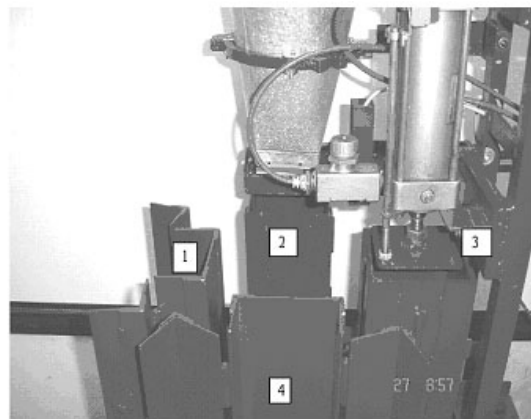


Figura 4. Mesa giratoria y contenedores

Tabla 2. Descripción de las estaciones de trabajo

| Estaciones de trabajo | Descripción                     | Presencia del operario |
|-----------------------|---------------------------------|------------------------|
| Estación 1            | Preparación del contenedor      | Si                     |
| Estación 2            | Pesaje y llenado del contenedor | No                     |
| Estación 3            | Compactado                      | No                     |
| Estación 4            | Extracción del producto         | Si                     |

### Estación 1: Preparación

Como su nombre lo indica, el operario encargado de esta estación, debe preparar el contenedor para que se pueda llenar con el forraje a compactar. Para realizar esta operación, se deben abrir las puertas del contenedor y apoyar, en su borde superior, la bolsa encargada de contener el forraje. Una vez que el operario realice correctamente esta operación, debe verificar que las puertas del contenedor estén debidamente cerradas. Al finalizar esta labor la mesa debe girar 90° a la estación 2.

### Estación 2: Pesaje y Llenado del Contenedor

Una vez que el forraje ha sido transportado desde la zona de descarga hasta la máquina, es enviado hasta una tolva identificada como 1 en la figura 4, y que está ubicada encima de la estación 2. En esta tolva se determina el peso a compactar por medio de una balanza digital y que se marca como 3 en la figura 4, la cual una vez que detecta el peso establecido, envía una señal que actúa una válvula direccional. Esta válvula controla la compuerta que permite el paso de forraje entre la tolva y el contenedor, este último identificado como 4 en la figura 4, y al cual previamente se le coloca la bolsa en la estación 1, cuando esta operación finaliza, la mesa gira otros 90° hasta la estación 3.

### Estación 3: Compactado

Cuando el contenedor llega a la estación 3, el sensor de posición de la mesa indica un alineamiento entre el cilindro de compactado y el contenedor. Cuando esto se cumple, el cilindro es accionado desplazándose para compactar el forraje que está al interior del contenedor, hasta alcanzar el valor de presión de compactado y sostener dicho valor por un tiempo de tres segundos. Una vez finalizado este tiempo, el cilindro retorna hasta actuar un final de carrera que envía una señal para permitir nuevamente el giro de la mesa hasta la estación 4. Para evitar que la mesa giratoria se deforme o se presenten daños en el eje central y sus rodamientos, durante los repetitivos procesos de compactación, se diseñaron dos rodillos los cuales se ubican bajo la mesa rotatoria y en la posición de la estación de compactado. El propósito de estos rodillos es soportar la fuerza generada por el cilindro, protegiendo así el eje central de la mesa y los rodamientos a grandes esfuerzos de flexión.

### Estación 4: Extracción

En esta estación un operario se encargará de abrir las puertas del contenedor y extraer la bolsa con el forraje compactado. Una vez extraída la bolsa el operario debe realizar dos operaciones: la primera consiste en cerrar las puertas del contenedor, con el fin que la mesa gire nuevamente y el contenedor inicie un nuevo ciclo; en la segunda operación, se debe entregar la bolsa con el ensilaje compactado a la máquina que debe realizar el proceso de extracción del aire y sellado de las respectivas bolsas.

### Accionamiento de la Mesa Giratoria

El giro de la mesa se logra por medio de un cilindro hidráulico, el cual acciona un brazo mecánico que está acoplado a un trinquete unidireccional, figura 5.

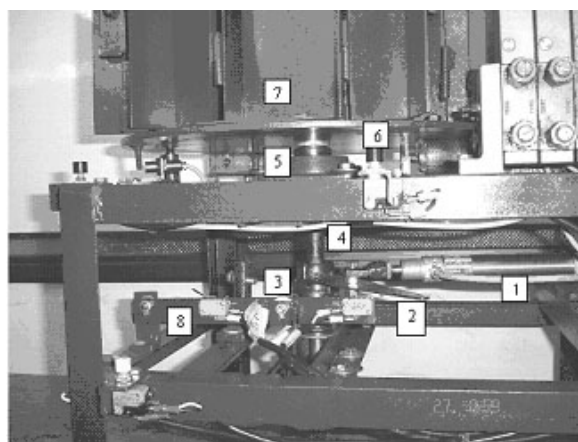


Figura 5. Mecanismo para el giro de la mesa

1. Cilindro, 2. Brazo, 3. Trinquete unidireccional, 4. Eje, 5. Soporte de rodamiento, 6. Mesa giratoria, 7. Contenedor, 8. Final de carrera

El giro de la mesa se logra únicamente cuando el cilindro se extiende, pero al contraerse el cilindro nuevamente mueve el brazo pero no la mesa. En cada movimiento completo del cilindro, es decir avance y retroceso, se logra un giro de 90° de la mesa. Para mover este cilindro se aprovecha la unidad hidráulica seleccionada para el proceso de compactación. Tanto para la carrera de avance como de retroceso, se utilizan válvulas reguladoras de caudal con el fin de controlar la velocidad de giro de la mesa, adicionalmente se deben utilizar dos finales de carrera que permitan identificar cuando el cilindro presenta el vástago extendido y cuando retraído. En la lógica de los movimientos de la máquina, se obligará a este cilindro a estar extendido hasta finalizar el proceso de compactado. La mesa giratoria sirve como plataforma de apoyo para los contenedores, el material usado para su construcción es lámina de acero estructural A-36.

### Sistema de Transporte

Se diseñó un sistema de transporte neumático encargado de transportar el forraje del sitio de descargue hasta la tolva en la que se realiza el pesaje. Este sistema facilita la

extracción del producto del lugar de descargue sin la necesidad de un sistema de almacenamiento adicional minimizando el trabajo físico de los operarios, además de evitar la contaminación del material transportado. Este sistema es de fácil construcción y su número limitado de piezas lo hace muy confiable.

El paso del forraje a la tolva es permitido por un dámper accionado por un cilindro. Este sistema se abre o se cierra por la señal enviada desde la báscula digital, el dámper permanece abierto hasta que la báscula detecte un peso de 40 kg y envíe una señal que activa el sistema de cierre el cual impide el paso de forraje a la tolva.

En busca de entregar un producto totalmente terminado, la máquina diseñada para dosificar, pesar y compactar el forraje de maíz, debe ser complementada por un equipo que permita realizar vacío y sellado a las bolsas en las que se compacta el forraje. Este equipo ha sido diseñado en un trabajo paralelo *Equipo para el empaque al vacío de forraje de maíz para ensilaje* [3]. Los dos proyectos se desarrollaron, buscando que cada uno de ellos sea el complemento del otro y así ofrecer una solución integral al sector agropecuario dedicado a la producción de ensilaje para la alimentación de ganado.

## 5. CONCLUSIONES

El tamaño y peso del equipo diseñado, permite que éste sea instalado en la parte superior de un remolque, facilitando su transporte, esta característica del equipo hace que sea viable su adquisición por parte de asociaciones y cooperativas de campesinos, las cuales pueden emplear el equipo para compactar y empacar rápidamente el forraje cosechado en una finca, y, posteriormente, trasladarlo para que realice las mismas operaciones en otra, esto gracias a la capacidad de la máquina.

La construcción de un prototipo como base para el desarrollo y prueba del diseño definitivo del equipo, permite evaluar la eficacia y la eficiencia de los sistemas seleccionados, con un costo relativamente bajo. Un valor agregado del prototipo, es que facilita la corrección de problemas, además de poder realizar ajustes y cambios, incluso detectar la inviabilidad de un equipo, aspectos estos que de otra manera sólo serían detectados cuando la máquina fuera construida, con las respectivas pérdidas de tiempo y dinero.

Aunque la máquina fue diseñada para empacar y compactar forraje de maíz, puede utilizarse para realizar las mismas operaciones con otros tipos de forraje utilizados para la obtención de ensilaje, siempre y cuando se tengan condiciones similares de tamaño y humedad por parte del forraje. En caso que estas condiciones sean diferentes, y exista la necesidad de procesar el forraje, la presión de compactación puede ser ajustada fácilmente, sin que éste genere problemas de sobreesfuerzo en el equipo.

Una vez realizadas las pruebas de compactación, se concluye que las mejores opciones de trabajo se obtienen a una presión de 552 kPa (80 psi) debido principalmente a los siguientes aspectos:

- Se obtiene una muy buena compactación del producto con lo que se logra una eficiente extracción del aire al interior del forraje.
- La consistencia del compactado es muy similar a los obtenidos a 621 kPa y 690 kPa, pero sin tanto consumo de potencia, lo que será vital a la hora del diseño del equipo.
- No se presenta pérdida de fluidos en el forraje.
- Se descartan las presiones de compactado de 414 kPa y 483 kPa debido principalmente al bajo nivel de compactación que se obtiene en el forraje.

Con los resultados obtenidos en la prueba de compactación seleccionada es posible realizar un dimensionamiento del tamaño real del contenedor que se debe construir para lograr empacar y compactar 40 kg de forraje, así mismo dimensionar los diferentes elementos que permitan realizar esta labor

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. C. S Rodríguez, "Ensilaje", *Fonaiap Divulga* N° 12 Septiembre - Octubre 1983 [Publicación periódica en línea]. Disponible en:  
URL:<http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasTecnicas/FonaiapDivulga/fd12/texto/ensilaje.htm>. Acceso el 25 de febrero de 2007.
- [2]. M. Wattiaux, "Introducción al proceso de ensilaje". Instituto Babcock, Universidad de Wisconsin. Disponible en <http://bbcock.cals.wisc.edu/downloads>
- [3]. Z Weinberg y R Muck, "New Trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage", *FEM Microbiol*, 19, pp. 53 - 68, 1996
- [4]. J C. Gutiérrez, "Equipo para el empaque al vacío de forraje de maíz para ensilaje: diseño de máquina, construcción de prototipo y prueba", Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, 2008.
- [5]. M Titterton, O Mhere O, T. Kipnis, G. Ashbell, Z. G. Weinberg y B. V. Maasdorp, "Desarrollo de técnicas de ensilado para pequeños ganaderos en Zimbabwe" Disponible en  
URL:<http://www.fao.org/DOCREP/005/X8486S/X8486S00.htm>. Acceso el 7 de febrero de 2007.
- [6]. H Cuadrado, S. Mejía, A. Contrear, A. Romero, J. García, "Manejo Agronómico de algunos cultivos forrajeros y técnicas para su conservación en la región caribe colombiana", Manual Técnico, Corpoica, Agosto 2003.
- [7]. Forrajes Industriales. <http://www.iapcr.com/forrajes>. Consulta 25 de marzo de 2007