

Evaluación Técnica y Económica de una Planta Piloto para la Producción de Harina Integral de Yuca para Uso en la Alimentación Animal

 **CIAT**
16 JUN. 2003
UNIDAD DE INFORMACIÓN Y
DOCUMENTACIÓN

Ricardo Florián Noreña
Paola Andrea Rengifo Vélez

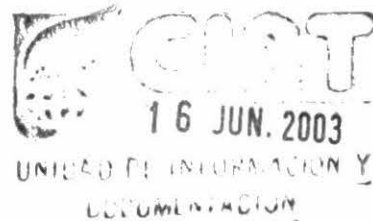
Santiago de Cali, 2003



SB
211
C3
FS6

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA PILOTO
PARA LA PRODUCCIÓN DE HARINA INTEGRAL DE YUCA PARA USO
EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL**

⁰
RICARDO FLORIÁN NOREÑA
¹
PAOLA ANDREA RENGIFO VÉLEZ



105917

UNIVERSIDAD DEL VALLE
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA
INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI
2003

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA PILOTO
PARA LA PRODUCCIÓN DE HARINA INTEGRAL DE YUCA PARA USO
EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL**

**RICARDO FLORIÁN NOREÑA
PAOLA ANDREA RENGIFO VÉLEZ**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrícola.

Director

Ing. CARLOS VÉLEZ; Ph.D. (UNIVERSIDAD DEL VALLE)

Codirectores

Ing. BERNARDO OSPINA; M.Sc. (CIAT-CLAYUCA)

Ing. LISIMACO ALONSO (CIAT-CLAYUCA)

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA
INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI**

2003

Nota de aceptación

Firma de jurado

Firma de jurado

Santiago de Cali, marzo 28 de 2003

A Dios por su presencia en todo momento.

A mis padres por todo su dedicación, esfuerzo y sacrificio.

A mis hermanos por su compañía y amistad.

Los Amo!!

Ricardo

A Dios por estar conmigo todos los días de mi vida y permitirme alcanzar mis metas.

A la Virgen Maria por iluminar mi camino.

A mi madre porque sin ella no seria lo que soy, por su esfuerzo, sacrificio y amor, por ser mi confidente y amiga..

A mi hermana, que amo con todo mi corazón, por su paciencia y comprensión.

A mis tias Lucy, Betty y Aleyda por su paciencia, apoyo, confianza, comprensión y amor.

A mi amiga Lucerito por su amistad incondicional.

A mis amigos Sandra Y Luis Eduardo, por su invaluable amistad. Dios los bendiga! Los quiero mucho!

A mis amigos y compañeros Lix Danny, Juliana, Mauricio, Leonardo, Gustavo, Patricia y Noelia., por todos estos años que compartimos juntos.

A Lisímaco por tu gran ayuda..

Que Dios los bendiga y acompañe siempre.

Paola Andrea Rengifo Vélez.

AGRADECIMIENTOS

A Bernardo Ospina por darnos la oportunidad de realizarnos como profesionales.

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por su aporte económico

Al Profesor Carlos Vélez por sus aportes y colaboración.

A Lisímaco por su constante apoyo, enseñanzas y sobretodo su amistad.

A William y a Gildardo por su invaluable trabajo y colaboración

A todo el equipo de CLAYUCA: Amalia, Ximenita, Zully, Luis Fernando, Jorge Luis, Diego, Alvaro, Camilo, Ana Milena, por su amistad incondicional y por los buenos momentos.

A Teresa Sánchez y Programa de Agroempresas Rurales

A todas las personas e instituciones que de alguna u otra manera colaboraron para la realización y culminación de este trabajo.

CONTENIDO

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN.....	16
1.JUSTIFICACIÓN	18
2. ANTECEDENTES	20
3. OBJETIVOS	25
3.1 OBJETIVO GENERAL	25
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
4. MARCO TEÓRICO.....	26
4.1 ASPECTOS GENERALES DE LA YUCA.....	26
4.1.1. <i>Utilización</i>	27
<i>Alimentación humana</i>	28
<i>Alimentación animal</i>	28
4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA YUCA QUE INCIDEN EN SU USO COMO ALIMENTO	
ANIMAL	29
4.2.1. <i>Concentración energética</i>	29
4.2.2. <i>Concentración de proteína y aminoácidos esenciales</i>	29
4.2.3. <i>Contenido de vitaminas</i>	30
4.2.4. <i>Contenido de minerales</i>	31
4.2.5. <i>Presencia de ácido cianhídrico y glucósidos cianogénicos</i>	31
4.2.6. <i>Efectos del ácido cianhídrico</i>	33
4.2.7. <i>Eliminación del ácido cianhídrico</i>	33
4.3. CONSIDERACIONES TEÓRICAS SOBRE SECADO.....	34
4.3.1. <i>Definición</i>	34
4.3.2. <i>Métodos de secado artificial para yuca</i>	35
5. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPO	38
5.1 MATERIALES.....	38
5.2 INSTRUMENTOS Y EQUIPO.....	38
5.3 PLANTA PILOTO DE SECADO.....	40
5.3.1 <i>Proceso de producción de la harina integral de yuca</i>	41
5.3.2 <i>Descripción del proceso</i>	41
5.4. METODOLOGÍA	47
5.4.1 EVALUACIÓN DE LA PLANTA ORIGINAL	47
5.4.2 EVALUACIÓN DE LA PLANTA ORIGINAL CON RECIRCULACIÓN	
DE PRODUCTO.	49
5.4.3 EVALUACIÓN DE LA PLANTA MODIFICADA	50
5.4.4 OBTENCIÓN DE DATOS	51
5.4.5 PROCESAMIENTO DE DATOS	54

<i>Cálculo del calor suministrado al aire por el intercambiador</i>	<i>54</i>
<i>Cálculo del calor cedido por el aire</i>	<i>55</i>
<i>Cálculo del flujo másico del aire</i>	<i>55</i>
<i>Consumo específico de energía.....</i>	<i>56</i>
<i>Eficiencia térmica global</i>	<i>56</i>
<i>Rendimiento energético promedio.....</i>	<i>57</i>
<i>Cálculo del consumo de combustible</i>	<i>57</i>
6. ANÁLISIS DE COSTOS	58
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
7.1. EVALUACIÓN DE LA PLANTA ORIGINAL	61
7.2 EVALUACIÓN DE LA PLANTA MODIFICADA CON RECIRCULACIÓN DE PRODUCTO	71
7.3. EVALUACIÓN DE LA PLANTA MODIFICADA.....	78
8. ANÁLISIS DE COSTOS	93
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES.....	97
BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Moléculas de los glucósidos linamarina y lotaustralina, y liberación de ácido cianhídrico de los tejidos de la planta de yuca	32
Figura 2.	Vista planta piloto	40
Figura 3.	Diagrama de flujo de proceso de la planta piloto	41
Figura 4.	Tolva de recepción de materia prima	42
Figura 5.	Tambor rotatorio de limpieza	42
Figura 6.	Banda transportadora	42
Figura 7.	Triturador	43
Figura 8.	Rallador	44
Figura 9.	Tornillo Alimentador	44
Figura 10.	Aletas de secadores	45
Figura 11.	Vista de secadores 1 y 2	45
Figura 12.	Diagrama planta piloto diseño original	48
Figura 13.	Ubicación del secador de lecho fluidizado en la planta	49
Figura 14.	Detalle del secador de lecho fluidizado	49
Figura 15.	Vista del rallador con masa de yuca gelatinizada	65
Figura 16.	Variación del contenido de cianuros por etapa del proceso para la variedad CM 340-30	68
Figura 17.	Variación del contenido de cianuros por etapa del proceso para la variedad MVEN-25	68
Figura 18.	Diagrama de flujo de la planta piloto con recirculación.	71

Figura 19. Vista secador 3, aclimatador y ciclón de separación	76
Figura 20. Variación del contenido de humedad del producto a través de las etapas del proceso , prueba 18	77
Figura 21. Variación del contenido de humedad del producto a través de las etapas del proceso , prueba 19	77
Figura 22. Diagrama de flujo de la planta piloto (diseño modificado)	78
Figura 23. Esquema de la planta piloto diseño modificado	80

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Resumen de actividades de las pruebas realizadas para la evaluación de la planta original	63
TABLA 2 Parámetros de operación de los equipos.	64
TABLA 3. Determinación de cianuro total y cianuro libre en variedad CM 340-30	67
TABLA 4. Determinación de cianuro total y cianuro libre en variedad MVEN-25	67
TABLA 5. Resultado del primer análisis proximal de harina de yuca obtenida en la planta piloto	70
TABLA 6. Resumen de actividades de las pruebas realizadas para la evaluación de la planta original sin lecho fluidizado y con recirculación del producto.	73
TABLA 7. Condiciones de operación prueba 18	75
TABLA 8. Condiciones de operación prueba 19	75
TABLA 9 Resumen de resultados de la evaluación planta modificada	81
TABLA 10 Resultados obtenidos en la prueba 23	82
TABLA 11 Resultados obtenidos en la prueba 24	83
TABLA 12 Resultados obtenidos en la prueba 25	84
TABLA 13 Resultados obtenidos en la prueba 26	85
TABLA 14 Resultados obtenidos en la prueba 27	86

TABLA 15 Resultados obtenidos en la prueba 30	87
TABLA 16 Resultados obtenidos en la prueba 31	88
TABLA 17 Resultados obtenidos en la prueba 32	89
TABLA 18 Costos de producción por tonelada de yuca seca para diferentes sistemas de secado	93

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Calibración del horno de convección forzada usado en la determinación de humedad	101
Anexo B. Calibración del anemómetro para medición del caudal del aire	111
Anexo C. Calibración de termómetros de vidrio y termómetro digital	117
Anexo D Un nuevo cromógeno para determinación de cianogénicos en productos de yuca	128
Anexo E. Especificaciones de Calidad para compra de yuca seca	134
Anexo F. Tablas de determinación y corrección de humedad en base seca (%) horno a 70°C de las pruebas 23 a la 32	135
Anexo G. Tablas de caudal promedio obtenido en la planta piloto de las pruebas 23 a la 32	151
Anexo H. Resultados obtenidos en la planta piloto de las pruebas 23 a la 32	153
Anexo I. Fotografías de instrumentos y equipos de la planta piloto	162

RESUMEN

La evaluación técnica y económica de una planta piloto para la producción de harina integral de yuca para uso en la alimentación animal, se realizó en tres etapas en las cuales se determinaron variables de operación tales como: temperatura de aire de secado, velocidad de rotación de los ejes de los secadores, caudal de aire de secado; además, se calcularon variables de resultados como: capacidad de procesamiento, humedad del producto, consumo específico de energía y eficiencia térmica global.

Los resultados obtenidos demuestran que la utilización de este proceso de secado artificial para la producción de harina de yuca no es viable económicamente comparado con otros sistemas de secado tradicional de yuca, sin embargo, este proceso permite la eliminación de un 80% de ácido cianhídrico presente en las raíces.

PALABRAS CLAVES

Secado Artificial, Harina de yuca, Eliminación de ácido cianhídrico, secador de lecho fluidizado, Molino de Martillos, Rallador, Secador rotatorio de carcaza estática.

SUMMARY

“THE TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF A PILOT PLANT FOR THE PRODUCTION OF CASSAVA INTEGRAL FLOUR TO USE IT ON ANIMAL FEEDING”

Study directed by: Carlos Velez Pasos, Ph.D. , Universidad del Valle

**Subdirected by : Bernardo Ospina Patiño, M.Sc.,CLAYUCA-CIAT
Lisimaco Alonso Alcala, Ing. Agric., CLAYUCA-CIAT**

**Achiered by : Paola Andrea Rengifo Velez
Ricardo Florian Noreña**

The technical and economic evaluation of a pilot plant for the production of cassava integral flour to use it on animal feeding, was done in three stages in which were determined the following operation variables: air drying temperature, rotation speed of the drying axis, drying air caudal; besides, the following resulting variables were calculated: processing capacity, product humidity, specific energy consumption and global thermal efficiency.

The results show that the use of this artificial drying process for the production of cassava flour is not viable economically compared to other traditional drying systems of cassava. However, this process allows the elimination of 80% of the cyanogenic acid contents of cassava roots.

KEY WORD

Artificial Drying, Cassava Flour, Cyanhidric Acid elimination, Fluidized-Bed Dryer, Hammer Mill, Cassava Grinder, Estatic Rotary Dryer with paddles.

INTRODUCCIÓN

El potencial de uso de la harina de yuca en la alimentación animal ha crecido en Colombia debido a la gran dependencia que los sectores avícola, porcícola y fabricantes de alimentos balanceados tienen en relación con el uso de cereales importados como componentes principales de las dietas.

El uso de la harina de yuca para ser utilizada como sustituto parcial del maíz en la formulación de alimentos balanceados depende del desarrollo de sistemas de procesamiento que permitan una oferta permanente y un costo final competitivo frente al precio de los cereales importados y que garanticen la oferta continua con estándares de calidad adecuados.

Por otro lado la calidad nutricional de la harina de yuca depende en gran medida de la tecnología de procesamiento empleada. El factor mas critico es el contenido final de glucósidos cianogénicos, el cual según normas internacionales no deben presentar un valor mayor de 100 ppm.

Hasta ahora el método más seguro para la eliminación de cianuro en el procesamiento de yuca ha sido el secado natural en pisos de concreto. Estos métodos a pesar de su eficacia, son procesos de detoxificación no muy eficientes y presentan la desventaja de una capacidad limitada de

producción, ya que están supeditados a épocas en las cuales las condiciones climáticas sean favorables (Ospina, 2001)

Esta situación frente a la creciente demanda de harina de yuca por parte de los diferentes sectores, requiere el desarrollo de un sistema de secado artificial para yuca que garantice una oferta permanente, con precios competitivos y parámetros de calidad que permitan un uso seguro en las dietas balanceadas.

Para cumplir con este objetivo el Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con el aporte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), e Industrias Protón Limitada, impulsaron el diseño y construcción de una planta piloto para la obtención de harina integral de yuca para consumo animal con un proceso seco, sin generación de efluentes.

La evaluación técnica y económica de la planta piloto, pretende determinar la viabilidad del uso de esta tecnología en el proceso de obtención de harina integral de yuca en América Latina y el Caribe.

1.JUSTIFICACIÓN

La harina integral de yuca puede reemplazar parcial o totalmente a los granos de cereales (sorgo, maíz, trigo, etc.) en la alimentación de algunas especies de animales como aves y cerdos.

La principal característica de la harina de yuca es su alto contenido en carbohidratos (almidón), que proporciona un nivel de energía comparable con la del maíz y el sorgo. El principal limitante nutricional es su bajo contenido de proteína (2% a 3%) y ácidos grasos esenciales, en contraste con el sorgo y el maíz. Debido a este limitante, el precio de la harina de yuca debe ubicarse alrededor del 70% al 80% con respecto al precio del maíz. (Buitrago y Luckett, 1997.)

Dentro de los alimentos balanceados, el maíz representa el 60% en peso, lo cual explica la cantidad de importaciones de maíz que Colombia está efectuando para suplir la demanda de los diferentes sectores pecuarios.

En 1998 se contabilizaron tres millones de toneladas de alimentos balanceados, lo que significó la importación de aproximadamente dos millones de toneladas de maíz. (Fenavi, 1999).

En las dietas para aves, basadas en yuca, un aumento de participación de la harina de yuca hasta 40%, significaría una disminución del maíz en dichas dietas hasta del 82.2%. (Fenavi, 1999).

En razón de la gran debilidad de la industria avícola por su alta dependencia de materias primas importadas y la necesidad de buscar fortalezas competitivas con materias primas locales se ha planteado "la tropicalización de la agricultura", mediante el impulso del cultivo de yuca, con variedades que ofrezcan alto rendimiento. (Fenavi, 1999)

Para poder conquistar y consolidar el mercado que ofrece la industria de alimentos balanceados, CLAYUCA, CIAT, la Universidad del Valle y con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la Federación Colombiana de Avicultores (FENAVI) pretende ofrecer a los productores de harina de yuca un sistema de secado artificial continuo, eficiente y rentable que garantice un producto final de óptima calidad, durante todo el año.

Este sistema es una planta piloto compuesta principalmente por secadores rotatorios con flujo de aire en paralelo y en contracorriente que funcionan en forma continua.

2. ANTECEDENTES

En Asia, donde el arroz es el alimento básico más popular, la producción comercial de yuca se ha concentrado en los alimentos para animales, sobre todo en forma de hojuelas y gránulos comprimidos para exportación, principalmente en Tailandia. En los últimos 30 años, gracias a eficaces asociaciones entre los sectores público y privado, así como a sólidas políticas del gobierno de ese país, se ha creado una competitiva industria de la yuca. En 1995, Tailandia exportó 3300 millones de toneladas de gránulos comprimidos de yuca, casi todos a la Unión Europea.

En África y América Latina, el mercado interno de alimentos elaborados a partir de yuca muestra posibilidades de crecimiento. Más del 30% de la yuca producida en América Latina se utiliza para alimentos de animales, en comparación con menos del dos por ciento en África. Las investigaciones realizadas en Camerún demuestran que los avicultores podrían reducir sus costos de producción un 40 por ciento con la incorporación de la yuca en el alimento de sus aves de corral. (www.fao.org)

La yuca seca en Colombia

La industria productora de trozos secos de yuca, como fuente de carbohidratos para la fabricación de alimentos balanceados para animales se inició hace 20 años en el contexto del Programa de Desarrollo Rural Integrado (PDRI) como un proyecto de colaboración entre este programa y el CIAT, dirigido a solucionar los excesos de oferta de yuca para el mercado fresco que se traducían en bajos precios, pérdidas para los productores y la falta de incentivo para producir.

En el año 1981 se construyó la primera planta piloto de secado natural en la costa norte de Colombia mas específicamente en el departamento de Sucre y alrededor de 1984 se establecieron cerca de 150 plantas.

Paralelamente a las investigaciones de secado natural, en la década de los ochenta en CIAT se llevaron a cabo estudios del secado artificial en capa fija como una alternativa de procesamiento de yuca durante épocas lluviosas del año y en aquellas regiones donde las condiciones climáticas son desfavorables. Estas investigaciones mostraron que el secado artificial, técnica y económicamente era una buena alternativa para posibilitar la oferta de yuca seca todo el año, además de permitir mejorar la calidad del producto. Aunque comparado con el secado natural, este mostraba mas ventajas económicas a corto plazo, pues ofrecía mayores utilidades que el secado artificial debido a menores costos de inversión y operación

El nuevo producto fue aceptado como materia prima por las fábricas de concentrados porque la yuca seca podría sustituir al sorgo como fuente de carbohidratos en las raciones para animales, aunque no su contenido en proteínas. Para esta época la yuca era adquirida por las fábricas al 85% del precio del sorgo (www.minagricultura.gov.co)

A raíz del crecimiento en la producción de pollo de engorde, huevos y porcinos, el suministro local de materias primas no pudo abastecer las necesidades de la industria de concentrados y se tuvo que recurrir a la importación de maíz y sorgo, productos que tenían a su favor la apertura económica que se inició en el país en la década de los noventa y le permitía competir con la yuca seca a precios más bajos. A esto se unió la falta de apoyo institucional con la eliminación de créditos disponibles a tasas bajas de interés para usar como capital de trabajo; como consecuencia de esto en 1992 y 1993 más del 28% de las plantas dejaron de procesar yuca y algunas más cerraron porque sus miembros fueron desplazados por la violencia. En 1993 la producción de yuca seca descendió de 35.000 toneladas a apenas 7.000 toneladas en 1994. (Gottret y Raymond, 2000)

En 1999 se encontraban operando en el país 56 plantas de secado de yuca en patios de cemento y producían aproximadamente 11.000 toneladas de yuca seca por año y en el 2.000 las importaciones de maíz sumaron 1,76 millones de toneladas, las de frijol soya 292 mil toneladas y las de harina de soya 56 mil toneladas. Estas cifras muestran claramente el déficit de materia

prima que se presenta en el país para suplir la industria de alimentos balanceados y la necesidad de la industria de la yuca seca de aumentar su producción teniendo como ventaja que las importaciones de granos, dada la reciente devaluación del peso Colombiano, se están tornando más costosas (www.dian.gov.co)

La meta que se ha fijado el Ministerio de Agricultura a corto plazo apunta a que el sector productor de yuca seca tenga la capacidad de ofrecer 400 mil toneladas al año, lo que significaría la sustitución de aproximadamente 20% de las importaciones actuales de maíz amarillo. Esto implicaría procesar anualmente un millón de toneladas de raíces de yuca fresca. El proceso tradicional de secado natural al sol no tiene posibilidades de operar en épocas de lluvia y de condiciones ambientales adversas, lo que hace que la oferta de trozos secos sea estacional. Esto refuerza la necesidad de contar con una tecnología de secado artificial que permita producir yuca seca sin importar las condiciones ambientales de las zonas productoras. (Avicultores, 2001)

En Colombia se ha realizado el estudio de varios sistemas para el secado de yuca los cuales estaban orientados a la implementación de plantas con baja capacidad de procesamiento (3 ton/día), bajo capital de inversión y reducidos costos de operación. Estas investigaciones han sido lideradas en su gran mayoría por el CIAT y actualmente las realiza junto con CLAYUCA para el desarrollo de una tecnología más avanzada de secado.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar técnica y económicamente una planta piloto de secado artificial para la producción continua de harina de yuca para uso en la alimentación animal.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.2.1 Probar, ajustar y validar técnicamente el proceso.

3.2.2 Determinar el efecto del proceso en la reducción de ácido cianhídrico HCN en el producto final.

3.2.3 Evaluar económicamente el proceso de producción de harina de yuca.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Aspectos generales de la yuca

La yuca es un cultivo importante en países asiáticos, africanos y de América Latina, principalmente, por su participación en los sistemas agrícolas, y por su aporte a la dieta de la población tanto humana como animal. Las principales ventajas de la yuca son su mayor eficiencia en la producción de carbohidratos y su alto porcentaje de almidón en relación con los cereales. Adicionalmente, es un cultivo cuya producción se adapta a ecosistemas diferentes, pudiéndose producir bajo condiciones adversas y climáticas marginales.

La yuca crece bien en terrenos bajos desde el nivel del mar hasta los 2000 m.s.n.m., con períodos vegetativos que van generalmente desde 8 hasta 12 meses, aunque en algunos casos pueden ir de 18 a 24 meses. Se adapta bien a los suelos ácidos e infértiles y tolera períodos largos sin lluvia.

La yuca se adapta a una gran variedad de condiciones climáticas, preferiblemente a climas húmedos y cálidos, temperaturas entre los 24 a 28 °C; precipitaciones de 200 a 3000 mm/año, y suelos bien drenados. Algunas

desventajas que presenta la yuca se refieren a su alta perecibilidad, además que es un producto voluminoso por su alto contenido de agua. (Cooock, 1989)

En América latina la yuca es producida en gran medida por pequeños productores. El 70% de los agricultores que producen yuca poseen extensiones de tierra de menos de 20 ha y generan 60% de la producción total de la región (www.mercanet.cnp.go.cr)

Colombia, ocupa actualmente el tercer lugar en producción de yuca en América Latina después de Brasil (23.3 millones de ton de yuca al año) y Paraguay (3.5 millones de ton). La producción del país en el 2000 fue de 1.8 millones de toneladas (www.fao.org)

4.1.1. Utilización

En la mayoría de las zonas productoras de yuca las raíces se utilizan en forma fresca, como elemento básico de la alimentación humana diaria; una proporción aproximadamente igual se procesa de diferentes maneras para utilizarla posteriormente también como alimento. Se estima que más o menos el 65% de la producción mundial de raíces se destina a la alimentación humana, cerca del 30% a la alimentación animal y el 5% restante a la producción de almidón y otros productos. (Buitrago, 1990).

Alimentación humana

Las raíces frescas pueden ser consumidas en su forma natural, o utilizadas o comercializadas con algún nivel de tratamiento poscosecha para extender su vida útil. El mercadeo incluye yuca procesada, donde las raíces son peladas, precocidas, empacadas al vacío, y congeladas. En otros casos las raíces de yuca son parafinadas. También la yuca frita producida en pequeña escala en algunos países hace parte de estos productos.

Aunque actualmente en la industria se usan pequeños volúmenes de harina de yuca, sus beneficios han incrementado el uso de harina de yuca de alta calidad, como sustituto del trigo en productos alimenticios. (Scott y Best, 2000).

Alimentación animal

La importancia de la yuca como alimento para animales está relacionada directamente con la riqueza energética de sus raíces, ya que la cantidad de calorías que se obtiene de ellas supera ampliamente la de los granos de cereales utilizados normalmente en programas de alimentación animal. Sin embargo el nivel proteínico de las raíces es bajo y exige una suplementación nutricional adecuada para que el animal pueda aprovechar todo el potencial calórico disponible en ellas. (Buitrago, 1990).

4.2. Características de la yuca que inciden en su uso como alimento animal

4.2.1. Concentración energética

La concentración de energía útil para la alimentación animal que tienen la yuca y sus subproductos está afectada por su nivel de humedad. Así, cuando las raíces están frescas contienen sólo 30% a 35 % de materia seca y proporcionan menos de 1500 kcal de energía metabolizable por kilogramo; estos niveles tan bajos de energía limitan las posibilidades de usar la yuca fresca para alimento de aves y cerdos en las etapas iniciales de su desarrollo. Al deshidratar las raíces, la concentración de energía metabolizable se incrementó hasta 3200 a 3600 kcal/kg, nivel que ya resulta adecuado para las especies mencionadas de todas las edades.(Buitrago,1990)

4.2.2. Concentración de proteína y aminoácidos esenciales

Los productos derivados de la raíz (raíz fresca, almidón, ripio o bagazo) tienen un bajo nivel de proteína cruda. Los aminoácidos más limitativos son, en orden de importancia, la metionina, la cistina y el triptófano. Debido a esa limitación, una ración animal que tenga una cantidad alta de productos derivados de la raíz debe ser complementada con proteína de otras fuentes,

y casi siempre se hace necesaria la adición de metionina sintética en pequeños niveles.

La metionina no sólo cumple funciones metabólicas como aminoácido esencial; también tiene una importante participación en el proceso de desintoxicación de ácido cianhídrico, especialmente cuando se han utilizado raciones con alto contenido de raíces o follaje de yuca amarga. Dentro de ese proceso de desintoxicación la metionina aporta, conjuntamente con la cistina, los grupos sulfidrilos (-SH) que participan en las reacciones para transformar el ion cianuro en tiocianato. (Buitrago, 1990)

4.2.3. Contenido de vitaminas

En general, el contenido de vitaminas de las raíces de yuca es deficiente si se compara con las cifras correspondientes al sorgo o al maíz. Las vitaminas más limitativas en los productos derivados de la raíz de yuca pertenecen al grupo de las liposolubles (A, E, D y K). La deficiencia es menos marcada con respecto a la mayoría de las vitaminas del complejo B y a la vitamina C.

Al preparar raciones a partir de raíces de yuca se debe dar atención especial a la deficiencia en vitamina A, ya que normalmente en las raciones para animales esta vitamina es aportada por los cereales (sorgo, maíz), en un gran porcentaje; también se debe tener el cuidado de suplementar la ración con niacina, vitamina B12 y vitamina E.

Algunas vitaminas (especialmente la A y la C) se destruyen parcialmente cuando se usan altas temperaturas durante el procesamiento de la yuca; sin embargo, cuando en la deshidratación con calor artificial no se utilizan temperaturas extremas, el contenido de vitamina A resulta muy superior al que se obtiene con la deshidratación por calor solar. .(Buitrago,1990)

4.2.4. Contenido de minerales

El contenido de minerales mayores (calcio y fósforo) en la yuca es relativamente alto, en comparación con el de otros productos energéticos utilizados en la alimentación animal. En cambio, los minerales menores, principalmente el cobre, el yodo, el hierro y el zinc están presentes en cantidades deficientes en la yuca y sus subproductos. .(Buitrago,1990)

4.2.5. Presencia de ácido cianhídrico y glucósidos cianogénicos

Los tejidos de la planta de yuca contienen diferentes concentraciones de linamarina y lotaustralina, glucósidos cianogénicos que al hidrolizarse mediante la acción de la enzima linamarasa (glicosidasa) dan origen al ácido cianhídrico libre (Figura 1).Se considera que el ácido cianhídrico libre es el que produce efectos tóxicos en el organismo animal, mientras que el ácido cianhídrico ligado (en los glucósidos cianogénicos) no lo hace, a menos que sea hidrolizado para desarrollar su efecto tóxico.

El nivel de glucósidos cianogénicos y/o de ácido cianhídrico total presentes en la raíz de yuca determinan la diferencia entre variedades amargas (de mayor toxicidad) y variedades dulces. Aunque no existe una medida precisa, se consideran como variedades amargas aquellas con un contenido de ácido cianhídrico superior a 100 mg/kg de pulpa o parénquima fresco (o sea 100 ppm) y como variedades dulces aquéllas con niveles inferiores(Buitrago,1990).

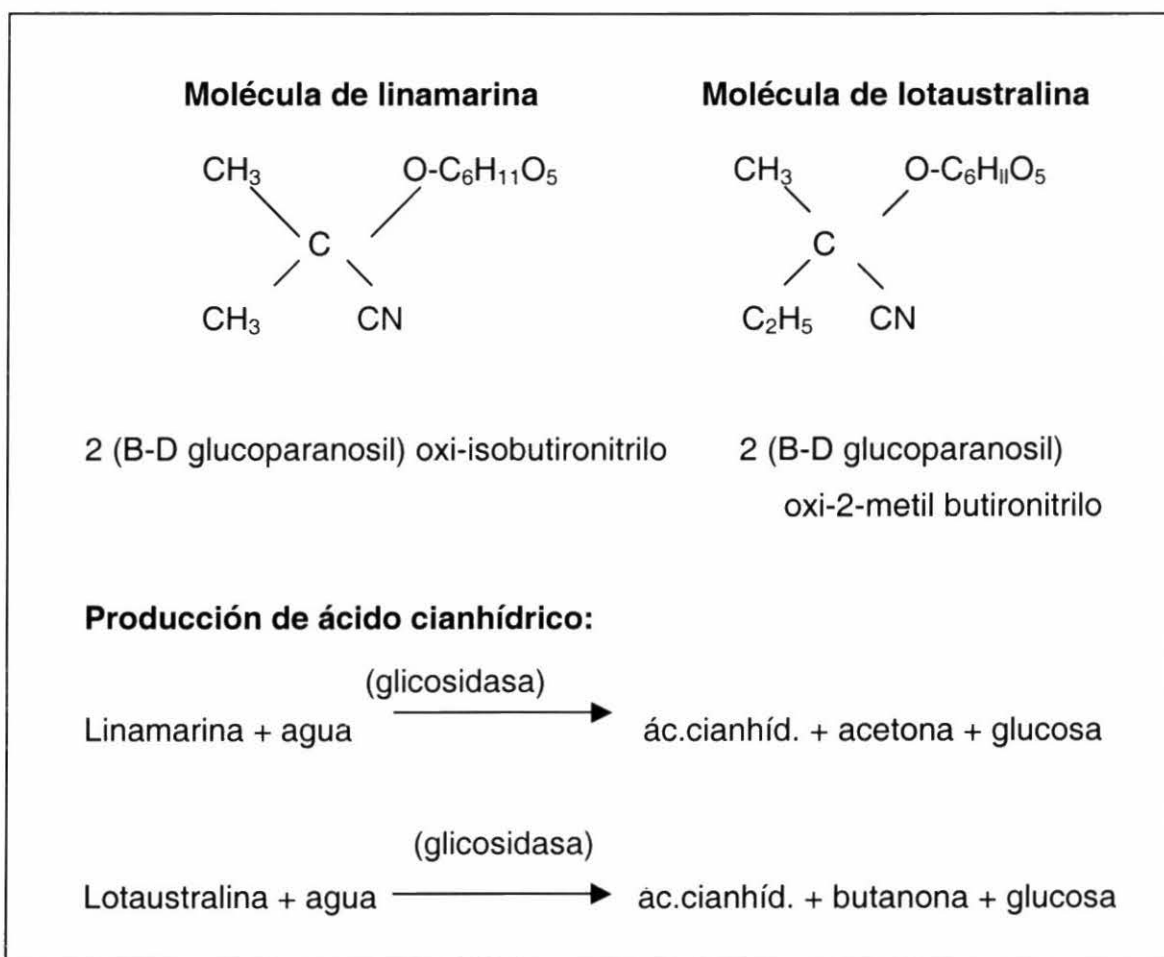


Figura 1. Moléculas de los glucósidos linamarina y lotaustralina, y liberación de ácido cianhídrico de los tejidos de la planta de yuca.

4.2.6. Efectos del ácido cianhídrico

El consumo prolongado de pequeños niveles de ácido cianhídrico por animales puede originar problemas nutricionales y fisiológicos serios, los cuales afectan su peso y rendimiento.

La mayoría de los síntomas de intoxicación se pueden asociar con la afinidad del ácido cianhídrico con iones metálicos como el del hierro y el del cobre. El radical $-CN$ reacciona con el ión hierro de la hemoglobina y forma cianohemoglobina, hecho que imposibilita el transporte de oxígeno en la sangre; así mismo, dicho radical forma complejos con algunas enzimas que tienen iones cobre (i. e., citocromo-oxidasa), afectando ciertas reacciones del metabolismo intermediario.

Estas anormalidades metabólicas ocasionan depresión en los centros medulares, originando dificultades respiratorias y efectos tóxicos protoplasmáticos que pueden producir la muerte en casos extremos de intoxicación. (Oke, citado por Buitrago, 1990).

4.2.7. Eliminación del ácido cianhídrico

Para eliminar total o parcialmente el contenido de ácido cianhídrico de la yuca se pueden utilizar varios métodos de procesamiento, entre los cuales

están la deshidratación artificial, la cocción en agua o la deshidratación por radiación solar.(Buitrago,1990)

4.3. Consideraciones Teóricas sobre secado

4.3.1. Definición

El secado de sólidos consiste en separar cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido del líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo (McCabe,1991).

El secado es un proceso en el que se intercambian calor y masa. Implica la transferencia de un líquido procedente de un sólido húmedo a una fase gaseosa no saturada (Brennan,1980).

El secado o deshidratación de alimentos determinan una reducción del peso y normalmente también, del volumen, por unidad de valor alimenticio, e incrementa la vida útil de los productos deshidratados en comparación con los correspondientes alimentos frescos (Brennan,1980).

El secado es entonces una de las técnicas más eficientes para la preservación de los alimentos, ya que en ausencia de agua los microorganismos que provocan su descomposición no pueden crecer y desarrollarse.

4.3.2. Métodos de secado artificial para yuca

El secado de las raíces se realiza mediante métodos naturales o artificiales, los cuales difieren no solo en las tecnologías empleadas sino también en sus costos. El secado natural aprovecha la energía solar, hecho que restringe su uso en las épocas del año en que no hay lluvias, mientras que el secado artificial utiliza otras fuentes de energía, tales como los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) y los residuos agrícolas (bagazo de caña, tocones de la yuca, cascarilla de arroz, etc.) En algunos casos se pueden combinar los dos sistemas para hacer más rentable la agroindustria.

La literatura reporta que el sistema quemador intercambiador operado con carbón es el que presenta los menores costos de operación con respecto a otros combustibles. El secado se realiza aproximadamente en 10 a 12 horas con aire a 60°C a razón de 100 m³/min/t, y una densidad de carga de 200 Kg de yuca fresca/m² y un consumo de carbón de 450Kg/t de producto (www.mercanet.cnp.go.cr)

A continuación se describe brevemente cada uno de estos sistemas:

Existen diferentes tipos de equipos para deshidratar la yuca mediante el calor artificial, y la elección entre ellos depende de varios factores, especialmente del costo del combustible o fuente de calor y de la cantidad de material que se debe deshidratar.

Entre los principales equipos se puede mencionar el secador de capa fija, la cámara secadora con bandejas estáticas, los secadores rotatorios y el secador de transportador.

a. Secador de capa fija. En este sistema se hace circular aire caliente a través de una capa o lecho fijo de trozos de yuca; el aire suministra la energía necesaria para evaporar la humedad del material. Este equipo de secado es una cámara rectangular de ladrillo, con láminas de acero galvanizado perforadas en el 3% de su área con agujeros de 3 mm conformando un piso falso sobre el cual se cargan trozos de yuca a razón de 50 a 200 kg/m².

El aire utilizado puede ser calentado por resistencias eléctricas, vapor o quemadores con intercambiadores de calor que utilizan madera, carbón mineral, gas propano, diesel o cualquier otro combustible. Un ventilador debe impulsar el aire a una presión suficiente para vencer las resistencias que presentan el equipo de calentamiento, las láminas perforadas y los trozos de yuca (Alonso, 1987).

b. Secador de bandejas. Este sistema consta de una cámara con un número variable de compartimentos, donde se colocan bandejas con capas delgadas de trozos de yuca; posteriormente la cámara se cierra y se suministra una corriente de aire caliente, el cual se mueve a través de las bandejas, removiendo la humedad del material. (Alonso, 1987).

c. Secador rotatorio. Consiste básicamente en un cilindro metálico donde se deposita el material; el cilindro gira en posición horizontal o inclinada mientras que por su interior pasa una corriente de aire caliente que se obtiene utilizando el mismo tipo de combustibles del secador de capa fija. La superficie interior generalmente está provista de aletas o paletas que facilitan el movimiento del producto para que reciba la corriente de aire caliente a medida que el tambor está girando.

d. Secador continuo con banda transportadora. Este es un equipo de tipo continuo que consta de un túnel de longitud variable, a través del cual pasa una banda transportadora provista de compartimentos sobre los cuales reposa el material que se debe deshidratar. El aire caliente fluye perpendicularmente a través del producto colocado sobre el transportador.

5. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPO

5.1 MATERIALES

Raíces de Yuca frescas de diferentes variedades, procedentes de ensayos realizados por el área de mejoramiento de yuca del CIAT, y de ensayos del área de sistemas de producción de yuca de CLAYUCA; en lugares como: Jamundí, Santander de Quilichao, CEUNP, CENICAÑA y CIAT

5.2 INSTRUMENTOS Y EQUIPO

- Termómetros de carátula, marca “MENGTE”, con Rango de temperaturas entre 0 y 300°C.
- Termómetro digital marca “Omega” HH82. con rango de temperaturas entre -20 y 750 °C.
- Termómetros de vidrio marca “ERTCO” serie ITS-990 con rango de temperatura entre -38 y 120 °C. Precisión (0.1°C) Calibrados contra estándares certificados por “the National Bureau of Standards”
- Sicrómetro de voleo marca “Taylor” con rango de temperaturas entre -5 y 50°C.
- Horno de circulación forzada PRECISION marca “THELCO” modelo 130DM, sensibilidad: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. Rango de temperaturas: 40 - 250 °C
- Liofilizador marca “LABCONCO” con un rango de presión: Mbar. Temperatura de operación: -34°C hasta +40°C.

- Anemómetro digital “AIRFLOW” LCA 6000RVT, con las siguientes especificaciones:
 Rango de velocidad: 50-6000 pie/min. (0.25-30 m/s)
 Rango de temperatura: -10 y 50°C (14 - 122°F)
 Presión barométrica: 0.5 – 2 bar (15” – 60” Hg.)
 Tiempo máximo de medición: 12 min.
 Precisión: 0.01% de lectura $\pm$ 1 dígito
- Termo Anemómetro digital marca “ALNOR Compuflow” modelo 8565 con las siguientes especificaciones:
 Rango de velocidad: 20 – 3000 pie/min. (0.5 – 15 m/s)
 Rango de temperatura: 32 - 58°F (0 – 70°C)
 Velocidad de flujo: 20 - 100 pie/min. $\pm$ 5 pie/min. ($\pm$ 0.03 m/s)
 100 - 600 pie/min. $\pm$ 2 pie/min. ($\pm$ 0.01 m/s)
 600 – 3000 pie/min. $\pm$ 20 pie/min ($\pm$ 0.1 m/s)
 Temperatura: $\pm$ 0.8°F ($\pm$ 0.4°C)
- Balanza de precisión marca “METTLER TOLEDO” modelo PB 303-S con las siguientes especificaciones:
 Capacidad máxima: 310 g.
 Precisión: $\pm$ 0.002 g.
- Báscula marca TOLEDO modelo 2181 con una capacidad de 375 Kg
- Baño termostático marca BROOKFIELD TC200

5.3 PLANTA PILOTO DE SECADO

La Planta Piloto para producción de harina integral de yuca; fue diseñada y construida por “Industrias Protón Ltda.” con una capacidad nominal de procesamiento de 250 kilogramos de yuca fresca por hora. En la figura 2 se ilustra la planta con sus partes fundamentales

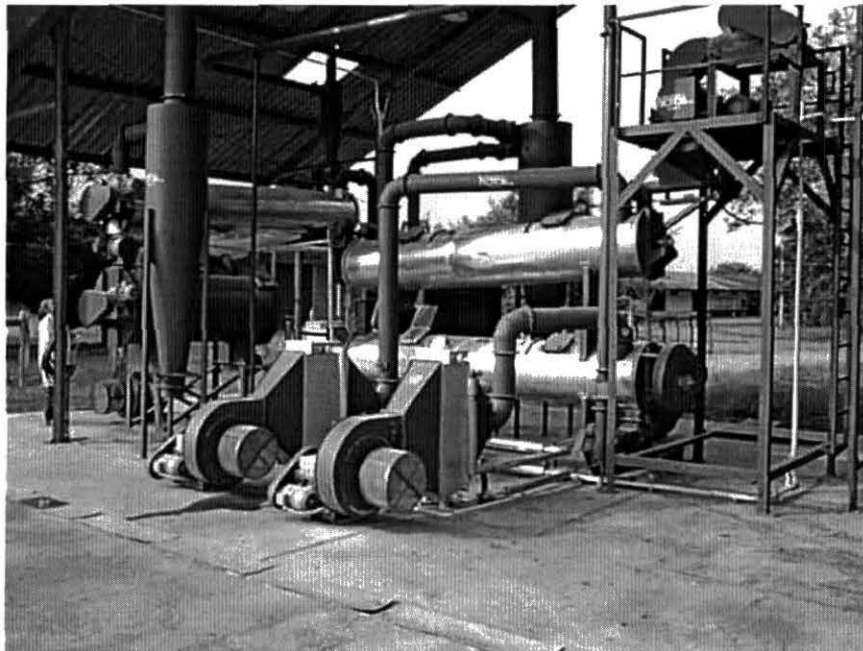


Figura 2. Vista de la planta piloto

5.3.1 Proceso de producción de la harina integral de yuca

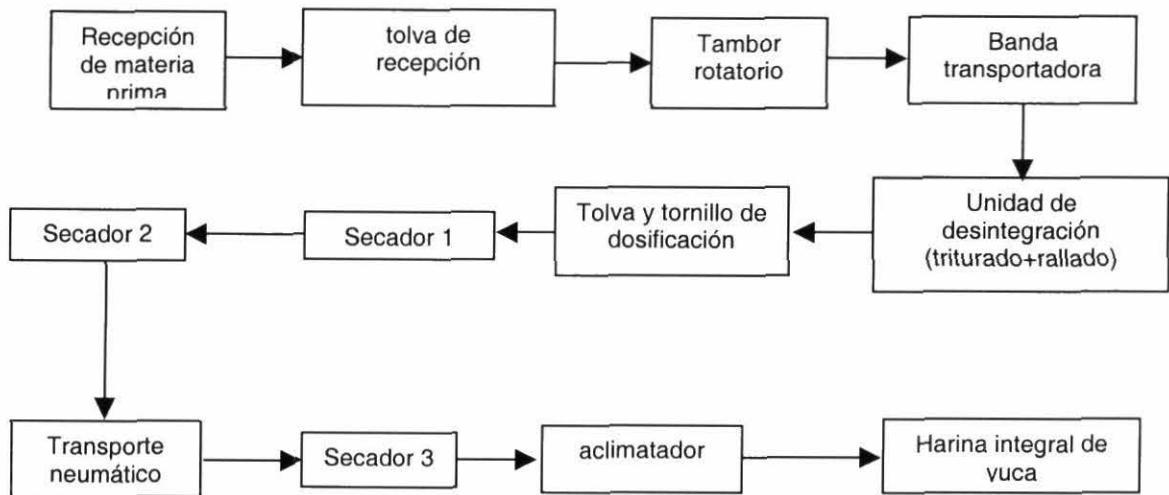


Figura 3. Diagrama de flujo de proceso de la planta piloto

5.3.2 Descripción del proceso

Recepción

Se reciben las raíces de yuca con contenidos de humedades entre 55-70%, y en sacos de 25 Kg., se descargan en la tolva de recepción, la cual tiene un ángulo de inclinación de 11° con respecto a la horizontal, lo que permite que las raíces se deslicen fácilmente. (figura 4)

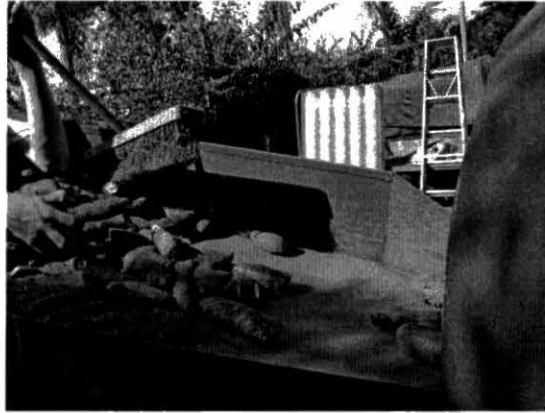


Figura 4. Tolva de recepción de materia prima.

Limpieza

La limpieza se realiza en el tambor rotativo el cual tiene un pequeño ángulo de inclinación de 5° con la horizontal y gira a 11 r.p.m. aproximadamente. Las raíces rotan, en conjunto con el tambor, liberando los residuos de suelo adheridos a su superficie (figura 5). Estos residuos, se descargan por la zona inferior del tambor y las raíces son recibidas en una banda transportadora (figura 6) que las eleva a la unidad de desintegración.



Figura 5. tambor rotatorio de Limpieza



Figura 6. Banda transportadora

Reducción de tamaño de las raíces

Esta fase del proceso consta de dos etapas continuas. La primera es la trituración de las raíces por medio de un molino de martillos (figura 7), el cual, gira a una velocidad de 1200 r.p.m. y es impulsado por un motor de 4.8 HP, transformando las raíces en pequeños trozos de aproximadamente 1 cm. de diámetro. La segunda etapa se lleva a cabo en el desintegrador ó rallador (figura 8) que gira a 3600 r.p.m. y utiliza un motor de 24 HP. Este se encarga de destruir toda la pared celular del parénquima, corteza y pulpa, generando una masa homogénea. Esta masa rallada cae a una tolva localizada en la parte inferior de esta unidad que tiene en su fondo un tornillo sin fin (figura 9) que dosifica la cantidad de producto que debe alimentarse al secador 1



Figura 7. Triturador



Figura 8. Rallador

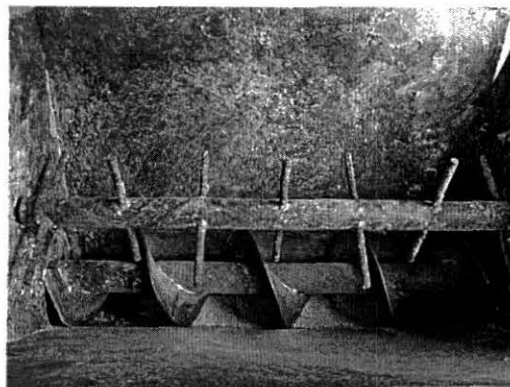


Figura 9. tornillo Alimentador

Secado

Primera etapa

Esta operación es realizada en un cilindro que tiene 0.60 m de diámetro y 3.5 m de longitud, en cuyo interior se encuentra un eje con aletas dispuestas alternadamente para levantar y dejar caer los sólidos a través de la corriente de aire de tal forma que el producto avance y sea removido a lo largo del cilindro, permitiendo así un secamiento más uniforme (figura 10).

El aire secante fluye paralelamente y en la misma dirección con el producto dentro del cilindro. El aire es calentado a 110°C al pasar por un intercambiador de calor, alimentado con vapor. El ácido cianhídrico libre se elimina en las corrientes de aire.



Figura 10. Aletas de secadores

Segunda etapa

El equipo utilizado en esta fase y el principio de operación es igual al descrito en el proceso anterior, la diferencia es que se aplica aire a una temperatura de 100°C en contracorriente. La operación se realiza en el secador 2 (figura 11), y en ella se continúa con la eliminación de agua.

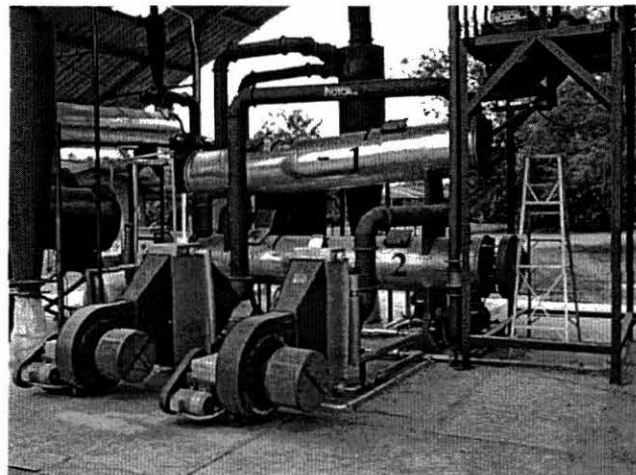


Figura 11. Vista de secadores 1 y 2

Tercera etapa

Se realiza en un transporte neumático que elimina agua del producto dispersándolo en una corriente de aire a 120 °C, y donde la velocidad del aire utilizada es lo suficientemente elevada para permitir la dispersión y el transporte de la harina hacia el tercer y ultimo secador cilíndrico.

Cuarta etapa

Posteriormente este producto en forma de harina termina de deshidratarse en el secador 3 con dirección del flujo de aire concurrentemente con el flujo del producto, el aire se calienta 115 °C, hasta y el producto alcanza un contenido de humedad entre 15 y 17% y un nivel permisible de cianuro libre (< 100 ppm).

La aclimatación del producto final se realiza en un cilindro aclimatador en el cual el producto se agita y se pone en contacto con aire a temperatura ambiente. en esta ultima etapa se elimina el agua residual y se obtiene un producto con una humedad final de 12 - 13%.

5.4. METODOLOGÍA

La evaluación técnica se realizó en 3 etapas:

- Evaluación de la planta original
- Evaluación de la planta original sin lecho fluidizado y recirculación del producto.
- Evaluación de la planta modificada.

A continuación se describe la metodología seguido en cada etapa

5.4.1 EVALUACIÓN DE LA PLANTA ORIGINAL

La evaluación de la planta original, figura 12, se realizó durante 5 semanas, periodo durante el cual se realizaron 15 ensayos con el fin de ajustar los equipos y optimizar las condiciones de operación de la planta.

El diseño original estaba conformado básicamente por los equipos mostrados en la figura 12, en esta fase se logró determinar algunas de las variables de operación de los equipos, tales como : Temperatura de aire de secado, velocidad de rotación de los ejes en los cilindros , caudal de aire de secado, y capacidad de procesamiento.

- 10 TRANSPORTADOR NEUMATICO
11 CICLON DE AIRE TRANSPORTE NEUMATICO
12 SECADOR LECHO FLUIDIZADO
13 VENTILADORES
14 INTERCAMBIADORES DE CALOR
15 FILTRO DE ENTRADA
16 CICLON DE AIRE SECADO
17 PLATAFORMA DE CONTROL

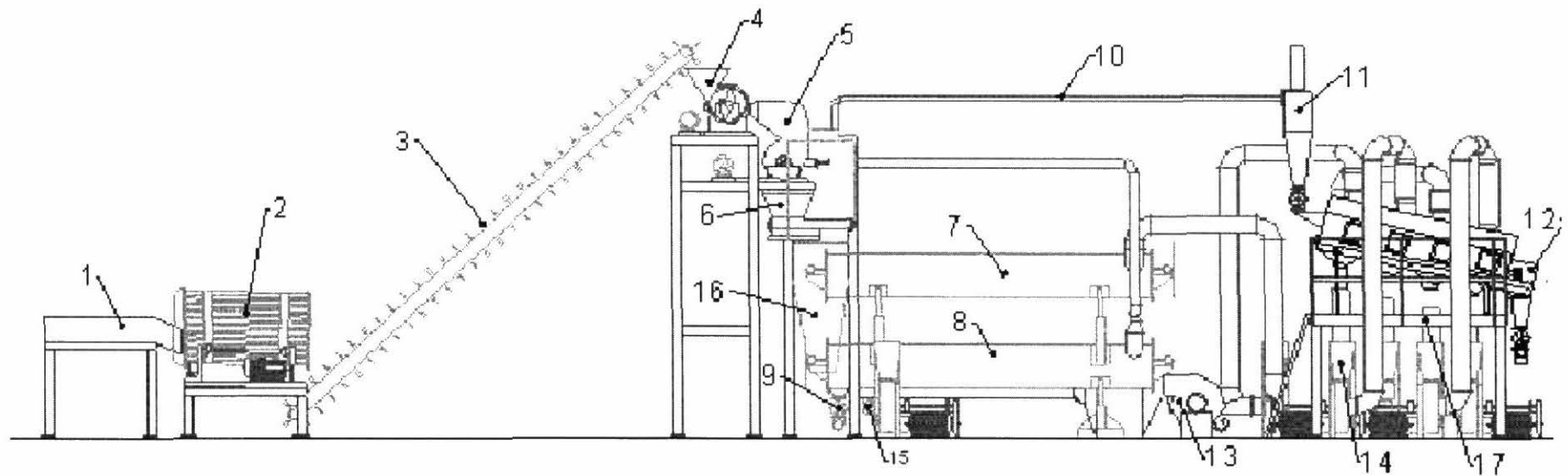


Figura 12. Diagrama de la planta piloto diseño original



Figura 13. Ubicación del secador de lecho fluidizado en la planta



Figura 14. Detalle del secador de lecho fluidizado

5.4.2 EVALUACIÓN DE LA PLANTA ORIGINAL CON RECIRCULACIÓN DE PRODUCTO.

Con base en los resultados obtenidos durante la evaluación de la planta piloto original, se decidió prescindir del lecho fluidizado y realizar algunos ensayos con recirculación, haciendo pasar dos veces el producto o la harina húmeda por el secador 1, el secador 2 y el transporte neumático hasta conseguir una humedad final deseada.

Para tal fin se realizaron algunas modificaciones. Se conectó un tornillo sin fin directamente al tornillo alimentador por debajo de la plataforma de desintegración y se separó el ciclón pequeño, que se encuentra al final del transporte neumático, del lecho fluidizado para recibir el producto y recircularlo por el secador 1 y el secador 2

5.4.3 EVALUACIÓN DE LA PLANTA MODIFICADA

Al analizar los resultados de las dos primeras fases, los constructores introdujeron algunos cambios en los equipos de la planta que sustituyeron el secador de lecho fluidizado y actualmente hacen parte del diseño final de la planta piloto. Estos cambios consistieron en utilizar otro secador cilíndrico con paletas agitadoras (secador 3), y flujo de aire en paralelo, el cual tendrá la función de reducir la humedad del producto a un 12% y lo depositará en forma continua en otro cilindro encargado de bajar la temperatura del producto hasta la temperatura ambiente, este último cilindro llamado aclimatador; también tiene un eje central con paletas agitadoras que arrastran el producto hasta una válvula esclusa donde finalmente se empaca el producto. Los flujos de aire a la salida del secador y aclimatador son depositados en un ciclón que se encarga de separar las partículas finas de harina del aire y depositarlas nuevamente en el aclimatador.

En esta evaluación final se realizó la toma de datos y posterior determinación de las siguientes variables:

Contenido de humedad, Caudal del aire, Temperatura del aire, contenido de cianuros y capacidad de procesamiento.

5.4.4 OBTENCIÓN DE DATOS

- Para la determinación del contenido de humedad se utilizó durante 12 h un horno de circulación forzada marca “THELCO Modelo 130 DM” a una temperatura de 70°C. (Valencia y Prieto 1988). Se tomaron muestras simultaneas de producto cada 30 minutos en los siguientes puntos de muestreo:

Tolva de recepción

Tornillo alimentador

Salida secador 1

Salida secador 2

Salida transporte neumático

Salida secador 3

Salida Aclimatador

Al cabo de las 12 horas las muestras se depositaron en un desecador durante 30 minutos, se pesaron nuevamente y se calculó su contenido de humedad. Los resultados obtenidos se corrigieron con la ecuación obtenida en la calibración del horno.(Ver anexo1)

- Para la medición del caudal del aire se utilizó un anemómetro marca “AIRFLOW DEVELOPMENTS”, modelo LCA 600RVT, previamente calibrado con un TermoAnemómetro digital “ALNOR Compuflow” en un túnel de circulación forzada localizado en el laboratorio de

Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas de la Universidad del Valle (Ver Anexo 2). Se procedió a medir el caudal dividiendo el área de succión de los ventiladores en cuatro secciones. Se tomaron 2 mediciones por sección durante 15 segundos y se determinó el promedio para obtener su valor absoluto.

- Para la determinación de la temperatura del aire, los termómetros utilizados fueron previamente calibrados con termómetros de mercurio de precisión y un baño termostático en un rango de temperaturas entre 25-98 °C en el laboratorio de Propiedades Físicas de Alimentos del Departamento de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle (ver calibración anexo 3)

La temperatura del aire ambiente (bulbo húmedo y bulbo seco) a la entrada de los ventiladores se determinó utilizando un sicrómetro de voleo cada hora.

La temperatura del aire a la salida de los intercambiadores se midió con un termómetro de vidrio y un termómetro digital. Estos termómetros se introducían en orificios ubicados en los ductos a la salida de los intercambiadores y se mantenían durante 2 min. hasta que alcanzaba un valor estable.

La temperatura del aire de secado a la entrada y salida de los equipos se midió cada hora con termómetros de carátula.

- Para la determinación del contenido de cianuros se realizó un muestreo del producto inicial (raíces de yuca fresca) y al final de cada una de las fases del proceso (desintegrado y secado). Se determinó el contenido de ácido cianhídrico (HCN) total y libre con el fin de determinar la capacidad del equipo para eliminar HCN. Las muestras se llevaron al laboratorio del programa de Agroempresas Rurales en CIAT, donde se realizaron los análisis correspondientes. Para la determinación del ácido cianhídrico se empleó el método enzimático desarrollado por Cooke y O'Brien; para la reacción de Konig se utilizó Isonicotinato / 1,3 dimetil barbiturato (Ver anexo 4)
- El análisis proximal , se realizó en el Laboratorio de Servicios Analíticos de CIAT aplicando el método de Weende para la determinación de extracto etéreo, proteína cruda (Método de Kjeldahl), ceniza y fibra cruda (Lorin, 1970)

5.4.5 PROCESAMIENTO DE DATOS

Cálculo de la masa de agua removida

La masa de agua removida se calculó realizando el balance de agua en el secador donde:

$$m_w = m_p (X_1 - X_2)$$

m_w = Flujo másico de agua removida (kg agua / seg)

m_p = Flujo másico de sólidos secos del producto (kg s.seco/seg)

X_1 = Humedad del producto a la entrada del secador (base seca)

X_2 = Humedad del producto a la salida del secador (base seca)

Cálculo del calor suministrado al aire por el intercambiador

El calor suministrado al intercambiador se calcula como:

$$Q_1 = m_a C_{p_g} (T_{ae} - T_{amb})$$

m_a =Flujo másico de aire (kg a.seco/seg)

C_{p_g} = capacidad calorífica del aire en kJul/kg°C tomada: 1.005 kJul/Kg °C

T_{ae} = Temperatura del aire a la entrada del secador (°C)

T_{amb} = Temperatura del aire ambiente (°C)

Cálculo del calor cedido por el aire

El calor cedido por el aire durante el proceso de secado se calcula como:

$$Q_a = m_a C_{pg} (T_{ae} - T_{as})$$

$$Q_a = \text{Kjul /hr}$$

$$m_a = \text{Flujo másico de aire (kg a.seco/hr)}$$

$$C_{pg} = \text{capacidad calorífica del aire en kJul/kg}^\circ\text{C tomada: 1.005 kJul/kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{ae} = \text{Temperatura del aire de entrada al secador en } ^\circ\text{C}$$

$$T_{as} = \text{Temperatura de salida del secador en } ^\circ\text{C}$$

Cálculo del flujo másico del aire

El flujo másico de aire se calcula de la siguientes manera:

$$m_a = \frac{q}{v} \quad \text{y} \quad q = V * A$$

Donde

$$m_a = \text{Flujo másico de aire (kg a.seco/hr)}$$

$$v = \text{volumen específico del aire (m}^3\text{/Kg)}$$

$$q = \text{Caudal en m}^3\text{/s}$$

$$V = \text{velocidad del aire en m/ s}$$

$$A = \text{Área del orificio de entrada del aire al ventilador m}^2$$

Consumo específico de energía

El consumo específico de energía determina la cantidad de energía suministrada por masa de agua evaporada y se calcula como se presenta a continuación:

$$q_e = \frac{Q_1}{m_{evap}}$$

q_e = Consumo específico de energía (kJul/kg agua)

Q_1 = Calor suministrado al intercambiador (kJul/kg a.s)

m_{evap} = Masa de agua evaporada (kg agua/h)

Eficiencia térmica global

La eficiencia térmica global hace referencia a la cantidad de energía aprovechada durante el proceso de secado

$$\eta_t = \frac{Q_1}{Q_2} * 100$$

η_t = Eficiencia térmica global (%)

Q_2 = Calor cedido por el aire (kJul/h)

Q_1 = Calor suministrado al intercambiador (kJul/h)

Rendimiento energético promedio

Es la eficacia con que se utiliza el combustible

$$\eta_e = \frac{H_a}{q_e}$$

n_e = Rendimiento energético promedio (%)

H_a = Calor latente de vaporización producto (kjul/kg)

q_e = Consumo específico de energía promedio (kjul/kg de agua)

Cálculo del consumo de combustible

El consumo de combustible se calcula con base en el consumo de energía de cada secador para obtener 1 ton de yuca seca como:

$$Q = \frac{Q_1}{m_p} * 1000Kg.Y.S$$

Y luego se calcula el consumo de gas por ton de yuca seca en la Planta Piloto

$$G = \frac{Q}{C_{pc}}$$

G = Consumo de gas natural por ton de yuca seca (m^3)

Q = Calor necesario para secar una tonelada de yuca (kJul)

C_{pc} = Poder calorífico del gas natural (kJul/ m^3)

6. ANÁLISIS DE COSTOS

Para determinar la factibilidad económica de una planta productora de harina de yuca es necesario realizar un análisis financiero con la ayuda de un modelo computacional, en el cual puede analizarse la rentabilidad del proyecto, así como su sensibilidad a cambios en algunas variables, como precios y coeficientes técnicos de producción.

El uso de una hoja de cálculo como Excel, permite una rápida actualización del modelo y el cálculo inmediato de parámetros de rentabilidad, además, permite determinar la sensibilidad de la rentabilidad a la variación de cualquier costo o cantidad.

Parámetros de rentabilidad

Uno de los parámetros mas utilizados es la Tasa Interna de Retorno (TIR), que tiene dos variantes; la Tasa Económica de Retorno (TER) y la Tasa Financiera de Retorno (TFR).

La TIR se define como aquella tasa que actualiza el flujo de caja proyectado de tal manera que su valor presente sea igual a la inversión inicial.

La TFR determina la rentabilidad del proyecto. Su valor mínimo establece el costo de oportunidad del capital (en Colombia es de aproximadamente 12% anual). El costo de oportunidad del capital es el interés que deja de ganar un

inversionista al tener su dinero invertido en una planta procesadora de harina de yuca. Un empresario estaría motivado a invertir en una planta procesadora de harina solamente si pudiera obtener un TFR mayor al interés que pudiera obtener su capital en cualquier banco comercial. (Ostertag, 1992).

Componentes del modelo

Inversión

Se refiere a las construcciones civiles, diseño de equipos, transformadores, maquinaria y equipos, montaje de equipos, instalaciones, imprevistos y estudios necesarios para proceder a procesar la yuca. También se incluye el monto inicial del capital de trabajo.

Operación

Resume los principales aspectos técnicos de funcionamiento del proyecto, proporcionando todos los datos necesarios para los cálculos y proyecciones de costos variables. Incluye: capacidad de la planta, precio de compra de materia prima, factor de conversión yuca fresca a yuca procesada, costos de hora hombre, número de horas hombre por tonelada, costos de empaque, número de empaques, costo de energía eléctrica, consumo de electricidad por tonelada, costo de combustible, consumo de combustible por tonelada, etc.

Costos variables

Son aquellos costos del proceso que varían con el volumen de producción.

Por ejemplo: materia prima, mano de obra, empaques, energía, combustible, agua, transporte, comisiones.

Costos fijos

Son aquellos costos que no varían con el volumen de producción, como personal administrativo, mantenimiento de planta, viáticos y gastos generales.

Supuestos

Capacidad de producción: esta capacidad es entregada por el fabricante y supone una capacidad de 2 ton yuca seca/h

Precio de materia prima: \$80.000/ton de yuca fresca, que es el valor estimado de compra de yuca en la costa atlántica en Colombia

Precio de venta: se estima que el precio de venta por tonelada de yuca seca debe ser el 70% del precio de maíz importado.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Evaluación de la planta original

En esta primera fase se realizaron 15 pruebas (Ver tabla 1) con el fin de ajustar los equipos y optimizar las condiciones de operación de la planta.

El análisis de los resultados en esta primera fase fueron los siguientes:

- El flujo másico de alimentación de producto varió entre 150 y 200 kg/h, dependiendo de los valores de humedad final del mismo. Cuando se trabajó con capacidades de 200 kg/h (pruebas 1, 5, 6 y 7) se presentó obstrucción en las válvulas de salida de los secadores, debido al alto contenido de humedad del producto en estos puntos y al tipo de material manejado (masa de yuca).
- Cuando la temperatura a la entrada de los secadores 1 y 2 se encontraba por debajo del rango de 100 °C, la humedad del producto a la salida de estos varió entre 55% y 47% respectivamente; esto ocasionó atascamientos en las válvulas de salida , por lo que fue necesario detener todo el funcionamiento de la planta para solucionar el problema.

Tabla 1. Resumen de actividades realizadas para la evaluación de la Planta original.

PRUEBA	ACTIVIDADES	HUMEDAD INICIAL b.h. (%)	HUMEDAD FINAL b.h. (%)	CAPACIDAD (kg/h)	OBSERVACIONES
1	Pruebas individuales en los equipos	61.5		200	Pruebas de ajuste y funcionamiento de equipos Obstrucción en válvulas rotativas
2		59.2		150	Pruebas de ajuste y funcionamiento de equipos Evaluación de eliminación de CN con variedad CM340-30
3		58.3		150	Pruebas de ajuste y funcionamiento de equipos Evaluación de eliminación de CN con variedad MVEN-25
4		58.8	21.1	150	Variación de velocidades de rotación de los ejes de los equipos. Caídas frecuentes de la presión de vapor < 70 psi
5	Pruebas de ajuste	57.8	21.2	200	Variación de velocidades de rotación de los ejes de los equipos. Obstrucción en válvulas rotativas Caídas frecuentes de la presión de vapor < 70 psi
6		55.7	18.3	200	Variación de velocidades de rotación de los ejes de los equipos. Obstrucción en válvulas rotativas Caídas frecuentes de la presión de vapor < 70 psi
7		58.9	21.4	200	Obstrucción en válvulas rotativas
8		60.3	15.3	150	Caídas frecuentes de la presión de vapor < 70 psi
9		58.7	27.0	150	Caídas frecuentes de la presión de vapor < 70 psi
10		58.7	18.4	150	Caídas frecuentes de la presión de vapor < 70 psi
11		60.1	16.8	150	Caídas frecuentes de la presión de vapor < 70 psi
12		56.1	8.4	150	Caídas frecuentes de la presión de vapor < 70 psi
13		67.9	25.9	100	Se inicia reparación primer tramo de tubería de vapor Obstrucción en válvulas rotativas
14		59.6	24.0	190	Obstrucción en válvulas rotativas
15		58.8	21.1	125	Se descarta definitivamente el lecho fluidizado. Producto total procesado 330 kg

- La pérdida de presión de vapor a la entrada del sistema por debajo de 70 psi, causó una disminución de la temperatura del aire de secado en todos los equipos. Esta baja temperatura no permitió un secado eficiente y el contenido de humedad final del producto en la mayoría de las pruebas. fue alto, entre 20 y 25% b. h.
- El problema del atascamiento de las válvulas de salida del producto y las continuas interrupciones del proceso dificultó el seguimiento y la obtención de datos necesarios para la evaluación de la planta piloto en esta primera fase, sin embargo, y a pesar de las dificultades presentadas, fue posible determinar algunos parámetros de importancia para el funcionamiento de la planta tales como la velocidad de rotación de ejes de los secadores y la presión de vapor necesaria para mantener la temperatura de secado deseada (ver Tabla 2).

Tabla 2. *Parámetros de operación de los equipos*

Parámetros de operación	Unidad	Rango
Presión de vapor	psi	70-75
Capacidad procesamiento	kg/h	150-200
Velocidad alimentación	(rpm)	2.9 – 4.2
Velocidad de rotación Secador 1	(rpm)	7.7 – 9.2
Velocidad de rotación Secador 2	(rpm)	10.4
Temperatura, entrada Secador 1	(°C)	105-110
Temperatura, entrada Secador 2	(°C)	95-100

- El rallado fue la parte más crítica e ineficiente del proceso, debido a los continuos atascamientos presentados en este punto ya que la masa de yuca se gelatinizaba en la parte externa de la criba debido el paso de aire caliente ($T = 100 - 110^{\circ}\text{C}$) proveniente del secador 1 y el cual tenía contacto directo con el producto provocando el problema. (ver figura 15)

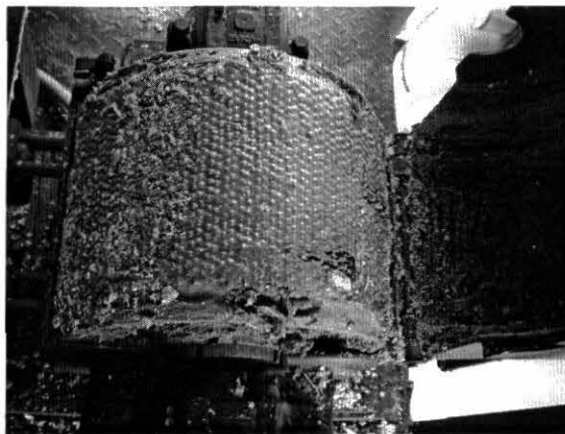


Figura 15. Vista rallador con masa de yuca gelatinizada debido a la alta temperatura

- El secador de lecho fluidizado con el cual se pretendía bajar la humedad de la harina de 35% a 12%, no funcionó adecuadamente, el producto obtenido presentó humedades por encima del 20% b.h. en la mayoría de las pruebas, además, en lugar de secar el producto proveniente del transporte neumático, lo dispersaba hacia las paredes sin que hubiera extracción de humedad.
- El secador de lecho fluidizado tenía un sistema de recirculación de aire caliente que permitía utilizar el aire de secado desde el extremo final del

lecho hasta el punto de entrada de la harina al equipo, pero sin estar dotado de un sistema de separación neumática para recuperar las pequeñas partículas que eran arrastradas por el aire de secado; esto ocasionó la acumulación de material fino en los intercambiadores de calor.

- Al final de estas pruebas se concluyó que la capacidad de la planta piloto no debería ser mayor de 150 kg/h, y que el secador de lecho fluidizado tendría que ser reemplazado por un secador similar a los utilizados en la fase inicial para poder alcanzar el objetivo principal de la planta.
- El resto de las pruebas realizadas en esta etapa sirvieron para efectuar algunos ajustes de tipo técnico y de funcionamiento de los equipos y también para determinar algunas condiciones de operación de los mismos.

Eficacia del sistema para eliminar cianuro.

Con el fin de verificar la eficacia del proceso para reducir el cianuro inicial de las raíces, se utilizaron las variedades MVEN-25 y CM-340-30 las cuales presentan altos contenidos de ácido cianhídrico. Se realizó un seguimiento al contenido de cianuro del producto, desde la operación de desintegración, pasando por la deshidratación hasta el producto final. Las Tablas 3 y 4 y las figuras 16 y 17 muestran el descenso del contenido de cianuro total y cianuro libre a través de las etapas del proceso.

Tabla 3. Determinación de Cianuro total y Cianuro libre con variedad CM-340.

Muestra	Cianuro total (ppm)	Cianuro libre (ppm)
Yuca fresca	482	64
Masa rallada	392	320
Secador 1	130	112
Secador 2	76	66
Harina final	62	57

Tabla 4. Determinación de Cianuro total y Cianuro libre con variedad MVEN-25.

Muestra	Cianuro total (ppm)	Cianuro libre (ppm)
Yuca fresca	810	214
Masa rallada	756	699
Secador 1	218	68
Secador 2	69	59
Harina final	60	48

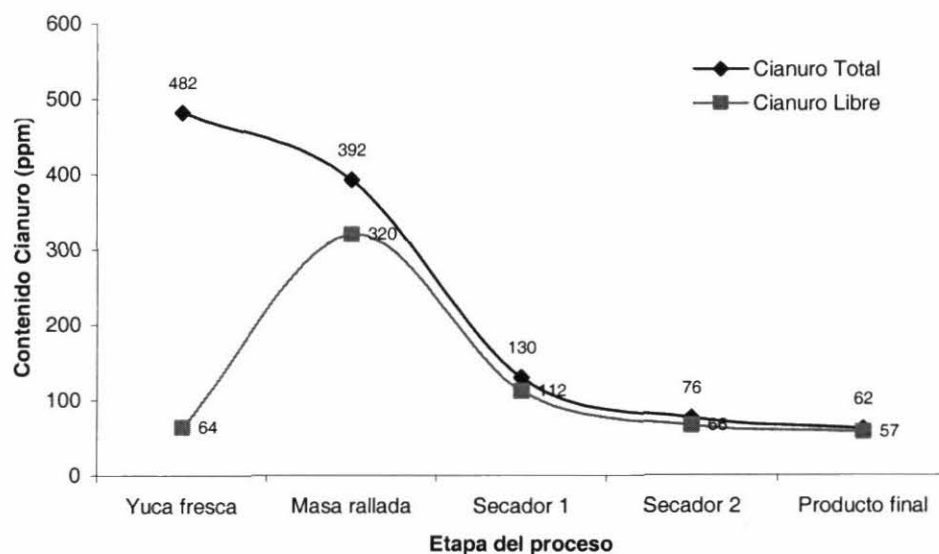


Figura 16. Variación del contenido de Cianuro por etapa del proceso para la variedad CM 340-30

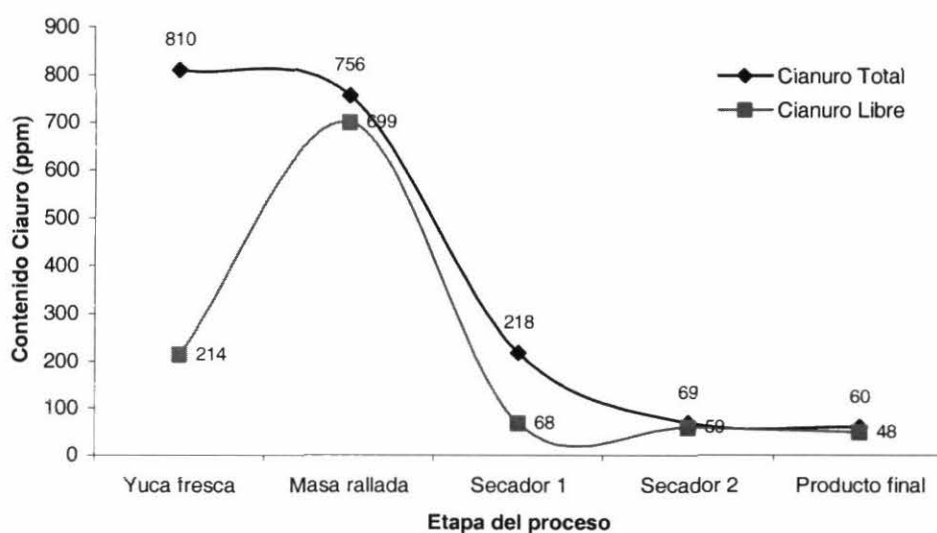


Figura 17. Variación del contenido de Cianuro por etapa del proceso para la variedad MVEN-25

- En la prueba 2 se procesó la variedad CM340-30 con contenidos iniciales de 482 ppm y 64 ppm de cianuro total y libre respectivamente en las raíces frescas. En la etapa de rallado, el cianuro total bajó a 392 ppm y el cianuro libre, que forma parte del cianuro total, alcanzó valores de 320 ppm (Figura 16). Esto significa que la trituración y la desintegración destruyen eficazmente las paredes celulares propiciando las condiciones necesarias para que la Linamarasa entre en contacto con los glucósidos cianogénicos para desdoblarlos y producir el ácido cianhídrico, compuesto volátil que al final abandona la masa de yuca. Este proceso de eliminación continúa en el secador 1 donde el contenido de cianuro total y cianuro libre alcanzó valores de 130 ppm y 142 ppm respectivamente, lo cual presume que el secado con temperaturas mayores a 40°C ayuda al proceso de eliminación de ácido cianhídrico. En las etapas siguientes de secado el proceso de eliminación continuó con menor incidencia, llegando sin embargo a valores inferiores a 70 ppm. de cianuro total, este valor representa una reducción del 85.5% del contenido de cianuro inicial.
- En la prueba 3 en la que se empleó la variedad MVEN-25 se presentó un fenómeno similar al de la variedad CM340-30. Los valores iniciales de cianuro total y el cianuro libre fueron de 810 y 214 ppm. respectivamente. En la etapa de rallado el cianuro libre alcanzó 699 ppm. casi el total del cianuro contenido en la yuca. De manera similar, en el secador 1 ocurre la mayor eliminación del compuesto. Al terminar

el proceso los contenidos finales de ácido cianhídrico que se presentaron estuvieron por debajo de 60 ppm. Una reducción del 92.6% del contenido de cianuro inicial, ver figura 17 y Tabla 4.

Resultados del análisis proximal

De acuerdo con los resultados del análisis proximal obtenidos en laboratorio para la harina de yuca, ver Tabla 5 y 6, y comparando estos valores con las especificaciones de calidad exigidas por las empresas productoras de alimentos balanceados para la compra de yuca seca (Ver anexo E), podríamos decir que la harina de yuca producida en la planta cumple con los estándares de calidad. También se puede ver que la harina presenta contenidos altos de ceniza y fibra cruda. El primero se debe en gran parte al residuo de suelo adherido a las raíces y que no es retirado eficientemente en el tambor de limpieza y el segundo a que las raíces no son peladas, proceso en el cual se retira el parénquima que es la estructura que mayor cantidad de fibra contiene.

Tabla 5. Resultado del análisis proximal de harina de yuca obtenida en la planta piloto.

Variedad	Proteína Cruda (%)	Fibra Cruda (%)	Cenizas (%)	Extracto Etéreo (%)
CM 340-30	2,67	3,96	3,31	0,92
CM 340-30	2,72	4,01	3,26	0,90
CM 340-30	2,54	3,82	3,39	0,50
MVEN 25	2,68	3,76	3,41	0,68
MVEN 25	2,50	4,28	3,31	0,72
MVEN 25	2,74	3,8	3,47	0,80

Fuente: Resultado de análisis laboratorio de Mejoramiento de yuca CIAT

7.2 Evaluación de la planta modificada con recirculación de producto

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación de la planta original, se decidió prescindir del secador de lecho fluidizado y realizar algunas pruebas con recirculación del producto por los secadores cilíndricos y el transporte neumático hasta conseguir la humedad final deseada. En el diagrama de la figura 18 se ilustra la modificación.

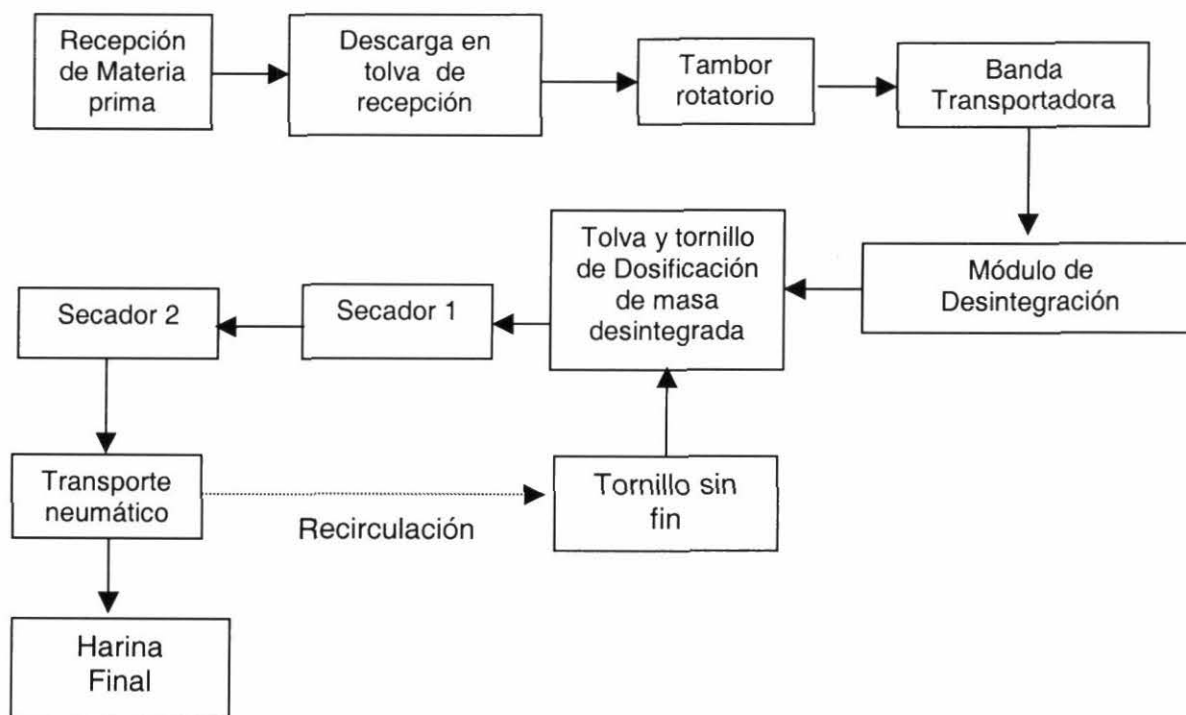


Figura 18. Diagrama de flujo de la Planta Piloto con recirculación

Para tal fin se conectó un tornillo sin fin directamente al tornillo alimentador por debajo de la plataforma de la unidad de desintegrado y se separó el ciclón 2 del secador de lecho fluidizado para recibir el producto a la salida del transporte neumático, y repasarlo por los secadores 1 y 2. En la tabla 6 se presenta un resumen de las actividades realizadas en las pruebas de recirculación de producto, pruebas 16 a 19. Debido a los problemas presentados en las pruebas 16 y 17, el análisis del funcionamiento de la planta se realizó con las pruebas 18 y 19.

Las tablas 7 y 8 muestran los valores de velocidad de rotación de ejes de cada uno de los equipos, la temperatura de aire a la entrada de los secadores y la humedad del producto a la salida de cada uno de los equipos, obtenidos en las pruebas 18 y 19 y corresponden al promedio de datos tomados cada 30 minutos durante la operación de la planta. En esta etapa se obtuvieron los siguientes resultados:

- En las pruebas 18 y 19 se probaron capacidades de 150 y 200 kg/h respectivamente con las condiciones de operación definidas en la fase uno, en las que obtuvieron harinas con humedades por debajo de 6% b.h. (ver tablas 7 y 8)

Tabla 6. Resumen de actividades de las Pruebas realizadas para la evaluación de la Planta original sin lecho fluidizado y con recirculación de producto.

PRUEBA	CAPACIDAD PROCESO(kg/h)	HUMEDAD INICIAL (%)	HUMEDAD FINAL (%)	OBSERVACIONES
16	150			Obstrucción en válvulas rotativas y Tornillo alimentador Variación de velocidades de alimentación del producto debido a la baja capacidad del tornillo alimentador
17	150			Variación de velocidades de alimentación del producto debido a la baja capacidad del tornillo alimentador Acumulación de partículas finas de harina en los ciclones de separación
18	150	59.5	5.4	Variación de velocidades de alimentación del producto debido a la baja capacidad del tornillo alimentador Acumulación de partículas finas de harina en los ciclones de separación
19	200	59.5	4.1	Variación de velocidades de alimentación del producto debido a la baja capacidad del tornillo alimentador Acumulación de partículas finas de harina en los ciclones de separación

Tabla 7. Condiciones de operación prueba 18

Equipo	Temperatura del aire a la entrada (°C)	Velocidad rotación ejes (rpm)	Humedad Producto a la salida b.h. (%)
Alimentador		2.9	59.5
Secador 1	110	7.7	52.1
Secador 2	99	10.4	38.6
Transporte Neumático	75		28.4
Secador 1 (Recirculación)	90	7.7	19.80
Secador 2 (Recirculación)	88	10.4	5.4
Transporte Neumático (Recirculación)	76		5.1

Tabla 8. Condiciones de operación prueba 19

Equipo	Temperatura del aire a la entrada (°C)	Velocidad rotación ejes (rpm)	Humedad Producto a la salida b.h. (%)
Alimentador		3.9	59.5
Secador 1	109	9.0	54.8
Secador 2	99	10.0	47.0
Transporte Neumático	51		42.6
Secador 1 (Recirculación)	108	9.0	35.3
Secador 2 (Recirculación)	99	10.0	10.7
Transporte Neumático (Recirculación)	77		4.1

- Con base en los resultados de las pruebas de recirculación se confirmó que era posible obtener un producto seco (<6% humedad b.h.) utilizando un secador cilíndrico adicional eliminando el lecho fluidizado. De acuerdo con lo anterior, PROTON LTDA, construyó dos secadores de cilindro adicionales en reemplazo del secador de lecho fluidizado y un ciclón para la separación de partículas (ver figura 19). El primer

cilindro para continuar el secado del producto proveniente del transporte neumático y el segundo para aclimatar el producto hasta la temperatura ambiente. El ciclón realizaría la separación de las partículas sólidas a la salida del aire del secador 3 y del aclimatador.

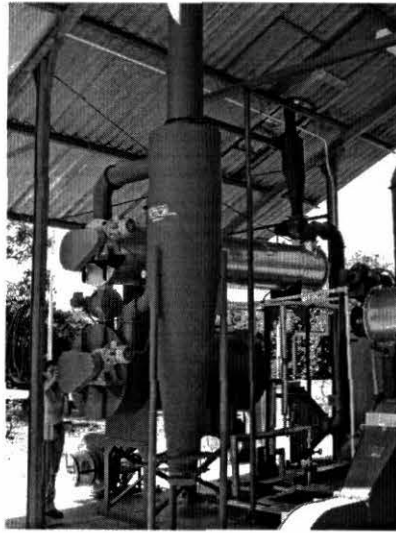


Figura 19. Vista secador 3, aclimatador y ciclón de separación

Las figuras 20 y 21 muestran la disminución del contenido de humedad del producto en cada uno de los equipos de secado para las pruebas 18 y 19, los valores presentan un contenido de humedad inicial de 59.48% b.h., hasta alcanzar valores de humedad final inferiores a 6% b.h. en ambas pruebas

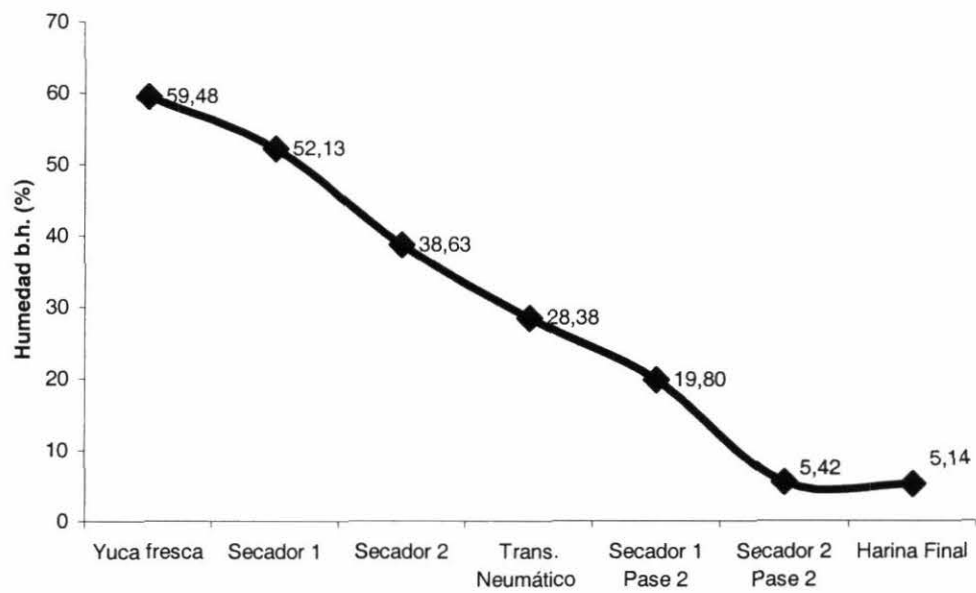


Figura 20. Variación del contenido de humedad del producto a través de las etapas del proceso Prueba 18

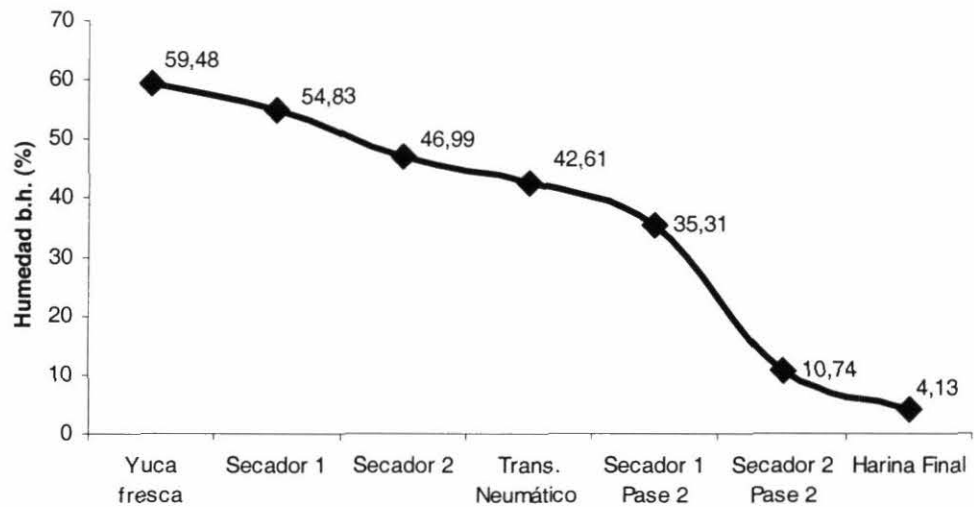


Figura 21. Variación del contenido de humedad del producto a través de las etapas del proceso Prueba 19.

7.3. Evaluación de la planta modificada.

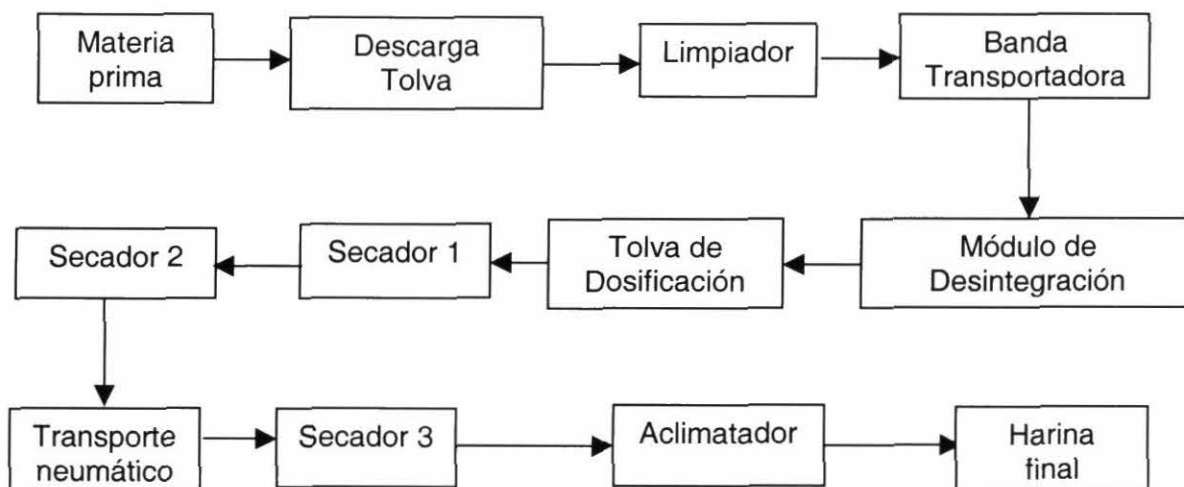


Figura 22. Diagrama de flujo de la planta piloto (Diseño modificado).

Para la evaluación de esta última etapa se realizaron un total de once pruebas que se trabajaron con capacidades de procesamiento de 150 kg/h. En esta etapa se determinó el caudal de aire de secado para cada uno de los secadores, se evaluó el funcionamiento del rallador y la acumulación de material en los ciclones.

Se seleccionaron ocho de las once pruebas (ver tabla 10) en las cuales la planta funcionó adecuadamente para calcular la cantidad de combustible necesario para la obtención de yuca seca y mediante la evaluación económica compararlo con otros sistemas de procesamiento.

Las observaciones obtenidas durante la evaluación fueron las siguientes:

- El desgaste de las cuchillas del rallador producía un porcentaje de material que no era rallado y que obstruía las perforaciones de la criba evitando el paso del resto de la masa rallada. Este material se calentaba debido a la fricción generada por el giro del rallador y se gelatinizaba obstruyendo el equipo.
- En vista de los continuos daños de las cuchillas y a la pérdida de agua en los separadores de madera durante largas horas de operación, Industrias Protón Ltda., decidió modificar totalmente el diseño del rallador, con un rotor 100% en acero (ver anexo I, figura 37) .Como la masa del rotor aumentó, fue necesario trabajar con un eje soporte de mayor diámetro, al igual que un motor eléctrico de mayor capacidad (12 HP). Esto conllevó a una modificación en la estructura de la caja del Rallador, y su base.
- Con frecuencia se presentaron atascamientos de material en el ducto que conecta el secador 1 con el secador 2, debido a que su diámetro se reducía al adherirse parte de material en sus paredes.
- En las válvulas, también se presentaron problemas debido a la acumulación de material húmedo en los pequeños compartimientos taponando la salida y el paso del producto hacia el siguiente secador.

- De acuerdo con los resultados de las pruebas de ajuste, se decidió modificar la posición del ciclón 2 y conectar su descarga al extremo inicial del aclimatador, en el mismo punto donde se descarga el producto que proviene del secador 3 con el fin de evitar la acumulación de materiales finos y devolverlos nuevamente al sistema. (ver figura 23)

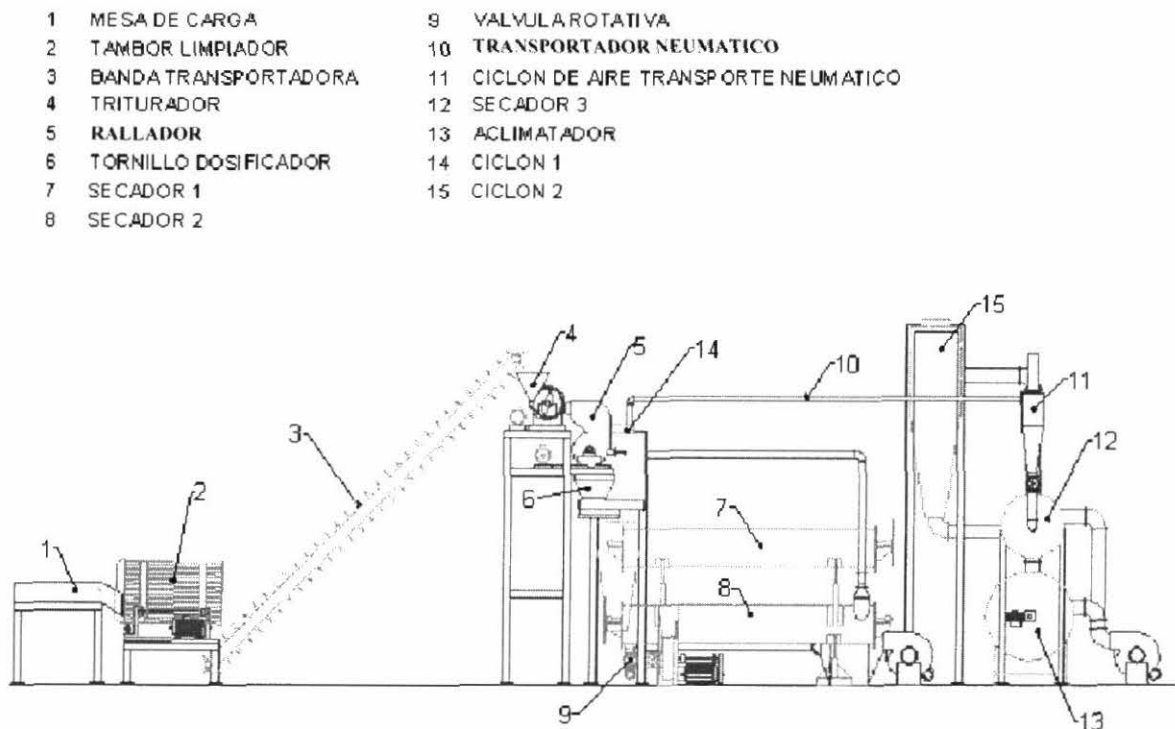


Figura 23. esquema de planta piloto diseño modificado

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos en esta fase y los resultados de cada una de las pruebas seleccionadas para la evaluación técnica:

Tabla 9. Resumen de resultados evaluación planta modificada

Prueba	Capacidad (kg/h)	Humedad Inicial b.h. (%)	Humedad Final b.h.(%)	Eficiencia Térmica Global (%)	Consumo Gas Natural x ton de Harina seca (m³)
23	150	66.9	13.6	44.5	294
24	150	63.2	14.5	40.9	269
25	150	70.3	20.7	40.9	317
26	100	68.1	10.7	41.8	297
27	150	65.6	31.7	41.5	232
30	<100	62.2	4.7	38.9	279
31	150	66.1	13.9	42.0	276
32	100	62.1	11.1	42.5	293

Tabla 10. Resultados Obtenidos Prueba 23

Equipo	Parámetros							
	V_{ae}	Q_a	m_a	Q_1	Q_2	q_e	n_t	n_e
Secador 1	1.125	41.19	2,809	234,565	121,659	7,891	51.9	33.4
Secador 2	1.070	29.23	1,993	129,408	74,138	11,012	57.3	23.9
Transporte								
Neumático	1.135	20.64	1,407	124,583	45,939	5,411	36.9	48.7
Secador 3	1.130	36.12	2,463	214,822	68,421	9,714	31.9	27.1

Cpg: Capacidad calorífica del aire (kJul/kg°C)	1.005
Ha: Calor latente de vaporización producto (kJul/kg)	2,635
Va: Volumen del aire ambiente (m ³ /kg)	0.88
Cpc: Poder calorífico del gas natural (kJul/m ³)	37,700
Vae: Volumen del aire a la entrada del secador (m ³ /kg)	
ma: Flujo másico del aire de secado (Kg/h)	8,672
Qa: Caudal del aire de secado total (m ³ /min)	
Q1: Calor total suministrado al aire (kJul/h)	703,377
Q2: Calor total cedido por el aire durante el secado (kJul/h)	310,157
qe: Consumo específico de energía promedio (kJul/kg de agua)	8,507
nt: eficiencia térmica global (%)	44.5
ne: Rendimiento energético promedio (%)	33.3
G: consumo total de gas natural por ton de yuca seca (m ³)	94

Tabla 11. Resultados Obtenidos Prueba 24

Equipo	Parámetros							
	V_{ae}	Q_a	m_a	Q_1	Q_2	q_e	n_t	n_e
Secador 1	1.115	41.23	2,844	244,637	111,274	10,229	45.5	25.8
Secador 2	1.060	28.71	1,980	131,139	66,474	10,917	50.7	24.1
Transporte								
Neumático	1.135	20.73	1,430	133,039	44,931	5,800	33.8	60.6
Secador 3	1.145	35.83	2,471	231,173	78,109	12,671	33.8	20.8

C_{pg} : Capacidad calorífica del aire (kJul/kg°C)	1.005
H_a : Calor latente de vaporización producto (kJul/kg)	2,635
V_a : Volumen del aire ambiente (m ³ /kg)	0.87
C_{pc} : Poder calorífico del gas natural (kJul/m ³)	37,700
V_{ae} : Volumen del aire a la entrada del secador (m ³ /kg)	
m_a : Flujo másico del aire de secado (kg/h)	8,724
Q_a : Caudal del aire de secado total (m ³ /min)	
Q_1 : Calor total suministrado al aire (kJul/h)	739,987
Q_2 : Calor total cedido por el aire durante el secado (kJul/h)	300,789
q_e : Consumo específico de energía promedio (kJul/kg de agua)	9,904
n_t : eficiencia térmica global (%)	40.9
n_e : Rendimiento energético promedio (%)	29.0
G : consumo total de gas natural por ton de yuca seca (m ³)	269

Tabla 12. Resultados Obtenidos Prueba 25

Equipo	Parámetros							
	V_{ae}	Q_a	m_a	Q_1	Q_2	q_e	n_t	n_e
Secador 1	1.110	41.21	2,842	236,205	118,871	6,857	50.3	38.4
Secador 2	1.070	29.23	2,016	139,608	72,161	8,607	51.7	30.6
Transporte								
Neumático	1.140	20.64	1,423	132,880	45,738	6,091	34.4	43.3
Secador 3	1.135	36.11	2,490	227,728	61,959	14,284	27.2	18.4

Cpg: Capacidad calorífica del aire (kJul/kg°C)	1.005
Ha: Calor latente de vaporización producto (kJul/kg)	2,635
Va: Volumen del aire ambiente (m ³ /kg)	0.87
Cpc: Poder calorífico del gas natural (kJul/m ³)	37,700
Vae: Volumen del aire a la entrada del secador (m ³ /kg)	
ma: Flujo másico del aire de secado (Kg/h)	8,771
Qa: Caudal del aire de secado total (m ³ /min)	
Q1: Calor total suministrado al aire (kJul/h)	736,422
Q2: Calor total cedido por el aire durante el secado (kJul/h)	298,728
qe: Consumo específico de energía promedio (kJul/kg de agua)	8,960
nt: eficiencia térmica global (%)	40.9
ne: Rendimiento energético promedio (%)	32.7
G: consumo total de gas natural por ton de yuca seca (m ³)	317

Tabla 13. Resultados Obtenidos Prueba 26

Equipo	Parámetros							
	V_{ae}	Q_a	m_a	Q_1	Q_2	q_e	η_t	η_e
Secador 1	1.110	40.75	2,810	229,626	110,023	6,609	47.9	36.9
Secador 2	1.080	29.27	2,019	143,453	76,658	23,034	53.4	11.4
Transporte Neumático	1.140	20.59	1,420	130,730	44,874	5,032	34.3	52.4
Secador 3	1.130	36.02	2,484	220,449	69,582	11,968	31.6	22.0

C_{pg} : Capacidad calorífica del aire (kJul/kg°C)	1.005
H_a : Calor latente de vaporización producto (kJul/kg)	2,635
V_a : Volumen del aire ambiente (m ³ /kg)	0.87
C_{pg} : Poder calorífico del gas natural (kJul/m ³)	37,700
V_{ae} : Volumen del aire a la entrada del secador (m ³ /kg)	
m_a : Flujo másico del aire de secado (Kg/h)	8,734
Q_a : Caudal del aire de secado total (m ³ /min)	
Q_1 : Calor total suministrado al aire (kJul/h)	724,257
Q_2 : Calor total cedido por el aire durante el secado (kJul/h)	301,136
q_e : Consumo específico de energía promedio (kJul/kg de agua)	11,661
η_t : eficiencia térmica global (%)	41.8
η_e : Rendimiento energético promedio (%)	31.4
G : consumo total de gas natural por ton de yuca seca (m ³)	297

Tabla 14. Resultados Obtenidos Prueba 27

Equipo	Parámetros							
	V_{ae}	Q_a	m_a	Q_1	Q_2	q_e	n_t	n_e
Secador 1	1.110	40.79	2,813	234,376	105,035	9,806	44.8	26.9
Secador 2	1.075	28.95	1,997	140,269	75,680	12,123	54.0	21.7
Transporte								
Neumático	1.140	20.55	1,417	131,009	44,991	7,847	34.3	33.6
Secador 3	1.130	35.97	2,481	221,147	72,559	14,869	32.8	17.7

C_{pg} : Capacidad calorífica del aire (kJul/kg°C)	1.005
H_a : Calor latente de vaporización producto (kJul/kg)	2,635
V_a : Volumen del aire ambiente (m ³ /kg)	0.87
C_{pc} : Poder calorífico del gas natural (kJul/m ³)	37,700
V_{ae} : Volumen del aire a la entrada del secador (m ³ /kg)	
m_a : Flujo másico del aire de secado (Kg/h)	8,708
Q_a : Caudal del aire de secado total (m ³ /min)	
Q_1 : Calor total suministrado al aire (kJul/h)	726,802
Q_2 : Calor total cedido por el aire durante el secado (kJul/h)	298,265
q_e : Consumo específico de energía promedio (kJul/kg de agua)	11,161
n_t : eficiencia térmica global (%)	41.5
n_e : Rendimiento energético promedio (%)	25.0
G : consumo total de gas natural por ton de yuca seca (m ³)	232

Tabla 15. Resultados Obtenidos Prueba 30

Equipo	Parámetros							
	V_{ae}	Q_a	m_a	Q_1	Q_2	q_e	n_t	n_e
Secador 1	1.120	40.85	2,817	218,840	89,064	8,613	40.7	30.6
Secador 2	1.070	29.12	2,009	140,492	71,887	8,461	51.2	31.1
Transporte								
Neumático	1.140	20.66	1,425	133,744	44,914	5,368	33.6	49.9
Secador 3	1.115	36.14	2,493	216,937	65,479	13,837	30.2	19.0

C_{pg} : Capacidad calorífica del aire (kJul/kg°C)	1.005
H_a : Calor latente de vaporización producto (kJul/kg)	2,635
V_a : Volumen del aire ambiente (m ³ /kg)	0.87
C_{pg} : Poder calorífico del gas natural (kJul/m ³)	37,700
V_{ae} : Volumen del aire a la entrada del secador (m ³ /kg)	
m_a : Flujo másico del aire de secado (Kg/h)	8,743
Q_a : Caudal del aire de secado total (m ³ /min)	
Q_1 : Calor total suministrado al aire (kJul/h)	710,013
Q_2 : Calor total cedido por el aire durante el secado (kJul/h)	271,345
q_e : Consumo específico de energía promedio (kJul/kg de agua)	9,070
n_t : eficiencia térmica global (%)	38.9
n_e : Rendimiento energético promedio (%)	32.5
G : consumo total de gas natural por ton de yuca seca (m ³)	279

Tabla 16. Resultados Obtenidos Prueba 31

Equipo	Parámetros							
	V_{ae}	Q_a	m_a	Q_1	Q_2	q_e	n_t	n_e
Secador 1	1.105	40.45	2,774	225,535	103,534	7,226	45.9	36.5
Secador 2	1.080	29.28	2,008	147,097	79,941	10,226	54.3	25.8
Transporte								
Neumático	1.135	20.71	1,420	131,312	45,004	6,676	34.3	39.5
Secador 3	1.125	36.08	2,474	219,772	73,672	14,507	33.5	18.2

C_{pg} : Capacidad calorífica del aire (kJul/kg°C)	1.005
H_a : Calor latente de vaporización producto (kJul/kg)	2,635
V_a : Volumen del aire ambiente (m ³ /kg)	0.875
C_{pg} : Poder calorífico del gas natural (kJul/m ³)	37,700
V_{ae} : Volumen del aire a la entrada del secador (m ³ /kg)	
m_a : Flujo másico del aire de secado (Kg/h)	8,676
Q_a : Caudal del aire de secado total (m ³ /min)	
Q_1 : Calor total suministrado al aire (kJul/h)	723,715
Q_2 : Calor total cedido por el aire durante el secado (kJul/h)	302,151
q_e : Consumo específico de energía promedio (kJul/kg de agua)	9,658
n_t : eficiencia térmica global (%)	42.0
n_e : Rendimiento energético promedio (%)	30.0
G : consumo total de gas natural por ton de yuca seca (m ³)	276

Tabla 17. Resultados Obtenidos Prueba 32

Equipo	Parámetros							
	V_{ae}	Q_a	m_a	Q_1	Q_2	q_e	n_t	n_e
Secador 1	1.105	40.45	2,774	225,535	103,534	9,148	45.9	28.8
Secador 2	1.080	29.28	2,008	147,097	79,941	12,116	54.3	21.7
Transporte								
Neumático	1.135	20.71	1,420	131,312	45,004	6,114	34.3	43.1
Secador 3	1.125	36.08	2,474	219,772	73,672	11,543	33.5	22.8

C_{pg} : Capacidad calorífica del aire (kJul/kg°C)	1.005
H_a : Calor latente de vaporización producto (kJul/kg)	2,635
V_a : Volumen del aire ambiente (m ³ /kg)	0.87
C_{pg} : Poder calorífico del gas natural (kJul/m ³)	37,700
V_{ae} : Volumen del aire a la entrada del secador (m ³ /kg)	
m_a : Flujo másico del aire de secado (Kg/h)	8,710
Q_a : Caudal del aire de secado total (m ³ /min)	
Q_1 : Calor total suministrado al aire (kJul/h)	706,720
Q_2 : Calor total cedido por el aire durante el secado (kJul/h)	302,266
q_e : Consumo específico de energía promedio (kJul/kg de agua)	9,730
n_t : eficiencia térmica global (%)	42.5
n_e : Rendimiento energético promedio (%)	29.1
G : consumo total de gas natural por ton de yuca seca (m ³)	293

- De acuerdo con estos resultados, la eficiencia térmica global estuvo alrededor del 40% en todas pruebas un valor relativamente bajo. ya que este valor debería estar por encima del 60% para secadores de este tipo.
- El consumo promedio de energía (gas natural) fue de 280 m³ por tonelada de yuca seca; valor que puede considerarse alto comparado con un secador de capa fija cuyo consumo aproximado es de 170 m³ por tonelada de yuca seca.
- Las pruebas 23,24,25,27 Y 31 se realizaron con una carga de 150 kg/h. En los resultados de las pruebas se observa que para yuca con contenidos de humedad inicial superiores a 65% b.h el contenido final de humedad fue superior a 13% b.h.
- Debido a los fallas y atascamientos presentados en los equipos en las pruebas 26 y 32 la carga utilizada fue de 100 kg/h; como resultado se obtuvo que para yucas con contenido de humedad inicial por encima de 60% es necesario sacrificar la capacidad de procesamiento inicial para obtener un contenido de humedad cercano al 12% b.h.
- La prueba 30 se realizó con una carga inferior a 100 kg/h, debido a los atascamientos en las válvulas de salida del producto y en el rallador

durante el desarrollo de la misma. se obtuvo un producto con contenido final de humedad de 4.7% b.h.

- En los resultados de todas las pruebas se puede observar que el secador 3 tiene un consumo específico promedio de 12900 kJ/kg de agua, lo cual representa un rendimiento energético de 20.1%, un valor muy bajo teniendo en cuenta que para evaporar un kilogramo de agua se requieren 2635 kJ, lo que significa que se está gastando casi 5 veces mas para secar el producto. Esta baja eficiencia es debida a que es mucho más difícil remover el agua de productos relativamente secos ya que está mas fuertemente ligada a la estructura del mismo. La eficiencia esperada debería ser de por lo menos el 40%.
- En el transporte neumático el consumo específico de energía promedio fue de 6050 kJ/kg de agua, para un rendimiento de 44.5%. Esto significa que se esta utilizando de una forma mas eficiente la energía suministrada.
- En cuanto al secador 1 el consumo específico promedio es de 8300 kJ/kg para un rendimiento energético del 32.5% que es un poco bajo para este secador, ya que hay que tener en cuenta que la mayoría de humedad contenida en el producto se encuentra como agua libre y resulta mucho más fácil removerla.

- Los altos consumos energéticos que se presentan en el proceso de secado pueden ser ocasionados por pérdidas de calor sensible que sale con el aire, perdidas por conducción a través de las paredes y pérdidas por el calor transportado por el producto.

8. ANÁLISIS DE COSTOS

El modelo utilizado por Industrias Protón y CLAYUCA en el estudio de prefactibilidad económica de una planta procesadora de harina de yuca con capacidad de procesamiento de dos y cinco toneladas de yuca seca por hora, con los supuestos previstos por el fabricante

La variación del precio del maíz en el mercado internacional incide directamente en el precio de venta de yuca seca, esta sensibilidad no permite establecer un precio estable que determine la utilidad por tonelada de yuca seca

Los altos consumos de combustible y energía eléctrica utilizados por la planta piloto por tonelada de yuca seca aumentan los costos de producción del proceso y disminuye la utilidad por tonelada, por consiguiente su viabilidad económica comparado con otros sistemas tradicionales de secado de yuca. (ver tabla 18).

Tabla 18. *costos de producción por tonelada de yuca seca para diferentes sistemas de secado*

Sistema de secado	Costo de producción (\$)	Precio de venta de yuca seca (\$)	Utilidad neta (\$)
Natural	264.600	300.000	35.400
Capa fija	252.300	300.000	47.700
Planta piloto	322.600	300.000	0

Fuente: Clayuca - CIAT

En los resultados arrojados por el modelo económico se muestra que el consumo promedio de gas propano utilizado (280 m^3) por tonelada de yuca seca en la planta piloto comparado con otros métodos de secado tradicional (capa fija) que es de 170 m^3 representa un costo muy alto a la hora de determinar la viabilidad económica de proyectos que involucren este tipo de tecnología.

TABLA 19. ANALISIS DE COSTOS PARA UNA PLANTA PROCESADORA DE HARINA DE YUCA (5 Ton/hora)

DESCRIPCION SALARIOS	Cantidad	Turnos	Salario Base en (USD)	Salario Base (en \$Col.)	Total	Total Año
Gerente General	1	1	1080	3007800	4,511,700	54,140,400
Secretaria	1		111	309135	463,703	5,564,430
Escritorio	1	1	145	403825	605,738	7,268,850
Mecánico	1	3	180	501300	2,255,850	27,070,200
Embalaje y Despacho	1	3	111	309135	1,391,108	16,693,290
Descarga y Depósito de Raíces	2	3	111	309135	2,782,215	33,386,580
Báscula y Portería	1	3	111	309135	1,391,108	16,693,290
TOTALES					13,401,420	160,817,040
Tasa de cambio	2785					
Cargo x salario/ton harina					11,167.85	
PRODUCCION						
Días trabajados	300					
Horas por día	24					
Tonelada de raíz fresca/hora	5					
Tasa de conversión	2.5					
Yuca fresca día (toneladas)	120					
Yuca fresca año (toneladas)	36000					
Producción yuca seca hora (t.)	2.00					
Producción yuca seca día (t.)	48					
Producción yuca seca año (t.)	14400					
COSTOS	Costo Unitario	Cant.	Total	Total día	Total año	
Raíz fresca/hora (t.)	80000	5	400,000	9,600,000		
Energía eléctrica (kw/h)	203	171	34,713	833,112		
Gas natural (m3/h)	336	560	188,160	4,515,840		
Total			622,873	14,948,952	4,484,685,600	
Costo/ton. yuca seca						311,436.50
COSTOS DE LA INVERSION						
Costo del equipo			1,200,000,000			
Tiempo de amortización	Años	10				
Valor del retorno anual			120,000,000			
Produccion anual	Tonelada		14400			
Retorno inversión/t.			8,333.33			
TOTAL COSTOS			322,604			
VALOR DE VENTA YUCA PROCESADA			300,000			
UTILIDAD			(22,604)			
UTILIDAD ANUAL TOTAL			(271,252)			

CONCLUSIONES

- Con la planta piloto diseñada por industrias Protón Ltda. para la obtención de harina de yuca, no fue posible procesar la capacidad nominal de 250 kg de raíces frescas por hora.
- De acuerdo con la experiencia adquirida en el manejo de esta planta se podría afirmar que sería posible procesar hasta 100kg de raíces de yuca fresca por hora siempre y cuando el contenido inicial de humedad sea menor de 65%, se corrijan todos los problemas de diseño observados en esta evaluación.
- El diseño de la planta es muy rígido y no permite el manejo de algunas condiciones de operación como: temperatura del aire de secado, caudal del aire de secado, flujo másico de alimentación y la ubicación de puntos de muestreo dificultaron el proceso de toma de datos para la evaluación.
- Este proceso de secado permite la eliminación eficaz de cianuro total hasta niveles permisibles para consumo animal (80%).

- Después de analizar la capacidad, la eficiencia y los costos de producción, se puede decir que el sistema no es viable económicamente; debido a el alto costo que representa este proceso por tonelada de harina seca.
- Los costos de procesamiento representan un 44% de los costos totales de producción, este valor es alto comparado con otro sistemas de secado artificial como el de capa fija donde este valor es del 25%.
- El área superficial de contacto de la masa de yuca con el aire de secado es muy baja, otra razón por la cual la velocidad de transferencia de calor del aire hacia el interior del producto y la transferencia de masa (agua) desde el interior del producto hasta la superficie del mismo son muy bajas.

RECOMENDACIONES

- Por la dificultad de manejo del material utilizado (masa rallada con humedad superior a 60%) se recomienda realizar ensayos inicialmente con trozos frescos de yuca en el secador 1 y 2 con temperaturas menores de 80° C para evitar la gelatinización del producto. Después de este presecado realizar una molienda para deducción de tamaño y continuar con el secado en el transporte neumático y el secador 3.
- Realizar algunas modificaciones al diseño de la planta que permitan un fácil manejo y variación de las condiciones de operación : Válvulas para el control de vapor y caudal.
- Se recomienda realizar un lavado de raíces cuando sean cosechadas en épocas de invierno, ya que el barro adherido a las raíces podría afectar la calidad del producto final.
- Estos cambios en el proceso implican algunas modificaciones del diseño de la planta piloto los cuales se pueden realizar con los mismos implementos, evitando gastos en la compra de nuevos equipos, pero con la necesidad de adquirir equipos que permitan regular la temperatura del aire en cada uno de los secadores

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, L.; VIERA, M. Á. y BEST, R. La investigación en el secado artificial de la yuca como apoyo al desarrollo agroindustrial de la costa atlántica de Colombia: Evaluación de varias fuentes de calor. Cali: CIAT.1986

ALONSO, Lisímaco. Manual operativo de una empresa productora de harina de yuca para consumo humano e industrial. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Cali, 1997. 176p.

___Estudio de varios sistemas para secado de trozos de yuca destinados al consumo humano. Centro internacional de agricultura tropical-CIAT. Cali. Colombia.1987

BEST, R. y GOMEZ, G. Procesamiento de las raíces de yuca para la alimentación animal. En: DOMINGUEZ, Carlos. Yuca: investigación, producción y utilización. Cali: CIAT. 1982. p. 512-575

BEST, R GUY, H.; GOTTRET, M. V. Memorias del seminario-taller internacional: "El desarrollo rural en América latina hacia el siglo XXI". Tema: El impacto de la industria de la yuca seca en la costa atlántica de Colombia. CIAT-Palmira. 1995

BITRAGO, J. A.; y LUCKET LL. Potencial de la yuca industrial para producción de alimentos balanceados para animales. En: Primer encuentro técnico nacional de producción y transformación de la yuca. Tolú: Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura.1997. p. 143-156

BRENNAN, J.G., BUTTERS, J.R.,COWELL. N.D., LILLY. A.E.V. Las operaciones de la ingeniera de alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza. España. 1980

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Proyectos integrados de yuca. Pérez - Crespo, C. A. (edit.). Cali, 1991. 262p.

CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H. y BESAÇON, Pierre. Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos. Volumen II. Zaragoza : Acribia.1983. 404 p.

COCK J. H. La yuca, Nuevo potencial para un cultivo tradicional. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 240p. 1989

COHEN DE SANCHEZ, Betzy. Secado de Yuca en secador rotatorio. San Felipe: Fundación CIEPE.1982. 150 p.

DOMÍNGUEZ , C. y CEBALLOS, L. F. Clasificación morfológica de la planta de yuca. Manual de producción de yuca. Cali : CIAT, 1981. p. b1-b10.

FEDERACION NACIONAL DE AVICULTORES DE COLOMBIA. ¡La yuca, sí!: La yuca pasó la prueba. Revista Avicultores. N° 62, 2000;. p. 12-17

FEDERACION NACIONAL DE AVICULTORES DE COLOMBIA Yuca, el nombre del juego. Revista Avicultores. N° 58, 1999. p. 12-15

FEDERACION NACIONAL DE AVICULTORES DE COLOMBIA Secado de yuca en patios, opción viable en el siglo XXI. Revista Avicultores No 78, 2001. p. 32 – 35.

FIGUEROA, F. Establishing and operating a cassava flour plant on the atlantic coast of Colombia. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Cali, 1996. 243p.

GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones unitarias, compañía Editorial continental S:A. Mexico. 1982.

GOTTRET, M. V.; RAYMONND, M.; Análisis de un enfoque integrado de investigacion y desarrollo en yucca y su contribución al alivio de la pobreza.: eel caso de la costa norte de Colombia. CIAT – PALMIRA. 2000.

JONES, D. M.; FRIM, D. S. Improving processing technologies for high-quality cassava flour. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Cali, 1996. 153p.

McCABE, W. L.; SMITH J. C. Operaciones básicas de Ingeniería Química. Editorial Reverté S.A. 1985

McCABE, W. L.; SMITH, J. C., HARRIOTT, P. Operaciones unitarias en la Ingeniería Química. Cuarta Edición. Editorial Mc Graw-Hill. Madrid. España. 1991

OSPINA, B.; Nuevas opciones para la yuca. Boletín informativo Continente Yuquero. CLAYUCA , Cal iNo.3, 2001. p.13

PERRY, R. GREEN, D. W. MALONEY, J. O. Manual del ingeniero Químico. Sexta Edición. Tomo V. Tlatilco. México.1992.

RANKEN, M.D. Manual de la industria de Alimentos.2ª edición. Editorial Acribia S:A. Zaragoza. España. 1988

SCOTT, G.J., BEST, R., ROSEGRANT, M. And BOKANGA, M., Roots and tubers in the global food system: A vision statement to the year 2020. CIAT, IFPRI, IITA, IPGRI. Perú 2000

VIERA, Miguel Ángel. Diseño de una planta piloto para la producción de Trocitos de yuca. Cali: CIAT. 1987. 85p

WHEATLEY, C.; SCOTT, J. G.; BEST, R. y WIERSEMA, S. Métodos para agregar valor a raíces y tubérculos alimenticios: Manual para el desarrollo de productos. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Cali, 1997. 187p.

WHEATLEY, C.; ALONSO, L.; BEST, R. y OSTERTAY, C. F. The cassava flour project in Colombia: from opportunity identification to market development. Cali, 1996. 159p.

Direcciones electrónicas:

www.minagricultura.gov.co

www.mercanet.cnp.gov.cr

www.fao.org

www.dian.gov.co

ANEXO A .

**CALIBRACIÓN DE LOS HORNOS DE CONVECCIÓN FORZADA USADOS EN
LA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD**

MATERIALES Y EQUIPO

1. Cajas petri
2. Espátula
3. Balanza de precisión marca “*METTLER TOLEDO*” modelo PB 303-S con las siguientes especificaciones:
 - Capacidad máxima: 310 g.
 - Precisión: ± 0.002 g.
 - Tiempo de estabilización: 2.0 s.
 - Tamaño del plato: $\varnothing$ 100 mm
 - Dimensiones: 245x321x236 mm (WxDxH)
4. Horno circulación forzada PRECISIÓN marca “*THELCO*” modelo 130DM, con las siguientes especificaciones:
 - Control de temperatura: Microprocesador
 - Visor de temperatura: Led de 3 dígitos
 - Sensibilidad: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
 - Rango de temperaturas: 40 - 250 $^{\circ}\text{C}$

Timer: 99 hr.

Dimensiones : 550 x 610 x 1020 mm

Datos eléctricos: 115V, 1.8kW, 15.6A

5. Liofilizador marca “LABCONCO” con las siguientes especificaciones:

Rango de presión: $33 \times 10^{-3} - 133 \times 10^{-3}$ MBAR

Temperatura de operación: -34°C hasta +40°C.

Dimensiones: 92.7x81x71cm)

Requerimientos eléctricos: 115V-60Hz, fase simple, 18.8A

6. Muestras de harina de las diferentes etapas del proceso de secado.

7. Desecador

PROCEDIMIENTO

Durante el proceso de secado en la planta piloto se tomaron muestras en los siguientes puntos:

- Inicio del proceso: materia prima o yuca fresca picada
- En el ducto de salida del secador 1
- En el ducto de salida del secador 2
- A la salida del transporte neumático
- En el ducto de salida del secador 3 (recirculado en secador 1)
- En el ducto de salida del aclimatador (recirculado en secador 2)

Lo anterior equivale a la toma de muestras de 6 niveles de humedad, con un número de 3 muestras por etapa de secado, con 4 repeticiones por cada nivel.

Las muestras se tomaron después de 1½ hora de iniciada la alimentación con yuca fresca cuando el proceso presenta estabilización en sus condiciones de operación.

Las muestras se empacaron en bolsas plásticas que se sellaron herméticamente y se congelaron para efectuar las repeticiones.

MONTAJE DE MUESTRAS EN HORNO DE VENTILACIÓN FORZADA A 70 C

- Se enciende el horno con 1 hora de anticipación a la realización de los ensayos, para alcanzar la temperatura deseada en forma estable.
- Se limpian, numeran y pesan las cajas petri a utilizar anotando su valor.
- Se pesan 20 gr. de muestra para el primer nivel de humedad correspondiente a trozos de yuca.
- Se pesan 10 gr. de muestra para los otros niveles de humedad restantes.
- Se depositan dentro del horno durante 24 horas o según Prieto y Valencia hasta que adquieran un peso constante. El primer pesaje se realiza a las 4 horas de haberse iniciado el ensayo, y los siguientes cada hora.
- Las muestras que se retiran del horno se colocan en un desecador para que adquieran temperatura ambiente.
- Se procede a retirarlas del desecador al cabo de 15 min. y se toma su peso

MONTAJE DE MUESTRAS EN LIOFILIZADOR

- Se pesan 10 gr. de muestra y se depositan en cajas petri de vidrio.
- Las cajas se tapan y se depositan en el liofilizador
- Se selecciona la presión de vacío y la temperatura de operación del liofilizador.
- Se enciende el equipo y 12 horas después se retiran las muestras y se toma su peso final.

DATOS Y RESULTADOS

Datos montaje en Horno a 70°C

Nivel de Humedad	Muestra	Peso muestra húmeda (gr)	Peso caja (gr)	Peso muestra seca + caja (gr)	Humedad (%)
1	1	2000	807	1865	47,1
	2	2107	754	1866	47,22
	3	2086	862	1964	47,17
	4	2075	864	1960	47,18
	5	2068	760	1855	47,05
	6	2035	837	1913	47,13
	7	2048	867	1948	47,22
	8	2061	813	1903	47,11
	9	2019	801	1871	47,00
	10	2018	804	1876	46,88
	11	2021	805	1879	46,86
	12	2018	865	1937	46,88
2	1	1000	801	1468	33,3
	2	1020	797	1472	33,82
	3	1016	773	1444	33,96
	4	1015	828	1503	33,50
	5	1009	818	1484	33,99
	6	1016	829	1503	33,66
	7	1007	806	1474	33,66
	8	1014	812	1486	33,53
	9	1009	730	1399	33,70
	10	1014	864	1538	33,53
	11	1012	753	1424	33,70
	12	1012	860	1532	33,60
3	1	1007	862	1821	4,77
	2	1014	820	1773	6,02
	3	1016	904	1859	6,00
	4	1013	731	1682	6,12
	5	1003	772	1716	5,88
	6	1005	743	1689	5,87
	7	1015	798	1748	6,40
	8	1016	773	1721	6,69
	9	1012	872	1814	6,92
	10	1008	858	1798	6,75

	11	1007	864	1804	6,65
	12	1004	819	1755	6,77
	1	1002	875	1722	15,47
	2	1007	868	1722	15,19
	3	1009	744	1598	15,36
	4	1007	862	1708	15,99
	5	1003	773	1620	15,55
4	6	1006	724	1574	15,51
	7	1007	864	1717	15,29
	8	1007	835	1688	15,29
	9	1003	862	1712	15,25
	10	1006	863	1712	15,61
	11	1002	770	1615	15,67
	12	1002	803	1649	15,57
	1	1008	808	1663	15,18
	2	1007	833	1689	15,00
	3	1008	864	1721	14,98
	4	1010	802	1658	15,25
	5	1002	858	1708	15,17
5	6	1008	789	1646	14,98
	7	1009	813	1668	15,26
	8	1015	863	1733	14,29
	9	1008	775	1639	14,29
	10	1014	833	1699	14,60
	11	1007	868	1725	14,90
	12	1010	731	1591	14,85
	1	1012	817	1698	12,94
	2	1010	796	1671	13,37
	3	1003	864	1731	13,56
	4	1014	786	1662	13,61
	5	1011	809	1699	11,97
6	6	1012	862	1745	12,75
	7	1002	743	1617	12,77
	8	1006	834	1715	12,43
	9	1014	864	1751	12,52
	10	1004	829	1701	13,15
	11	1006	812	1682	13,52
	12	1005	762	1641	12,54

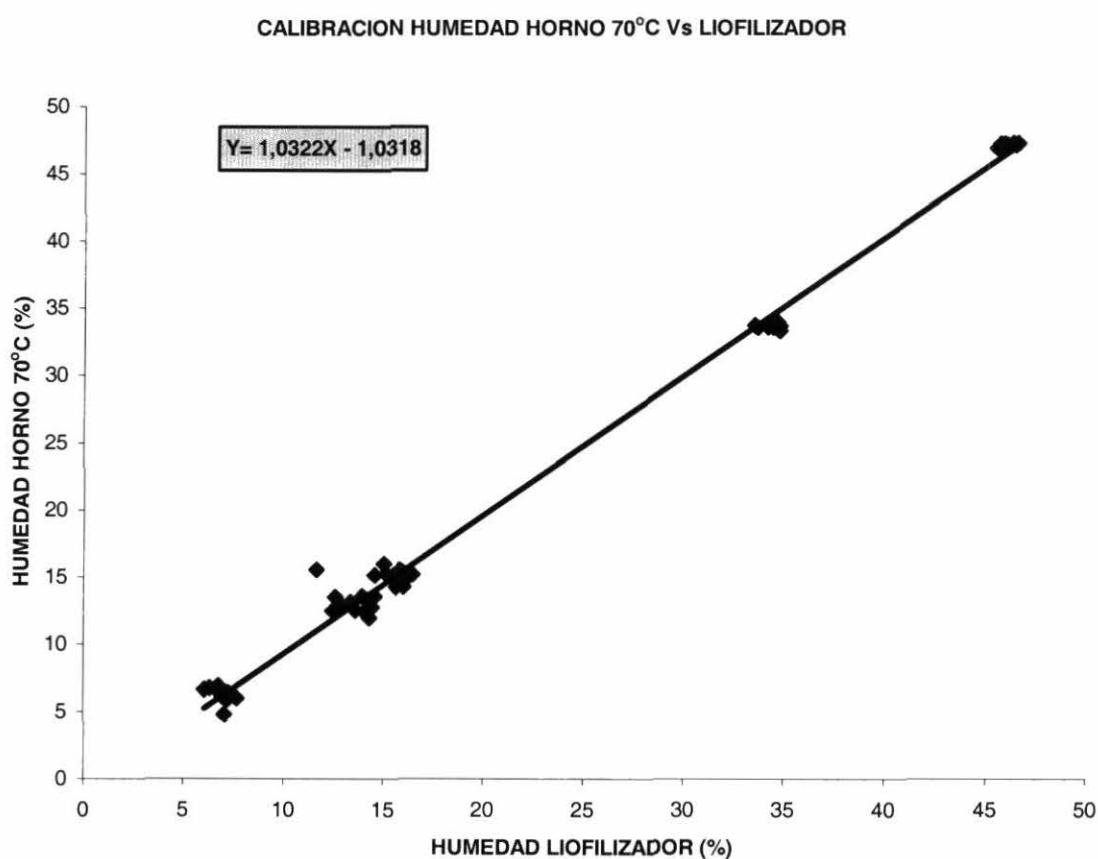
Datos montaje en Liofilizador

Nivel de Humedad	Muestra	Peso muestra húmeda (gr)	Peso caja (gr)	Peso muestra seca + caja (gr)	Humedad (%)
1	1	1021	861	1412	46,03
	2	1007	756	1294	46,57
	3	1048	838	1405	45,90
	4	1085	813	1402	45,71
	5	1007	742	1286	45,98
	6	1010	873	1414	46,44
	7	1012	786	1329	46,34
	8	1003	829	1366	46,46
	9	1010	754	1302	45,74
	10	1009	796	1342	45,89
	11	1010	864	1414	45,54
	12	1007	868	1416	45,58
2	1	1012	808	1468	34,78
	2	1012	737	1400	34,49
	3	1015	773	1436	34,68
	4	1034	758	1433	34,72
	5	1006	761	1420	34,49
	6	1007	868	1528	34,46
	7	1009	806	1464	34,79
	8	1010	732	1394	34,46
	9	1005	812	1480	33,53
	10	1004	771	1437	33,67
	11	1003	829	1489	34,20
	12	1009	761	1425	34,19
3	1	1018	741	1687	7,07
	2	1007	819	1753	7,25
	3	1003	820	1746	7,68
	4	1007	808	1745	6,95
	5	1012	724	1663	7,21
	6	1001	864	1793	7,19
	7	1005	802	1734	7,26
	8	1005	861	1799	6,67
	9	1003	749	1684	6,78
	10	1006	790	1728	6,76
	11	1003	869	1811	6,08
	12	1008	846	1790	6,35

4	1	1006	868	1714	15,90
	2	1003	829	1667	16,45
	3	1007	833	1681	15,79
	4	1005	861	1715	15,02
	5	1004	819	1706	11,65
	6	1001	873	1716	15,78
	7	1004	872	1717	15,84
	8	1002	819	1660	16,07
	9	1002	804	1645	16,07
	10	1020	863	1646	23,24
	11	1009	802	1612	19,72
	12	1012	763	1717	5,73
5	1	1006	861	1792	7,46
	2	1003	724	1572	15,45
	3	1007	772	1623	15,49
	4	1010	769	1626	15,15
	5	1003	872	1729	14,56
	6	1011	787	1641	15,53
	7	1004	754	1602	15,54
	8	1009	794	1645	15,66
	9	1007	862	1708	15,99
	10	1001	868	1709	15,98
	11	1012	806	1658	15,81
	12	1005	831	1676	15,92
6	1	1008	832	1710	12,90
	2	1011	742	1609	14,24
	3	1009	866	1728	14,57
	4	1010	805	1674	13,96
	5	1008	873	1737	14,29
	6	1012	872	1738	14,43
	7	1010	869	1735	14,26
	8	1008	808	1674	14,09
	9	1003	819	1697	12,46
	10	1011	812	1688	13,35
	11	1017	866	1755	12,59
	12	1001	802	1667	13,59

Para realizar la regresión lineal se aplicaron las herramientas de regresión lineal de análisis estadístico del programa EXCEL, arrojando los siguientes resultados:

%Humedad determinado por horno a 70°C vs %Humedad determinado por liofilizador



Esta ecuación se aplica para corregir los datos obtenidos durante el desarrollo del proyecto de tesis.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,997725129
R Square	0,995455433
Adjusted R Square	0,995386576
Standard Error	0,985259368
Observations	68

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	14033,7726	14033,7726	14456,83717	4,88354E-79
Residual	66	64,06857743	0,970736022		
Total	67	14097,84118			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-1,031839346	0,226301091	-4,559586268	2,28001E-05	-1,483663888	-0,580014803	-1,483663888	-0,580014803
X Variable 1	1,032244658	0,008585113	120,2365883	4,88354E-79	1,015103934	1,049385382	1,015103934	1,049385382

$$y = 1.0322x - 1.0318$$

ANEXO A .

**CALIBRACIÓN DE LOS HORNOS DE CONVECCIÓN FORZADA USADOS EN
LA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD**

MATERIALES Y EQUIPO

1. Cajas petri
2. Espátula
3. Balanza de precisión marca “*METTLER TOLEDO*” modelo PB 303-S con las siguientes especificaciones:
 - Capacidad máxima: 310 g.
 - Precisión: ± 0.002 g.
 - Tiempo de estabilización: 2.0 s.
 - Tamaño del plato: $\varnothing$ 100 mm
 - Dimensiones: 245x321x236 mm (WxDxH)
4. Horno circulación forzada PRECISIÓN marca “*THELCO*” modelo 130DM, con las siguientes especificaciones:
 - Control de temperatura: Microprocesador
 - Visor de temperatura: Led de 3 dígitos
 - Sensibilidad: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
 - Rango de temperaturas: 40 - 250 $^{\circ}\text{C}$

Timer: 99 hr.

Dimensiones : 550 x 610 x 1020 mm

Datos eléctricos: 115V, 1.8kW, 15.6A

5. Liofilizador marca *"LABCONCO"* con las siguientes especificaciones:

Rango de presión: $33 \times 10^{-3} - 133 \times 10^{-3}$ MBAR

Temperatura de operación: -34°C hasta +40°C.

Dimensiones: 92.7x81x71cm)

Requerimientos eléctricos: 115V-60Hz, fase simple, 18.8A

6. Muestras de harina de las diferentes etapas del proceso de secado.

7. Desecador

PROCEDIMIENTO

Durante el proceso de secado en la planta piloto se tomaron muestras en los siguientes puntos:

- Inicio del proceso: materia prima o yuca fresca picada
- En el ducto de salida del secador 1
- En el ducto de salida del secador 2
- A la salida del transporte neumático
- En el ducto de salida del secador 3 (recirculado en secador 1)
- En el ducto de salida del aclimatador (recirculado en secador 2)

Lo anterior equivale a la toma de muestras de 6 niveles de humedad, con un número de 3 muestras por etapa de secado, con 4 repeticiones por cada nivel.

Las muestras se tomaron después de 1½ hora de iniciada la alimentación con yuca fresca cuando el proceso presenta estabilización en sus condiciones de operación.

Las muestras se empacaron en bolsas plásticas que se sellaron herméticamente y se congelaron para efectuar las repeticiones.

MONTAJE DE MUESTRAS EN HORNO DE VENTILACIÓN FORZADA A 70 C

- Se enciende el horno con 1 hora de anticipación a la realización de los ensayos, para alcanzar la temperatura deseada en forma estable.
- Se limpian, numeran y pesan las cajas petri a utilizar anotando su valor.
- Se pesan 20 gr. de muestra para el primer nivel de humedad correspondiente a trozos de yuca.
- Se pesan 10 gr. de muestra para los otros niveles de humedad restantes.
- Se depositan dentro del horno durante 24 horas o según Prieto y Valencia hasta que adquieran un peso constante. El primer pesaje se realiza a las 4 horas de haberse iniciado el ensayo, y los siguientes cada hora.
- Las muestras que se retiran del horno se colocan en un desecador para que adquieran temperatura ambiente.
- Se procede a retirarlas del desecador al cabo de 15 min. y se toma su peso

MONTAJE DE MUESTRAS EN LIOFILIZADOR

- Se pesan 10 gr. de muestra y se depositan en cajas petri de vidrio.
- Las cajas se tapan y se depositan en el liofilizador
- Se selecciona la presión de vacío y la temperatura de operación del liofilizador.
- Se enciende el equipo y 12 horas después se retiran las muestras y se toma su peso final.

DATOS Y RESULTADOS

Datos montaje en Horno a 70°C

Nivel de Humedad	Muestra	Peso muestra húmeda (gr)	Peso caja (gr)	Peso muestra seca + caja (gr)	Humedad (%)
1	1	2000	807	1865	47,1
	2	2107	754	1866	47,22
	3	2086	862	1964	47,17
	4	2075	864	1960	47,18
	5	2068	760	1855	47,05
	6	2035	837	1913	47,13
	7	2048	867	1948	47,22
	8	2061	813	1903	47,11
	9	2019	801	1871	47,00
	10	2018	804	1876	46,88
	11	2021	805	1879	46,86
	12	2018	865	1937	46,88
2	1	1000	801	1468	33,3
	2	1020	797	1472	33,82
	3	1016	773	1444	33,96
	4	1015	828	1503	33,50
	5	1009	818	1484	33,99
	6	1016	829	1503	33,66
	7	1007	806	1474	33,66
	8	1014	812	1486	33,53
	9	1009	730	1399	33,70
	10	1014	864	1538	33,53
	11	1012	753	1424	33,70
	12	1012	860	1532	33,60
3	1	1007	862	1821	4,77
	2	1014	820	1773	6,02
	3	1016	904	1859	6,00
	4	1013	731	1682	6,12
	5	1003	772	1716	5,88
	6	1005	743	1689	5,87
	7	1015	798	1748	6,40
	8	1016	773	1721	6,69
	9	1012	872	1814	6,92
	10	1008	858	1798	6,75

	11	1007	864	1804	6,65
	12	1004	819	1755	6,77
4	1	1002	875	1722	15,47
	2	1007	868	1722	15,19
	3	1009	744	1598	15,36
	4	1007	862	1708	15,99
	5	1003	773	1620	15,55
	6	1006	724	1574	15,51
	7	1007	864	1717	15,29
	8	1007	835	1688	15,29
	9	1003	862	1712	15,25
	10	1006	863	1712	15,61
	11	1002	770	1615	15,67
	12	1002	803	1649	15,57
5	1	1008	808	1663	15,18
	2	1007	833	1689	15,00
	3	1008	864	1721	14,98
	4	1010	802	1658	15,25
	5	1002	858	1708	15,17
	6	1008	789	1646	14,98
	7	1009	813	1668	15,26
	8	1015	863	1733	14,29
	9	1008	775	1639	14,29
	10	1014	833	1699	14,60
	11	1007	868	1725	14,90
	12	1010	731	1591	14,85
6	1	1012	817	1698	12,94
	2	1010	796	1671	13,37
	3	1003	864	1731	13,56
	4	1014	786	1662	13,61
	5	1011	809	1699	11,97
	6	1012	862	1745	12,75
	7	1002	743	1617	12,77
	8	1006	834	1715	12,43
	9	1014	864	1751	12,52
	10	1004	829	1701	13,15
	11	1006	812	1682	13,52
	12	1005	762	1641	12,54

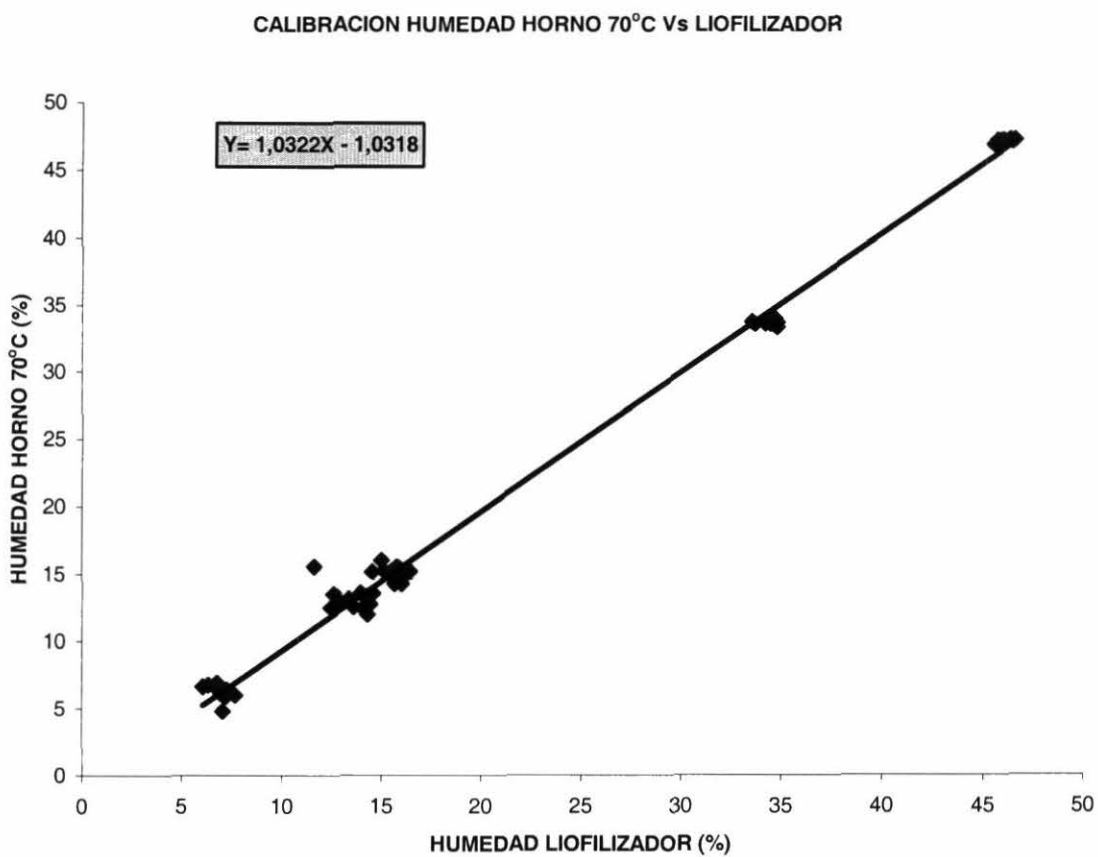
Datos montaje en Liofilizador

Nivel de Humedad	Muestra	Peso muestra húmeda (gr)	Peso caja (gr)	Peso muestra seca + caja (gr)	Humedad (%)
1	1	1021	861	1412	46,03
	2	1007	756	1294	46,57
	3	1048	838	1405	45,90
	4	1085	813	1402	45,71
	5	1007	742	1286	45,98
	6	1010	873	1414	46,44
	7	1012	786	1329	46,34
	8	1003	829	1366	46,46
	9	1010	754	1302	45,74
	10	1009	796	1342	45,89
	11	1010	864	1414	45,54
	12	1007	868	1416	45,58
2	1	1012	808	1468	34,78
	2	1012	737	1400	34,49
	3	1015	773	1436	34,68
	4	1034	758	1433	34,72
	5	1006	761	1420	34,49
	6	1007	868	1528	34,46
	7	1009	806	1464	34,79
	8	1010	732	1394	34,46
	9	1005	812	1480	33,53
	10	1004	771	1437	33,67
	11	1003	829	1489	34,20
	12	1009	761	1425	34,19
3	1	1018	741	1687	7,07
	2	1007	819	1753	7,25
	3	1003	820	1746	7,68
	4	1007	808	1745	6,95
	5	1012	724	1663	7,21
	6	1001	864	1793	7,19
	7	1005	802	1734	7,26
	8	1005	861	1799	6,67
	9	1003	749	1684	6,78
	10	1006	790	1728	6,76
	11	1003	869	1811	6,08
	12	1008	846	1790	6,35

4	1	1006	868	1714	15,90
	2	1003	829	1667	16,45
	3	1007	833	1681	15,79
	4	1005	861	1715	15,02
	5	1004	819	1706	11,65
	6	1001	873	1716	15,78
	7	1004	872	1717	15,84
	8	1002	819	1660	16,07
	9	1002	804	1645	16,07
	10	1020	863	1646	23,24
	11	1009	802	1612	19,72
	12	1012	763	1717	5,73
5	1	1006	861	1792	7,46
	2	1003	724	1572	15,45
	3	1007	772	1623	15,49
	4	1010	769	1626	15,15
	5	1003	872	1729	14,56
	6	1011	787	1641	15,53
	7	1004	754	1602	15,54
	8	1009	794	1645	15,66
	9	1007	862	1708	15,99
	10	1001	868	1709	15,98
	11	1012	806	1658	15,81
	12	1005	831	1676	15,92
6	1	1008	832	1710	12,90
	2	1011	742	1609	14,24
	3	1009	866	1728	14,57
	4	1010	805	1674	13,96
	5	1008	873	1737	14,29
	6	1012	872	1738	14,43
	7	1010	869	1735	14,26
	8	1008	808	1674	14,09
	9	1003	819	1697	12,46
	10	1011	812	1688	13,35
	11	1017	866	1755	12,59
	12	1001	802	1667	13,59

Para realizar la regresión lineal se aplicaron las herramientas de regresión lineal de análisis estadístico del programa EXCEL, arrojando los siguientes resultados:

%Humedad determinado por horno a 70°C vs %Humedad determinado por liofilizador



Esta ecuación se aplica para corregir los datos obtenidos durante el desarrollo del proyecto de tesis.

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,997725129
R Square	0,995455433
Adjusted R Square	0,995386576
Standard Error	0,985259368
Observations	68

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	14033,7726	14033,7726	14456,83717	4,88354E-79
Residual	66	64,06857743	0,970736022		
Total	67	14097,84118			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-1,031839346	0,226301091	-4,559586268	2,28001E-05	-1,483663888	-0,580014803	-1,483663888	-0,580014803
X Variable 1	1,032244658	0,008585113	120,2365883	4,88354E-79	1,015103934	1,049385382	1,015103934	1,049385382

$$y = 1.0322x - 1.0318$$

ANEXO B

CALIBRACIÓN DE ANEMÓMETRO PARA MEDICIÓN DEL CAUDAL DE AIRE

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Anemómetro digital “*AIRFLOW*” *LCA 6000RVT*, con las siguientes especificaciones:

Rango velocidad: 50-6000 pie/min. (0.25-30 m/s)

Rango de temperatura: (-10) y 50°C (14 - 122°F)

Presión barométrica: 0.5 a 2 bar (15” – 60” Hg.)

Tiempo máximo de medición: 12 min.

Precisión: 0.01% de lectura $\pm$ 1 dígito

2. Termo Anemómetro digital marca “*ALNOR Compuflow*” modelo 8565 con las siguientes especificaciones:

Rango de velocidad: 20 y 3000 pie/min. (0.5 – 15 m/s)

Rango de temperatura: 32 y 58°F (0 – 70°C)

Precisión:

Velocidad de flujo: 20 - 100 pie/min. $\pm$ 5 pie/min. ($\pm$ 0.03 m/s)

100 - 600 pie/min. $\pm$ 2 pie/min. ($\pm$ 0.01 m/s)

600 – 3000 pie/min. $\pm$ 20 pie/min ($\pm$ 0.1 m/s)

Temperatura: $\pm$ 0.8°F ($\pm$ 0.4°C)

Dimensiones: 70x102x190 mm

Peso: 651 gr.

3. Ducto de PVC de 6 pulgadas de diámetro y 2.5 metros de longitud.
4. Ventilador tipo axial UNIVERSAL ELECTRIC 1075 rpm, 230 Voltios, 1.35 Amp

PROCEDIMIENTO

1. El ducto de PVC se instala en la succión del ventilador, cuidando que quede herméticamente sellada la unión, para evitar posibles fugas de aire.
2. En un orificio que presenta el tubo de PVC a 2 mts de distancia de la succión se introduce el censor del termo anemómetro a diferentes profundidades dependiendo del diámetro del ducto, que se calculan de la siguiente manera:

$$D_1 = D \cdot 0.043$$

$$D_2 = D \cdot 0.147$$

$$D_3 = D \cdot 0.296$$

$$D_4 = D \cdot 0.704$$

$$D_5 = D \cdot 0.853$$

$$D_6 = D \cdot 0.957$$

Donde $D_1, D_2, D_3 \dots D_6$ son la profundidades a las cuales se introduce el censor y D es el diámetro del ducto.

3. El anemómetro digital "AIRFLOW" se ubica al final del ducto, en forma equidistante de los bordes de este.
4. Se seleccionan 3 posiciones diferentes del reostato para variar la velocidad del ventilador.

5. Se enciende el ventilador se introduce el termo anemómetro en el ducto y se toma el dato correspondiente. Posterior a la toma de este dato se ubica el anemómetro al final del ducto para evitar cualquier modificación en el flujo de aire e interferencia en los resultados.

DATOS Y RESULTADOS

Posición	Velocidad de flujo (pie/min)						Promedio	Corregida
	1	2	3	4	5	6		
1	690	760	770	810	820	790	773,33	908,62
2	820	850	890	940	940	920	893,33	1049,61
3	1050	1030	1070	1160	1120	1120	1091,67	1282,64
4	1350	1270	1390	1360	1410	1400	1363,33	1601,83
5	1570	1550	1660	1600	1660	1620	1610	1891,65
6	1780	1740	1830	1970	1980	1880	1863,33	2189,3

CF= 1,17494

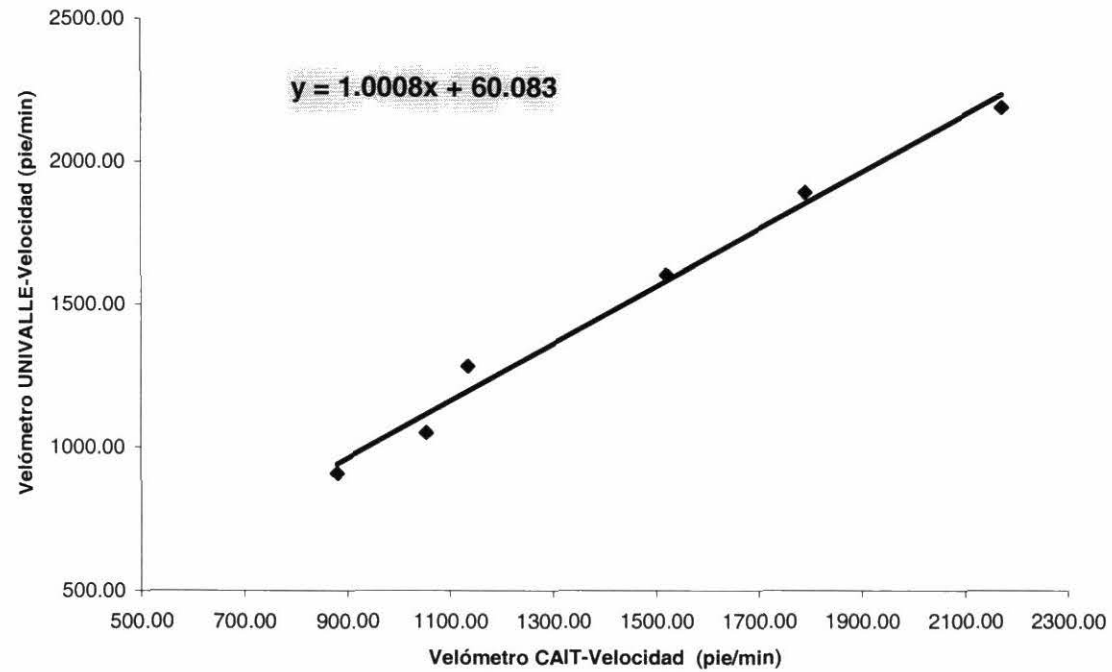
CF: Factor de Corrección

VELOMETRO CIAT (Pie/min)

Posición	Velocidad de flujo (pie/min)						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
1	835	898	893	906	880	875	881,17
2	1045	1080	1052	1035	1032	1085	1054,83
3	928	1103	1238	1238	1179	1129	1135,83
4	1478	1580	1529	1503	1527	1504	1520,17
5	1795	1840	1736	1766	1761	1854	1792
6	2168	2185	2189	2176	2204	2114	2172,67

$$y = 1.0008x + 60.083$$

**CALIBRACION VELOCIDAD DE FLUJO (pie/min) VELOMETRO UNIVALLE Vs
VELOMETRO CIAT**



SUMMARY
OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,993206
R Square	0,986458
Adjusted R Square	0,983072
Standard Error	64,734012
Observations	6,000000

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1220982,875	1220982,875	291,3698	6,9086E-05
Residual	4	16761,96945	4190,492363		
Total	5	1237744,844			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	60,08281662	87,68740273	0,685193252	0,530867
X Variable 1	1,000755874	0,058628109	17,06955737	6,91E-05

ANEXO C

CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE VIDRIO Y TERMÓMETRO DIGITAL

MATERIALES Y EQUIPO

1. Termómetros de carátula, marca “MENGTE”, con Rango de temperaturas entre 0-300°C
2. Termómetro digital marca “Omega” HH82. con rango de temperaturas entre (-20) -750 °C
3. Termómetros de precisión de vidrio marca “ERTCO” serie ITS-990 con rango de temperatura entre (-38) - 405 °C. Calibrados contra estándares certificados por “the National Bureau of Standards”
4. Baño térmico
5. Soportes
6. Pinzas

PROCEDIMIENTO

- Se sujetan los termómetros con las pinzas al soporte y se introducen en el baño térmico a un mismo nivel dentro del agua.
- Se establecen los rangos de temperatura que permitieran la toma de datos necesarios para obtener una buena curva de calibración, seleccionándose los siguientes rangos de temperatura: 30, 40, 50, 60, 70, 80 ,90 °C, ya que la sustancia utilizada es agua
- Se enciende el baño, se espera hasta que la temperatura se estabilice u oscile cerca de un mismo valor y se realiza la toma de datos.
- Se grafica termómetro de referencia vs termómetro a calibrar.

DATOS Y RESULTADOS

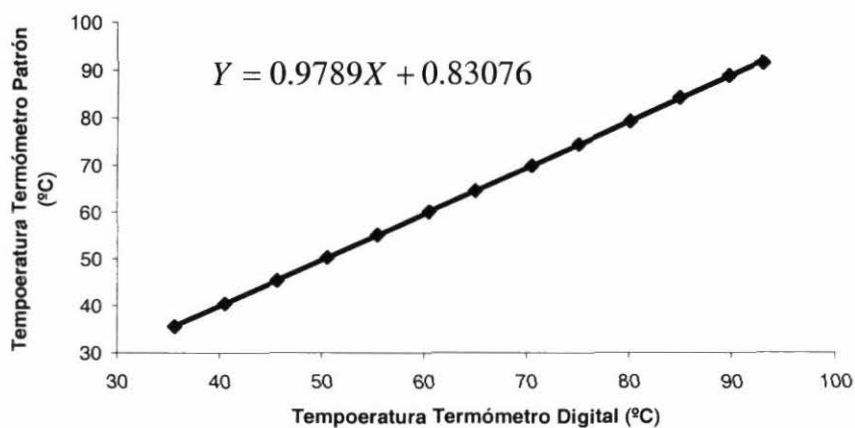
La tabla 1 muestra la consignación de los datos obtenidos en el laboratorio de las temperaturas registradas por el termómetro patrón y termómetro digital sumergidos en el baño térmico.

TEMP. REGISTRADA EN TERMÓMETRO PATRÓN (°C)	TEMP. REGISTRADA EN TERMÓMETRO DIGITAL (°C)
35,55	35,6
40,45	40,5
45,40	45,6
50,30	50,5
55,15	55,4
60,10	60,5
64,50	65,0
69,90	70,5
74,45	75,1
79,20	80,1
84,15	84,9
88,80	89,7
91,40	93,0

Por la regresión lineal obtenemos la siguiente ecuación:

$$Y = 0.9789X + 0.83076$$

CALIBRACION TERMOMETRO PATRON Vs TERMOMETRO DIGITAL



Esta es la ecuación que utilizamos para la corrección de los datos obtenidos en la calibración de los termómetros de carátula vs el termómetro digital.

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

Muestra la temperatura en °C obtenida en la calibración de cada uno de los termómetros de la planta.

Termómetro referencia	Corrección $Y = 0,9789X + 0,83076$	Entrada secador 1	Salida secador 1	Entrada secador 2	Salida secador 2	Entrada Neumático	Entrada Secador 3	Salida Secador 3	Salida aclimatador
30,2	30,39	30	28,5	30	31	30	31	31	29
40,5	40,48	38	37	40	40	40	40	40	39
50,5	50,27	49	48	51	51	49	50	51	49
60,6	60,15	58	57	61	60	60	60	60	59
70,6	69,94	68	67	71	70	70	70	70	70
80,3	79,44	78	78	82	80	80	80	80	80
90,1	89,03	88	87	92	90	90	90	90	90

Realizando la regresión lineal se obtuvieron las siguientes ecuaciones para cada uno de los equipos:

TERMÓMETRO	ECUACIÓN
Entrada secador 1	$Y = 1.0009X + 1.4725$
Salida secador 1	$Y = 0.988X + 3.1298$
Entrada secador 2	$Y = 0.9429X + 2.4359$
Salida secador 2	$Y = 0.99058 + 0.2385$
Entrada Neumático	$Y = 0.9730X + 1.7144$
Entrada secador 3	$Y = 0.9871X + 0.5896$
Salida secador 3	$Y = 0.99058X + 0.23849$
Salida aclimatador	$Y = 0.9561X + 3.133$

A continuación se presentan un resumen del análisis de datos por regresión lineal para cada uno de los termómetros:

Resumen

Entrada al secador 2

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99942538
Coefficiente de determinación R^2	0,99885109
R^2 ajustado	0,99862131
Error típico	0,78353995
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	2668,74795	2668,74795	4346,95629	1,5197E-08
Residuos	5	3,06967424	0,61393485		
Total	6	2671,81762			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	1,47256792	0,93516989	1,57465284	0,17615285	-0,93135888	3,87649471	-0,93135888	3,87649471
Variable X 1	1,00094441	0,01518159	65,9314515	1,5197E-08	0,96191895	1,03996987	0,96191895	1,03996987

Resumen

Salida del secador 2

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99944595
Coefficiente de determinación R ²	0,99889221
R ² ajustado	0,99867065
Error típico	0,76939134
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	2668,857809	2668,857809	4508,48726	1,38738E-08
Residuos	5	2,95981518	0,591963036		
Total	6	2671,817624			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	3,12987637	0,894888358	3,497504844	0,01733063	0,829496368	5,43025637	0,82949637	5,430256367
Variable X 1	0,98828598	0,014718624	67,14526986	1,3874E-08	0,950450611	1,02612134	0,95045061	1,026121342

Resumen

Entrada secador 1

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,999858317
Coefficiente de determinación R ²	0,999716654
R ² ajustado	0,999659985
Error típico	0,389114072
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	2671,060576	2671,060576	17641,2707	4,58897E-10
Residuos	5	0,757048805	0,151409761		
Total	6	2671,817624			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	2,435940929	0,457360334	5,326087005	0,00312457	1,260260684	3,61162117	1,26026068	3,611621173
Variable X 1	0,942957034	0,007099487	132,8204452	4,589E-10	0,924707251	0,96120682	0,92470725	0,961206817

Resumen

Salida secador 1

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,999734362
Coefficiente de determinación R ²	0,999468794
R ² ajustado	0,999362553
Error típico	0,532782489
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	2670,39834	2670,39834	9407,54196	2,2086E-09
Residuos	5	1,4192859	0,28385718		
Total	6	2671,81762			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	0,238497238	0,64778994	0,36817064	0,72781888	-1,4266971	1,90369157	-1,4266971	1,90369157
Variable X 1	0,990579998	0,01021296	96,992484	2,2086E-09	0,9643268	1,0168332	0,9643268	1,0168332

Resumen

Entrada transporte neumático

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99978565
Coefficiente de determinación R ²	0,99957134
R ² ajustado	0,99948561
Error típico	0,47860255
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	2670,67232	2670,67232	11659,2494	1,2919E-09
Residuos	5	1,14530199	0,2290604		
Total	6	2671,81762			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	1,7143925	0,5689123	3,01345654	0,02963785	0,25195926	3,17682573	0,25195926	3,17682573
Variable X 1	0,9730155	0,00901124	107,978004	1,2919E-09	0,94985141	0,99617958	0,94985141	0,99617958

Resumen

Entrada Secador 3

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99976594
Coefficiente de determinación R^2	0,99953193
R^2 ajustado	0,99943831
Error típico	0,50012027
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	2670,56702	2670,56702	10677,1311	1,6097E-09
Residuos	5	1,2506014	0,25012028		
Total	6	2671,81762			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	0,58966263	0,60483067	0,97492185	0,37437433	-0,96510156	2,14442682	-0,96510156	2,14442682
Variable X 1	0,98709407	0,00955281	103,330204	1,6097E-09	0,96253782	1,01165031	0,96253782	1,01165031

Resumen**Salida Secador 3***Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,99973436
Coefficiente de determinación R^2	0,99946879
R^2 ajustado	0,99936255
Error típico	0,53278249
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	2670,39834	2670,39834	9407,54196	2,2086E-09
Residuos	5	1,4192859	0,28385718		
Total	6	2671,81762			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	0,23849724	0,64778994	0,36817064	0,72781888	-1,4266971	1,90369157	-1,4266971	1,90369157
Variable X 1	0,99058	0,01021296	96,992484	2,2086E-09	0,9643268	1,0168332	0,9643268	1,0168332

Resumen

Salida Aclimatador

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,9998609
Coeficiente de determinación R^2	0,99972182
R^2 ajustado	0,99966618
Error típico	0,38555254
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	2671,07437	2671,07437	17968,7901	4,3828E-10
Residuos	5	0,74325382	0,14865076		
Total	6	2671,81762			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	3,1339415	0,44824569	6,99157085	0,00092184	1,98169115	4,28619184	1,98169115	4,28619184
Variable X 1	0,95614579	0,00713288	134,047716	4,3828E-10	0,93781018	0,9744814	0,93781018	0,9744814

ANEXO D

UN NUEVO CROMÓGENO PARA LA DETERMINACIÓN DE CIANOGENÍCOS

EN PRODUCTOS DE YUCA

Teresa Sánchez

CIAT

RESUMEN

El método enzimático desarrollado por Cooke y O'Brien, fue mejorado con una coloración más aceptable. Para la reacción de Konig se utiliza Isonicotinato / 1,3 dimetil barbiturato, éste reactivo tiene la ventaja de ser más rápido, más barato, menos peligroso, no libera vapores tóxicos, y tiene una mayor estabilidad comparada con el reactivo de color piridina/pirazoline utilizado comúnmente. La estabilidad de este reactivo es de 12 días. Las lecturas después de la incubación pueden ser tomadas desde los 6 hasta los 36 minutos. Las curvas de calibración fueron lineales a una absorbancia menor de 1.8.

I. INTRODUCCIÓN

La yuca es un cultivo tropical muy importante. Uno de los problemas que conciernen a la salud pública es su toxicidad. El potencial tóxico es debido a la presencia de glucósidos cianogénicos, principalmente linamarina, la cual después de la hidrólisis en cianohidrinás se transforma en el compuesto tóxico ácido cianhídrico.

Esta toxicidad de un producto alimenticio altamente consumido requiere un

método analítico seguro, simple, rápido y barato para medir los tres constituyentes cianogénicos.

Un método útil es el "Método Enzimático" desarrollado por Cooke (1978) y perfeccionado por O'Brien (1991), el cual consta de una homogeneización en ácido, filtración, neutralización, hidrólisis por enzima exógena, alcalinización y lectura espectrofotométrica después de la coloración de un cromógeno piridina/pirazolone. Sin embargo, la técnica de coloración aplicada es lenta, y los vapores liberados debido a la piridina son tóxicos, mutagénicos, irritantes y repugnantes; además se necesita el uso de una buena cámara de extracción de vapores, esto es algunas veces un problema, especialmente en ciudades subdesarrolladas.

Ikediobi en 1980 trató de reemplazar el reactivo de color piridina/pirazolone con picrato, pero la reacción de Gignard no es muy específica para cianuro (Aribantana y Buckle, 1986).

Aquí reportamos un sustituto para el reactivo de color piridina/pirazolone: Isonicotinato / 1,3 dimetil barbitúrico.

II. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

1. Preparación de los extractos de yuca para análisis de cianuro

Homogeneizar 60 g de pulpa en trozos de 1 cm³ a temperatura ambiente con 150 ml de medio de extracción durante 1 minuto, esperar 1 minuto y homogeneizar otro minuto.

Para analizar cáscara utilizar 10 g, cortados en trozos, para hojas 4 g, y para harinas 30 g.

Filtrar el homogeneizado a través de papel filtro GF/A, utilizando un embudo Buchner. Lavar el vaso homogenizador con 50 ml de medio de extracción, y filtrar de la misma manera.

Medir el volumen final del filtrado y transvasar una alícuota de 20 ml a una botella con tapa rosca. Almacenar los extractos a 4 °C, los cuales son estables por lo menos durante 2 meses. Para productos derivados de raíces, se recomienda una centrifugación a 8500 rpm durante 30 minutos, en reemplazo de la filtración.

2. Determinación de los contenidos cianogénicos de los extractos

Determinación del cianuro total

Agregar 0.1 ml del extracto a tubos con tapa rosca que contengan 0.4 ml de solución tampón fosfato 0.1 M pH 7. Agregar 0.1 ml de linamarasa y tapar. Incubar los tubos a 30 °C durante 15 minutos; terminar la reacción agregando 0.6 ml de NaOH 0.2 M. Esperar 5 minutos a temperatura ambiente y agregar 2.8 ml de solución tampón fosfato 0.1 M pH 6.0. Analizar espectrofotométricamente de la siguiente manera: agregar 0.1 ml de cloramina T, esperar exactamente 5 minutos, luego adicionar 0.6 ml del reactivo Isonicotinato / 1,3-dimetil barbiturato. Después

de 10 minutos, leer la absorbancia a 605 nm. Utilizar una curva standard de KCN, descrita posteriormente.

Realizar el análisis por duplicado y preparar un blanco.

Determinación del cianuro No – Glucosídico

Agregar 0.1 ml del extracto a tubos que contengan 0.4 ml de solución tampón fosfato 0.1 M pH 6, agregar 0.6 ml de NaOH 0.2 M y esperar 5 minutos a temperatura ambiente. Después, agregar 2.9 ml de solución tampón 0.1 M pH 6 Continuar el análisis espectrofotométrico como se describe en la sección II.2a.

Determinación del cianuro Libre

Agregar 0.1 mL del extracto a tubos que contengan 3.9 mL de solución tampón 0.1 M pH 6. Continuar con el análisis espectrofotométrico como se describe en la sección II.2a.

III. PREPARACIÓN DE LA CURVA STANDARD CON CIANURO DE POTASIO Y OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

Solución Stock

Secar el KCN durante 12 horas con H_2SO_4 concentrado, en un desecador. Preparar una solución de 1 mg/mL (disolver 100 mg de KCN seco en 100 mL de NaOH 0.2 M).

Solución Standard

Preparar una solución de 1 $\mu\text{g/mL}$ partiendo de la solución stock de 1 mg/mL. A partir de esta solución prepare la curva standard.

CALCULOS

$$\text{ppm HCN (B.S.)} = (10 \cdot V' \cdot A_{620} \cdot F_d) / (A_{\text{equiv}} \cdot \text{PS})$$

V = Volumen del medio de extracción utilizado en la extracción

PF = Peso Fresco de la muestra

MS = % del contenido de materia seca de la muestra

V' = Volumen ajustado $V + (PF - ((MS \cdot PF)/100))$

A₆₂₀ = Promedio de absorbancias de la muestra a 620 nm

A_{equiv} = Absorbancia equivalente de μg de HCN a 620 nm

PS = Peso seco de la muestra $(MS \cdot PF)/100$

IV. REACTIVOS

1. Medio de extracción .

Acido ortofosfórico 0.1 M que contenga 25% v/v de etanol.

2. Solución tampón fosfato 0.1 M pH 4, pH 6, pH 7

Tomar ácido ortofosfórico 0.1 M y ajustar a los diferentes peaches con hidróxido de sodio 5 M

3. Hidróxido de sodio 5 M.

Disolver 200 g de hidróxido de sodio en un litro de agua destilada.

4. Hidróxido de sodio 0.2 M.

Disolver 8 g de hidróxido de sodio en un litro de agua destilada.

5. Cloramina T 1% (p/v).

Disolver 1 g de cloramina T en 100 mL de agua destilada. Preparar diariamente.

6. Reactivo de color isonicotinato / 1,3 dimetil barbiturato.

Disolver 3.7 g de hidróxido de sodio en 200 mL de agua destilada. Agregar lentamente 7.0 g de ácido 1,3 dimetil barbiturico y agitar fuertemente, luego agregar 5.7 g de ácido isonicotinico. Ajustar el pH a 7.5 con HCl 1 M ó NaOH 0.2 M. Este reactivo es estable hasta por 12 días a temperatura ambiente.

ANEXO E

ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PARA COMPRA DE YUCA SECA

Parámetros	ICONTEC Norma 3528	SOLLA	IDEMA	SOLLA (FEDEYUCA)	PROINSA (FEDEYUCA)	Brasil	
						Categ 1	Categ 2
CALIDAD FISICO-QUIMICA							
Proteína %min(6,26xN)				3	3		
Extracto Etereo %min	1						
Fibra cruda% max	5	4		3	3	3	5
ceniza %max	3	3		3	3	2	3
Humedad % max b.h. (60°C 24 horas)	12	12	12	12	12	13	14
HCN total ppm max	100	100		100	100	100	100
HCN libre ppm. Max							
Almidón % min		65				75	70
Olores				Característico	Característico		
Impurezas%				Libre	Libre	1	2
Aditivos							
presentación			trozos y trocitos	trozos y trocitos	trozos y trocitos		
Granulometria							
color			blanco,crema				
Acidez,ml de sol NaOH						2	2.5
Empaque			nuevos				

ANEXO F.

Tablas de determinación y corrección de humedad base seca(%) Horno 70 oC

Prueba 23

Ident.	Muestra -M- (gr)	M.seca+C (gr)	Crisol -C- (gr)	M. seca (gr)	ms (%)	Humedad((%)	Corr. (%)	Prom.
Inicial	10.47	12.55	8.67	3.88	37.058	62.94	66.00	66.09
	10.35	11.54	7.68	3.86	37.295	62.71	65.76	
	10.86	11.82	7.85	3.97	36.556	63.44	66.52	
Rallado								
12:00	20.11	14.8	7.42	7.38	36.698	63.30	66.37	68.22
12:00	21.21	13.45	8.74	4.71	22.207	77.79	81.33	
1:00	20.98	13.38	8.3	5.08	24.214	75.79	79.26	
1:00	18.45	15.48	8.11	7.37	39.946	60.05	63.02	
1:30	17.75	15.2	8.3	6.9	38.873	61.13	64.13	
1:30	20.04	16.53	8.71	7.82	39.022	60.98	63.97	
2:00	21.5	16	7.61	8.39	39.023	60.98	63.97	
2:00	21.51	16.71	8.26	8.45	39.284	60.72	63.70	
Secador 1								
12:00	16.28	14.38	7.53	6.85	42.076	57.92	60.82	58.72
12:00	16.51	15.6	8.63	6.97	42.217	57.78	60.68	
12:30	15.21	15	8.72	6.28	41.289	58.71	61.63	
12:30	15.89	14.87	8.22	6.65	41.850	58.15	61.05	
1:00	14.12	14.31	8.18	6.13	43.414	56.59	59.44	
1:00	14.13	13.91	7.74	6.17	43.666	56.33	59.18	
1:30	13	14.01	7.83	6.18	47.538	52.46	55.18	
1:30	13.24	14.93	8.71	6.22	46.979	53.02	55.76	
2:00	15.1	14.65	7.71	6.94	45.960	54.04	56.81	
2:00	14.94	14.76	7.95	6.81	46.138	53.86	56.63	
Secador 2								
12:00	20.69	15.19	7.92	7.27	35.138	64.86	67.98	54.25
12:00	19.63	18.97	7.94	11.03	56.190	43.81	46.25	
12:30	15.66	16.62	8.61	8.01	51.149	48.85	51.46	
12:30	15.47	15.48	7.73	7.75	50.097	49.90	52.54	
1:00	16.41	15.45	7.83	7.62	46.435	53.56	56.32	
1:00	17.23	16.33	8.31	8.02	46.547	53.45	56.21	
1:30	14.62	14.8	7.66	7.14	48.837	51.16	53.84	
1:30	14.29	14.67	7.67	7	48.985	51.01	53.69	
2:00	14.14	14.94	7.81	7.13	50.424	49.58	52.20	
2:00	14.68	15.73	8.3	7.43	50.613	49.39	52.01	

Neumatico

12:00	10.37	15.12	8.61	6.51	62.777	37.22	39.45	
12:00	10.44	15.14	8.59	6.55	62.739	37.26	39.49	
12:30	10.25	14.28	8.11	6.17	60.195	39.80	42.12	
12:30	10.55	13.83	7.69	6.14	58.199	41.80	44.18	
1:00	10.68	14.03	8.48	5.55	51.966	48.03	50.61	
1:00	10.26	13.39	8.04	5.35	52.144	47.86	50.43	
1:30	10.06	15.1	8.68	6.42	63.817	36.18	38.38	
1:30	10.07	14.62	8.19	6.43	63.853	36.15	38.34	
2:00	10.25	14.83	8.31	6.52	63.610	36.39	38.59	
2:00	10.26	15.31	8.69	6.62	64.522	35.48	37.65	41.93

Secador 3

12:00	6.45	14.23	8.32	5.91	91.628	8.37	9.67	
12:00	6.28	13.83	8.07	5.76	91.720	8.28	9.58	
12:30	6.16	12.86	8.02	4.84	78.571	21.43	23.15	
12:30	6.34	13.3	8.28	5.02	79.180	20.82	22.52	
1:00	8.14	14	8.57	5.43	66.708	33.29	35.40	
1:00	8.41	14.33	8.72	5.61	66.706	33.29	35.40	
1:30	7.73	13.58	7.73	5.85	75.679	24.32	26.14	
1:30	6.2	12.24	7.52	4.72	76.129	23.87	25.67	
2:00	6.48	12.99	7.37	5.62	86.728	13.27	14.73	
2:00	6.14	13.05	7.71	5.34	86.971	13.03	14.48	21.67

Final

12:00	10.61	18.42	8.3	10.12	95.382	4.62	5.80	
12:00	10.31	17.17	7.31	9.86	95.635	4.36	5.54	
12:30	10.17	18.37	8.72	9.65	94.887	5.11	6.31	
12:30	10.08	17.26	7.71	9.55	94.742	5.26	6.46	
1:00	10.25	15.38	8.19	7.19	70.146	29.85	31.85	
1:00	10.27	15.81	8.61	7.2	70.107	29.89	31.89	
1:30	10.58	17.27	8.09	9.18	86.767	13.23	14.69	
1:30	10.53	17.09	7.92	9.17	87.085	12.92	14.36	
2:00	10.22	16.68	7.31	9.37	91.683	8.32	9.62	
2:00	10.21	17.68	8.29	9.39	91.969	8.03	9.32	13.58

Prueba: 24

Ident.	Muestra -M- (gr)	M.seca+C (gr)	Crisol -C- (gr)	M. seca (gr)	ms (%)	Humedad(%)	Corr. (%)	Prom.
9:00	11.46	12.15	7.68	4.47	39.01	60.99	63.99	
9:30	10.48	12.17	7.86	4.31	41.13	58.87	61.80	
9:30	10.92	11.85	7.42	4.43	40.57	59.43	62.38	
10:00	11.15	12.51	8.12	4.39	39.37	60.63	63.61	
10:00	11.39	12.73	8.28	4.45	39.07	60.93	63.92	
10:30	10.57	12.37	8.22	4.15	39.26	60.74	63.73	
10:30	11.05	12.52	8.17	4.35	39.37	60.63	63.62	
11:00	11.47	12.31	7.72	4.59	40.02	59.98	62.95	
11:00	11.38	12.33	7.83	4.5	39.54	60.46	63.44	
11:30	10.6	12.41	8.05	4.36	41.13	58.87	61.80	
11:30	10.69	12.95	8.67	4.28	40.04	59.96	62.93	
12:00	10.49	11.73	7.53	4.2	40.04	59.96	62.92	
12:00	10.26	11.44	7.37	4.07	39.67	60.33	63.31	63.11
Secador 1								
9:30	10.21	13.31	8.75	4.56	44.66	55.34	58.15	
9:30	10.5	13.04	8.28	4.76	45.33	54.67	57.46	
10:00	10.22	13.23	8.72	4.51	44.13	55.87	58.70	
10:00	10.51	12.29	7.61	4.68	44.53	55.47	58.29	
10:30	10.42	12.9	7.74	5.16	49.52	50.48	53.14	
10:30	10.59	13.09	7.84	5.25	49.58	50.42	53.08	
11:00	10.75	13.31	8.33	4.98	46.33	53.67	56.43	
11:00	10.46	12.49	7.65	4.84	46.27	53.73	56.49	
11:30	10.91	13.51	8.18	5.33	48.85	51.15	53.82	
11:30	10.88	13.65	8.32	5.33	48.99	51.01	53.69	
12:00	10.39	12.39	7.72	4.67	44.95	55.05	57.86	
12:00	10.71	13.15	8.3	4.85	45.28	54.72	57.51	56.22
Secador 2								
10:00	10.59	13.7	8.26	5.44	51.37	48.63	51.23	
10:00	10.23	12.63	7.53	5.1	49.85	50.15	52.79	
10:30	10.2	13.11	8.2	4.91	48.14	51.86	54.56	
10:30	10.27	12.75	7.71	5.04	49.07	50.93	53.60	
11:00	10.87	13.13	7.67	5.46	50.23	49.77	52.40	
11:00	10.65	13.16	7.81	5.35	50.23	49.77	52.40	
11:30	10.48	14.17	8.68	5.49	52.39	47.61	50.18	
11:30	10.89	13.94	8.32	5.62	51.61	48.39	50.98	
12:00	10.3	12.84	7.31	5.53	53.69	46.31	48.83	
12:00	10.29	12.81	7.31	5.5	53.45	46.55	49.08	51.61

Neumatico

10:00	10.44	15.46	8.63	6.83	65.42	34.58	36.72	
10:00	10.52	15.47	8.71	6.76	64.26	35.74	37.92	
10:30	10.52	14.34	7.96	6.38	60.65	39.35	41.65	
10:30	10.09	14.04	7.96	6.08	60.26	39.74	42.05	
11:00	10.35	14.71	8.31	6.4	61.84	38.16	40.42	
11:00	10.26	14.88	8.6	6.28	61.21	38.79	41.07	
11:30	10.28	14.42	8.08	6.34	61.67	38.33	40.59	
11:30	10.52	14.34	8.01	6.33	60.17	39.83	42.14	
12:00	10.18	15.03	8.3	6.73	66.11	33.89	36.01	
12:00	10.09	14.78	8.08	6.7	66.40	33.60	35.71	39.43

Secador 3

10:30	10.32	15.34	7.94	7.4	71.71	28.29	30.24	
10:30	10.51	16.16	8.62	7.54	71.74	28.26	30.20	
11:00	10.52	16.65	8.6	8.05	76.52	23.48	25.27	
11:00	10.69	16.37	8.11	8.26	77.27	22.73	24.50	
11:30	10.39	16.47	8.28	8.19	78.83	21.17	22.89	
11:30	10.17	16.56	8.56	8	78.66	21.34	23.06	
12:00	10.38	16.56	7.93	8.63	83.14	16.86	18.43	
12:00	10.26	17.13	8.71	8.42	82.07	17.93	19.54	24.27

Final

11:00	10.61	17.08	7.97	9.11	85.86	14.14	15.62	
11:00	10.66	17.65	8.48	9.17	86.02	13.98	15.46	
11:30	10.24	17.72	8.72	9	87.89	12.11	13.53	
11:30	10.64	17.09	7.72	9.37	88.06	11.94	13.35	
12:00	10.65	17.9	8.62	9.28	87.14	12.86	14.31	
12:00	10.89	18.2	8.72	9.48	87.05	12.95	14.40	
12:00	10.44	16.72	7.67	9.05	86.69	13.31	14.77	
12:00	10.15	17.32	8.5	8.82	86.90	13.10	14.56	14.50

Prueba: 25

Ident.	Muestra -M- (gr)	M.seca+C (gr)	Crisol -C- (gr)	M. seca (gr)	ms (%)	Humedad(%)	Corr. (%)	Prom.
9:00	20.75	14.71	8.08	6.63	31.95	68.05	71.27	
9:00	20.47	13.93	7.68	6.25	30.53	69.47	72.74	
9:30	20.90	15.41	8.18	7.23	34.59	65.41	68.54	
9:30	23.66	16.80	8.75	8.05	34.02	65.98	69.13	
10:00	14.62	12.87	8.15	4.72	32.28	67.72	70.93	
10:00	20.90	14.71	8.01	6.70	32.06	67.94	71.16	
10:30	24.93	17.26	8.72	8.54	34.26	65.74	68.89	
10:30	18.54	15.29	8.70	6.59	35.54	64.46	67.56	
11:00	22.58	15.89	8.61	7.28	32.24	67.76	70.97	
11:00	26.85	16.58	8.06	8.52	31.73	68.27	71.50	
11:30	22.64	15.37	7.96	7.41	32.73	67.27	70.47	
11:30	21.05	15.01	8.07	6.94	32.97	67.03	70.22	70.28
Secador 1								
10:00	15.64	14.86	8.60	6.26	40.03	59.97	62.94	
10:00	17.24	14.88	8.01	6.87	39.85	60.15	63.12	
10:30	17.46	14.15	7.55	6.60	37.80	62.20	65.23	
10:30	16.20	13.60	7.43	6.17	38.09	61.91	64.94	
11:00	15.76	14.43	7.98	6.45	40.93	59.07	62.01	
11:00	17.53	15.84	8.75	7.09	40.44	59.56	62.50	
11:30	13.35	13.89	8.67	5.22	39.10	60.90	63.89	
11:30	17.29	14.60	7.72	6.88	39.79	60.21	63.18	
12:00	11.53	12.09	7.72	4.37	37.90	62.10	65.13	
12:00	11.50	12.20	7.78	4.42	38.43	61.57	64.58	
12:30	10.19	12.00	7.73	4.27	41.90	58.10	61.00	
12:30	10.58	11.77	7.42	4.35	41.12	58.88	61.81	
1:00	10.16	13.70	8.61	5.09	50.10	49.90	52.54	
1:00	10.47	13.92	8.68	5.24	50.05	49.95	52.59	
1:30	10.16	12.03	7.62	4.41	43.41	56.59	59.45	
1:30	10.24	12.49	8.03	4.46	43.55	56.45	59.29	
2:00	10.55	12.59	8.14	4.45	42.18	57.82	60.71	
2:00	10.56	13.13	8.66	4.47	42.33	57.67	60.56	
2:30	10.51	12.68	8.31	4.37	41.58	58.42	61.33	
2:30	10.54	12.44	8.08	4.36	41.37	58.63	61.55	61.42
Secador 2								
10:30	14.45	14.43	7.34	7.09	49.07	50.93	53.61	
10:30	15.15	15.47	8.05	7.42	48.98	51.02	53.70	
11:00	11.40	11.59	6.39	5.20	45.61	54.39	57.17	
11:00	12.08	13.10	7.61	5.49	45.45	54.55	57.34	
11:30	14.81	14.61	7.63	6.98	47.13	52.87	55.60	
11:30	16.29	16.31	8.64	7.67	47.08	52.92	55.65	
12:00	10.63	12.88	7.92	4.96	46.66	53.34	56.09	
12:00	10.66	13.17	8.17	5.00	46.90	53.10	55.84	
12:30	10.53	12.67	7.81	4.86	46.15	53.85	56.61	
12:30	10.46	12.84	8.05	4.79	45.79	54.21	56.98	
1:00	10.39	12.91	8.29	4.62	44.47	55.53	58.35	
1:00	10.35	13.14	8.55	4.59	44.35	55.65	58.48	
1:30	10.63	13.06	7.92	5.14	48.35	51.65	54.34	

1:30	10.28	13.65	8.64	5.01	48.74	51.26	53.95	
2:00	10.46	13.48	8.07	5.41	51.72	48.28	50.87	
2:00	10.37	13.67	8.32	5.35	51.59	48.41	51.00	
2:30	10.34	13.06	7.97	5.09	49.23	50.77	53.44	
2:30	10.62	13.43	8.18	5.25	49.44	50.56	53.22	55.12
Secador 3								
11:00	10.48	15.93	8.05	7.88	75.19	24.81	26.64	
11:00	8.98	14.56	7.81	6.75	75.17	24.83	26.66	
11:30	8.87	14.96	8.00	6.96	78.47	21.53	23.26	
11:30	9.25	14.58	7.40	7.18	77.62	22.38	24.13	
12:00	10.51	15.91	8.63	6.42	60.80	39.20	41.50	
12:00	10.65	14.71	7.30	6.44	61.16	38.84	41.12	
12:30	10.56	18.80	12.38	6.42	60.80	39.20	41.50	
12:30	10.53	14.32	7.88	6.44	61.16	38.84	41.12	
1:00	10.76	13.89	7.32	6.57	61.06	38.94	41.23	
1:00	10.26	13.79	7.41	6.38	62.18	37.82	40.07	
1:30	10.20	17.19	8.63	8.56	83.92	16.08	17.63	
1:30	10.65	16.64	7.74	8.90	83.57	16.43	17.99	
2:00	10.61	17.31	8.03	9.28	87.46	12.54	13.97	
2:00	10.78	16.90	7.43	9.47	87.85	12.15	13.58	
2:30	10.71	17.92	8.72	9.20	85.90	14.10	15.58	
2:30	10.79	17.55	8.29	9.26	85.82	14.18	15.67	27.60
Neumatico								
11:00	11.51	14.93	8.06	6.87	59.69	40.31	42.64	
11:00	9.66	13.82	8.06	5.76	59.63	40.37	42.70	
11:30	9.28	13.22	7.67	5.55	59.81	40.19	42.52	
11:30	9.17	14.16	8.64	5.52	60.20	39.80	42.12	
12:00	10.75	13.30	7.73	5.57	51.81	48.19	50.77	
12:00	10.79	13.32	7.78	5.54	51.34	48.66	51.25	
1:00	10.33	13.49	8.38	5.11	49.47	50.53	53.19	
1:00	10.16	13.32	8.32	5.00	49.21	50.79	53.45	
1:30	10.15	15.09	8.56	6.53	64.33	35.67	37.85	
1:30	10.89	15.20	8.17	7.03	64.55	35.45	37.62	
2:00	10.45	14.55	7.43	7.12	68.13	31.87	33.92	
2:00	10.58	15.97	8.61	7.36	69.57	30.43	32.45	
2:30	10.23	14.92	8.27	6.65	65.00	35.00	37.15	
2:30	10.23	14.94	8.30	6.64	64.91	35.09	37.25	42.49
Final								
12:00	10.05	16.21	8.14	8.07	80.30	19.70	21.37	
12:00	10.13	15.91	7.74	8.17	80.65	19.35	21.00	
12:30	10.54	14.42	7.60	6.82	64.71	35.29	37.46	
12:30	10.10	13.93	7.43	6.50	64.36	35.64	37.82	
1:00	10.26	16.17	9.03	7.14	69.59	30.41	32.42	
1:00	10.43	14.49	7.31	7.18	68.84	31.16	33.20	
1:30	10.50	16.99	7.96	9.03	86.00	14.00	15.48	
1:30	10.12	17.32	8.61	8.71	86.07	13.93	15.41	
2:00	10.42	17.77	8.09	9.68	92.90	7.10	8.36	
2:00	10.55	17.86	8.10	9.76	92.51	7.49	8.76	
2:30	10.35	17.21	7.64	9.57	92.46	7.54	8.81	
2:30	10.14	16.93	7.54	9.39	92.60	7.40	8.67	20.73

Prueba: 26

Ident.	Muestra -M- (gr)	M.seca+C (gr)	Crisol -C- (gr)	M. seca (gr)	ms (%)	Humedad(%)	Corr. (%)	Prom.
	20.89	15.10	8.18	6.92	33.13	66.87	70.06	
	20.23	15.48	8.13	7.35	36.33	63.67	66.75	
	20.60	17.11	9.72	7.39	35.87	64.13	67.22	
	21.02	15.61	7.55	8.06	38.34	61.66	64.67	67.18
Secador 1								
10:20	20.04	16.78	8.10	8.68	43.31	56.69	59.54	
10:20	20.35	17.27	8.28	8.99	44.18	55.82	58.65	
10:50	20.08	16.96	8.27	8.69	43.28	56.72	59.58	
10:50	20.84	16.58	7.52	9.06	43.47	56.53	59.38	
11:20	20.38	17.03	8.19	8.84	43.38	56.62	59.48	
11:20	20.55	16.84	7.69	9.15	44.53	55.47	58.29	
11:50	20.38	16.86	7.67	9.19	45.09	54.91	57.71	
11:50	20.11	16.87	7.80	9.07	45.10	54.90	57.70	
12:20	20.17	17.80	8.68	9.12	45.22	54.78	57.58	
12:20	20.41	17.55	8.32	9.23	45.22	54.78	57.57	
12:50	20.33	16.34	7.31	9.03	44.42	55.58	58.40	
12:50	20.06	16.26	7.31	8.95	44.62	55.38	58.20	58.51
Secador 2								
10:50	10.84	14.13	8.64	5.49	50.65	49.35	51.98	
10:50	10.94	14.13	8.71	5.42	49.54	50.46	53.11	
11:20	20.08	17.96	7.95	10.01	49.85	50.15	52.80	
11:20	20.77	18.43	7.99	10.44	50.26	49.74	52.37	
11:50	15.35	15.84	8.30	7.54	49.12	50.88	53.55	
11:50	15.66	16.19	8.60	7.59	48.47	51.53	54.22	
12:20	15.35	15.73	8.08	7.65	49.84	50.16	52.81	
12:20	15.16	15.50	8.01	7.49	49.41	50.59	53.25	
12:50	15.29	15.91	8.29	7.62	49.84	50.16	52.81	
12:50	15.41	15.76	8.07	7.69	49.90	50.10	52.74	52.96
Neumatico								
10:50	10.71	15.15	8.21	6.94	64.80	35.20	37.37	
10:50	10.55	15.04	8.18	6.86	65.02	34.98	37.13	
11:20	15.18	17.59	7.95	9.64	63.50	36.50	38.70	
11:20	15.82	18.41	8.60	9.81	62.01	37.99	40.24	
11:50	15.31	17.45	8.60	8.85	57.81	42.19	44.59	
11:50	15.45	17.04	8.11	8.93	57.80	42.20	44.59	
12:20	15.16	17.18	8.74	8.44	55.67	44.33	46.79	
12:20	15.15	17.00	8.55	8.45	55.78	44.22	46.68	
12:50	15.49	17.03	7.92	9.11	58.81	41.19	43.55	
12:50	15.39	17.61	8.71	8.90	57.83	42.17	44.56	42.42

Secador 3

11:20	10.57	15.90	7.72	8.18	77.39	22.61	24.37	
11:20	10.43	15.91	7.83	8.08	77.47	22.53	24.29	
11:50	10.62	15.66	7.97	7.69	72.41	27.59	29.51	
11:50	10.30	16.05	8.48	7.57	73.50	26.50	28.39	
12:20	10.85	16.99	8.73	8.26	76.13	23.87	25.67	
12:20	10.65	15.81	7.72	8.09	75.96	24.04	25.84	
12:50	10.82	16.92	8.61	8.31	76.80	23.20	24.98	
12:50	10.12	16.49	8.72	7.77	76.78	23.22	25.00	26.01
Final								
11:50	10.67	16.84	8.04	8.80	82.47	17.53	19.12	
11:50	10.27	17.17	8.68	8.49	82.67	17.33	18.92	
12:20	10.72	16.55	7.53	9.02	84.14	15.86	17.40	
12:20	10.23	15.96	7.37	8.59	83.97	16.03	17.58	
12:50	10.39	16.58	7.72	8.86	85.27	14.73	16.23	
12:50	10.27	16.79	8.06	8.73	85.00	15.00	16.51	
1:20	10.07	17.11	8.30	8.81	87.49	12.51	13.95	
1:20	10.79	16.97	7.53	9.44	87.49	12.51	13.95	16.71

Prueba: 27

Ident.	Muestra -M- (gr)	M.seca+C (gr)	Crisol -C- (gr)	M. seca (gr)	ms (%)	Humedad(%)	Corr. (%)	Prom.
	20.22	15.80	8.18	7.62	37.69	62.31	65.35	
	12.14	12.42	8.14	4.28	35.26	64.74	67.86	
	12.70	14.12	9.72	4.40	34.65	65.35	68.49	
	12.01	12.51	7.55	4.96	41.30	58.70	61.62	
	10.40	12.55	8.28	4.27	41.06	58.94	61.87	
	10.38	11.97	8.11	3.86	37.19	62.81	65.87	
	10.56	12.06	8.29	3.77	35.70	64.30	67.40	65.50
Secador 1								
9:45	20.61	17.81	8.64	9.17	44.49	55.51	58.33	
9:45	20.49	17.87	8.71	9.16	44.70	55.30	58.11	
10:15	20.52	16.64	7.74	8.90	43.37	56.63	59.48	
10:15	20.80	16.88	7.83	9.05	43.51	56.49	59.34	
10:45	20.33	16.36	7.73	8.63	42.45	57.55	60.44	
10:45	20.90	16.65	7.83	8.82	42.20	57.80	60.69	
11:15	20.40	16.45	7.99	8.46	41.47	58.53	61.45	
11:15	20.45	17.03	8.48	8.55	41.81	58.19	61.10	
11:45	20.14	17.17	8.72	8.45	41.96	58.04	60.94	
11:45	20.31	16.21	7.72	8.49	41.80	58.20	61.10	
12:15	20.41	17.81	7.92	9.89	48.46	51.54	54.23	
12:15	20.33	18.79	8.71	10.08	49.58	50.42	53.07	59.02
Secador 2								
10:15	15.09	15.88	8.20	7.68	50.89	49.11	51.72	
10:15	15.12	15.44	7.70	7.74	51.19	48.81	51.41	
10:45	15.39	16.20	8.32	7.88	51.20	48.80	51.40	
10:45	15.32	15.27	7.65	7.62	49.74	50.26	52.91	
11:15	20.15	17.31	8.05	9.26	45.96	54.04	56.82	
11:15	20.23	18.02	8.67	9.35	46.22	53.78	56.55	
11:45	20.88	17.14	7.53	9.61	46.02	53.98	56.74	
11:45	20.82	17.01	7.37	9.64	46.30	53.70	56.46	
12:15	20.64	18.00	8.60	9.40	45.54	54.46	57.24	
12:15	20.82	18.15	8.72	9.43	45.29	54.71	57.50	54.88
Neumatico								
10:15	10.75	14.70	7.96	6.74	62.70	37.30	39.54	
10:15	10.11	14.27	7.97	6.30	62.31	37.69	39.93	
10:45	10.33	13.61	7.67	5.94	57.50	42.50	44.90	
10:45	10.46	13.82	7.80	6.02	57.55	42.45	44.85	
11:15	15.33	16.82	8.18	8.64	56.36	43.64	46.08	
11:15	15.16	16.08	8.30	7.78	51.32	48.68	51.28	
11:45	10.73	13.45	7.72	5.73	53.40	46.60	49.13	
11:45	10.81	14.03	8.29	5.74	53.10	46.90	49.44	
12:15	20.39	17.79	7.72	10.07	49.39	50.61	53.27	
12:15	20.74	18.27	8.05	10.22	49.28	50.72	53.39	47.18

Secador 3

10:45	10.63	15.52	8.30	7.22	67.92	32.08	34.14	
10:45	10.36	15.80	8.60	7.20	69.50	30.50	32.52	
11:15	10.86	15.54	8.68	6.86	63.17	36.83	39.05	
11:15	10.32	14.94	8.32	6.62	64.15	35.85	38.04	
11:45	15.57	16.91	7.31	9.60	61.66	38.34	40.61	
11:45	15.23	16.74	7.30	9.44	61.98	38.02	40.27	
12:15	15.73	18.33	8.31	10.02	63.70	36.30	38.50	
12:15	15.40	17.32	7.52	9.80	63.64	36.36	38.57	37.71
Final								
11:15	10.62	15.65	8.08	7.57	71.28	28.72	30.68	
11:15	10.21	15.27	8.01	7.26	71.11	28.89	30.86	
11:45	10.80	15.97	8.29	7.68	71.11	28.89	30.85	
11:45	10.33	15.42	8.07	7.35	71.15	28.85	30.81	
12:15	10.68	15.74	8.38	7.36	68.91	31.09	33.12	
12:15	10.70	15.03	7.72	7.31	68.32	31.68	33.73	31.67

Prueba: 30

Ident.	Muestra -M- (gr)	M.seca+C (gr)	Crisol -C- (gr)	M. seca (gr)	ms (%)	Humedad(%)	Corr. (%)	Prom.
9:00	10.26	12.22	8.12	4.10	40.01	59.99	62.95	
9:00	12.35	13.62	8.62	5.00	40.52	59.48	62.43	
9:45	11.28	12.97	8.31	4.66	41.31	58.69	61.61	
9:45	10.06	12.03	7.91	5.00	40.52	59.48	62.43	
10:15	12.00	12.78	7.86	4.66	41.31	58.69	61.61	
10:15	12.67	12.91	7.69	4.12	49.74	59.48	62.43	62.24
Secador 1								
10:15	10.94	13.76	8.69	5.07	46.38	53.62	56.37	
10:15	10.68	12.38	7.42	4.96	46.40	53.60	56.36	
10:45	11.16	14.01	8.61	5.40	48.39	51.61	54.31	
10:45	12.69	14.73	8.61	6.12	48.23	51.77	54.47	
11:15	11.03	13.83	8.65	5.18	46.96	53.04	55.78	
11:15	12.89	14.38	8.30	6.08	47.19	52.81	55.55	
11:50	12.02	13.53	7.42	6.11	50.83	49.17	51.78	
11:50	12.45	14.96	8.72	6.24	50.12	49.88	52.52	
12:20	11.88	13.39	7.43	5.96	50.16	49.84	52.48	
12:20	11.43	14.40	8.64	5.76	50.39	49.61	52.24	
12:45	11.84	13.58	7.96	5.62	47.47	52.53	55.26	
12:45	11.34	14.04	8.66	5.38	47.44	52.56	55.28	
1:15	10.22	11.14	6.40	4.74	46.34	53.66	56.42	
1:15	10.98	13.69	8.66	5.03	45.81	54.19	56.97	
1:45	12.36	13.63	7.55	6.08	49.19	50.81	53.48	
1:45	12.66	14.22	7.98	6.24	49.29	50.71	53.38	54.54
Secador 2								
10:45	10.81	13.73	8.03	5.70	52.73	47.27	49.82	
10:45	11.83	14.14	7.97	6.17	52.16	47.84	50.42	
11:15	12.52	13.87	7.32	6.55	52.30	47.70	50.27	
11:15	12.49	14.86	8.33	6.53	52.29	47.71	50.27	
11:50	11.94	15.05	8.29	6.76	56.62	43.38	45.81	
11:50	11.33	14.75	8.28	6.47	57.11	42.89	45.31	
12:20	10.58	14.21	8.09	6.12	57.80	42.20	44.59	
12:20	10.32	14.26	8.28	5.98	57.96	42.04	44.43	
12:45	10.61	13.51	7.62	5.89	55.48	44.52	46.98	
12:45	10.81	14.67	8.64	6.03	55.83	44.17	46.63	
1:15	11.54	14.06	7.73	6.33	54.87	45.13	47.61	
1:15	10.64	13.45	7.62	5.83	54.84	45.16	47.65	
1:45	11.02	14.64	8.68	5.96	54.08	45.92	48.43	
1:45	12.09	14.08	7.43	6.65	55.00	45.00	47.48	47.55

Neumatico

10:45	10.25	14.63	8.23	6.40	62.44	37.56	39.80	
10:45	10.99	15.55	8.73	6.82	62.07	37.93	40.18	
11:15	10.66	15.66	8.56	7.10	66.60	33.40	35.51	
11:15	10.50	16.00	9.03	6.97	66.34	33.66	35.77	
11:50	10.18	15.65	7.65	8.00	78.59	21.41	23.14	
11:50	10.47	16.91	8.68	8.23	78.61	21.39	23.12	
12:20	10.09	15.86	8.72	7.14	70.75	29.25	31.22	
12:20	11.18	16.14	8.18	7.96	71.19	28.81	30.77	
12:45	10.24	15.55	8.18	7.37	71.99	28.01	29.95	
12:45	10.36	15.99	8.57	7.43	71.67	28.33	30.27	
1:15	10.16	14.40	7.62	6.78	66.75	33.25	35.35	
1:15	10.19	14.91	8.06	6.85	67.22	32.78	34.86	
1:45	10.42	15.97	7.96	8.01	76.87	23.13	24.91	
1:45	10.62	16.18	8.60	7.58	71.37	28.63	30.58	31.82

Secador 3

11:15	11.09	16.30	7.42	8.88	80.11	19.89	21.57	
11:15	10.75	15.80	7.31	8.49	79.00	21.00	22.70	
11:50	10.73	17.63	8.19	9.44	87.96	12.04	13.46	
11:50	10.03	17.46	8.61	8.85	88.24	11.76	13.18	
12:20	10.38	17.52	8.15	9.37	90.25	9.75	11.09	
12:20	10.32	17.26	8.01	9.25	89.60	10.40	11.77	
12:45	10.96	18.02	8.61	9.41	85.86	14.14	15.63	
12:45	10.77	17.35	8.08	9.27	86.07	13.93	15.41	
1:15	10.04	16.39	8.05	8.34	83.07	16.93	18.51	
1:15	10.67	16.92	8.01	8.91	83.51	16.49	18.06	
1:45	10.16	16.77	8.05	8.72	85.83	14.17	15.66	
1:45	11.45	17.97	8.01	9.96	86.99	13.01	14.46	15.96

Final

11:50	12.56	20.64	8.32	12.32	98.09	1.91	3.00	
11:50	12.20	19.46	7.55	11.91	97.62	2.38	3.49	
12:20	10.74	19.62	9.05	10.57	98.40	1.60	2.69	
12:20	10.85	18.65	8.02	10.63	97.97	2.03	3.12	
12:45	11.90	19.92	8.67	11.25	94.54	5.46	6.67	
12:45	11.78	19.42	8.18	11.24	95.42	4.58	5.76	
1:15	10.35	17.59	7.82	9.77	94.37	5.63	6.84	
1:15	10.39	17.14	7.34	9.80	94.32	5.68	6.89	
1:45	11.50	19.93	8.76	11.17	97.13	2.87	3.99	
1:45	10.26	18.04	8.08	9.96	97.08	2.92	4.05	4.65

Prueba: 31

Ident.	Muestra -M- (gr)	M.seca+C (gr)	Crisol -C- (gr)	M. seca (gr)	ms (%)	Humedad(%)	Corr. (%)	Prom.
10:15	15.40	13.30	8.00	5.30	34.42	65.58	68.73	
10:15	15.50	13.10	7.70	5.40	34.84	65.16	68.29	
10:45	11.10	11.70	7.40	4.30	38.74	61.26	64.27	
10:45	11.10	11.80	7.50	4.30	38.74	61.26	64.27	
11:15	10.50	12.40	8.50	3.90	37.14	62.86	65.91	
11:15	10.80	12.80	8.70	4.10	37.96	62.04	65.07	66.09
Secador 1								
10:45	10.10	12.20	7.70	4.50	44.55	55.45	58.26	
10:45	10.40	13.30	8.50	4.80	46.15	53.85	56.61	
11:15	10.20	13.10	8.70	4.40	43.14	56.86	59.73	
11:15	10.20	13.10	8.60	4.50	44.12	55.88	58.71	
11:45	10.30	11.90	7.30	4.60	44.66	55.34	58.15	
11:45	10.60	12.50	7.70	4.80	45.28	54.72	57.51	
12:15	11.60	13.20	8.10	5.10	43.97	56.03	58.87	
12:15	12.00	13.00	7.70	5.30	44.17	55.83	58.66	
12:45	10.50	13.70	8.60	5.10	48.57	51.43	54.12	
12:45	10.60	13.20	8.10	5.10	48.11	51.89	54.59	
1:20	11.60	13.60	8.10	5.50	47.41	52.59	55.31	
1:20	11.90	14.20	8.60	5.60	47.06	52.94	55.68	57.18
Secador 2								
11:15	12.40	14.20	7.70	6.50	52.42	47.58	50.14	
11:15	12.80	14.20	7.40	6.80	53.13	46.88	49.42	
11:45	12.00	13.90	8.10	5.80	48.33	51.67	54.36	
11:45	12.10	14.60	8.70	5.90	48.76	51.24	53.92	
12:15	11.30	13.90	8.10	5.80	51.33	48.67	51.27	
12:15	11.40	13.90	8.20	5.70	50.00	50.00	52.64	
12:45	11.50	14.40	8.60	5.80	50.43	49.57	52.19	
12:45	11.30	14.00	8.20	5.80	51.33	48.67	51.27	
1:20	11.10	13.90	8.00	5.90	53.15	46.85	49.39	
1:20	11.70	14.00	7.80	6.20	52.99	47.01	49.55	
1:50	11.10	14.10	8.30	5.80	52.25	47.75	50.32	
1:50	11.40	14.20	8.30	5.90	51.75	48.25	50.83	51.28
Neumatico								
11:15	10.30	15.60	8.60	7.00	67.96	32.04	34.10	
11:15	10.60	15.90	8.70	7.20	67.92	32.08	34.14	
11:45	12.20	15.00	8.20	6.80	55.74	44.26	46.72	
11:45	12.00	15.00	8.40	6.60	55.00	45.00	47.48	
12:15	10.20	14.80	8.60	6.20	60.78	39.22	41.51	
12:15	10.90	15.20	8.70	6.50	59.63	40.37	42.70	
12:45	11.80	14.80	7.90	6.90	58.47	41.53	43.89	
12:45	11.20	14.70	8.20	6.50	58.04	41.96	44.35	
1:20	11.80	15.30	8.10	7.20	61.02	38.98	41.27	
1:20	11.80	16.10	8.60	7.50	63.56	36.44	38.65	
1:50	10.90	15.40	7.80	7.60	69.72	30.28	32.28	
1:50	10.50	15.90	8.60	7.30	69.52	30.48	32.49	39.97
Secador 3								
11:45	12.60	17.10	8.70	8.40	66.67	33.33	35.44	

11:45	12.50	16.80	8.50	8.30	66.40	33.60	35.71	
12:15	11.00	16.10	7.70	8.40	76.36	23.64	25.43	
12:15	11.30	16.40	7.90	8.50	75.22	24.78	26.61	
12:45	10.40	16.00	8.30	7.70	74.04	25.96	27.83	
12:45	10.20	13.70	8.10	5.60	54.90	45.10	47.58	
1:20	12.50	17.40	7.30	10.10	80.80	19.20	20.85	
1:20	12.50	18.50	8.40	10.10	80.80	19.20	20.85	
1:50	11.10	16.50	7.40	9.10	81.98	18.02	19.63	
1:50	11.40	18.00	8.60	9.40	82.46	17.54	19.14	
2:15	10.50	20.30	11.90	8.40	80.00	20.00	21.68	
2:15	11.30	16.30	7.30	9.00	79.65	20.35	22.04	26.90
Final								
12:15	10.30	16.50	7.80	8.70	84.47	15.53	17.07	
12:15	10.70	17.10	7.90	9.20	85.98	14.02	15.50	
12:45	10.90	17.60	8.70	8.90	81.65	18.35	19.97	
12:45	10.40	16.60	8.00	8.60	82.69	17.31	18.90	
1:20	11.20	18.80	8.70	10.10	90.18	9.82	11.17	
1:20	11.30	17.50	7.20	10.30	91.15	8.85	10.17	
1:50	11.80	19.10	8.20	10.90	92.37	7.63	8.90	
1:50	11.20	18.10	7.80	10.30	91.96	8.04	9.33	
2:15	10.30	17.80	8.60	9.20	89.32	10.68	12.06	
2:15	10.70	18.20	8.70	9.50	88.79	11.21	12.61	
2:45	12.20	19.00	8.50	10.50	86.07	13.93	15.41	
2:45	11.60	18.30	8.30	10.00	86.21	13.79	15.27	13.86

Prueba: 32

Ident.	Muestra -M- (gr)	M.seca+C (gr)	Crisol -C- (gr)	M. seca (gr)	ms (%)	Humedad(%)	Corr. (%)	Prom.
10:30	8.70	11.40	13.30	4.60	40.35	59.65	62.60	
10:30	8.60	11.80	13.40	4.80	40.68	59.32	62.26	
11:30	8.30	15.80	14.70	6.40	40.51	59.49	62.44	
11:30	7.50	15.10	14.10	6.60	43.71	56.29	59.14	
12:30	8.60	15.70	14.80	6.20	39.49	60.51	63.49	
12:30	8.70	15.60	15.00	6.30	40.38	59.62	62.57	62.08
Secador 1								
12:00	7.20	15.20	14.70	7.50	49.34	50.66	53.32	
12:00	8.30	15.40	15.90	7.60	49.35	50.65	53.31	
12:30	8.60	15.20	15.80	7.20	47.37	52.63	55.36	
12:30	8.10	15.40	15.30	7.20	46.75	53.25	55.99	
1:00	8.70	11.40	14.30	5.60	49.12	50.88	53.55	
1:00	8.80	11.70	14.50	5.70	48.72	51.28	53.97	
1:30	8.70	10.80	13.70	5.00	46.30	53.70	56.46	
1:30	8.30	10.80	13.30	5.00	46.30	53.70	56.46	
2:00	7.90	10.80	13.00	5.10	47.22	52.78	55.51	
2:00	8.70	10.60	13.80	5.10	48.11	51.89	54.59	54.85
Secador 2								
12:30	8.00	15.40	16.20	8.20	53.25	46.75	49.29	
12:30	8.20	15.70	16.40	8.20	52.23	47.77	50.34	
1:00	8.00	12.20	14.30	6.30	51.64	48.36	50.95	
1:00	9.00	12.60	15.50	6.50	51.59	48.41	51.00	
1:30	7.50	10.30	12.90	5.40	52.43	47.57	50.14	
1:30	7.90	10.80	13.60	5.70	52.78	47.22	49.77	
2:00	7.50	10.60	13.10	5.60	52.83	47.17	49.72	
2:00	8.00	10.20	13.40	5.40	52.94	47.06	49.61	50.10
Neumatico								
12:30	7.70	12.30	15.60	7.90	64.23	35.77	37.96	
12:30	7.60	12.40	15.60	8.00	64.52	35.48	37.66	
1:00	8.50	10.20	14.70	6.20	60.78	39.22	41.51	
1:00	8.50	10.90	15.10	6.60	60.55	39.45	41.75	
1:30	8.20	10.90	15.10	6.90	63.30	36.70	38.91	
1:30	8.50	10.40	15.00	6.50	62.50	37.50	39.74	
2:00	8.20	10.60	15.30	7.10	66.98	33.02	35.11	
2:00	8.10	10.90	15.30	7.20	66.06	33.94	36.07	38.59
Secador 3								
1:00	7.70	10.60	15.50	7.80	73.58	26.42	28.30	
1:00	8.00	10.50	15.80	7.80	74.29	25.71	27.57	
1:30	8.30	10.20	16.10	7.80	76.47	23.53	25.32	
1:30	7.50	10.40	15.40	7.90	75.96	24.04	25.84	
2:00	7.70	11.00	17.00	9.30	84.55	15.45	16.98	
2:00	8.50	11.70	18.40	9.90	84.62	15.38	16.91	23.49
Final								
1:30	7.60	11.20	17.10	9.50	84.82	15.18	16.70	
1:30	8.30	11.80	18.20	9.90	83.90	16.10	17.65	
2:00	8.10	10.80	18.10	10.00	92.59	7.41	8.68	
2:00	8.10	10.30	17.60	9.50	92.23	7.77	9.05	

2:30	8.30	11.10	18.70	10.40	93.69	6.31	7.54	
2:30	8.10	10.40	17.90	9.80	94.23	5.77	6.99	11.10

ANEXO G
CAUDAL PROMEDIO PLANTA PILOTO

Prueba: 23

EQUIPO	Area (m²)	Velocidad (pie/min)	Velocidad corr (pie/min)	Velocidad (m/min)	Caudal (m³/min)
Activador	0.13	963.0	1,023.85	312.07	41.19
Presecador	0.13	666.0	726.62	221.47	29.23
Neumático	0.08	842.0	902.76	275.16	20.64
Secador	0.08	1,420.0	1,481.22	451.48	36.12

Y= 1.0008x + 60.083

Total

127.18

Prueba: 24

EQUIPO	Area (m²)	Velocidad (pie/min)	Velocidad corr (pie/min)	Velocidad (m/min)	Caudal (m³/min)
Activador	0.13	964.0	1,024.85	312.38	41.23
Presecador	0.13	653.0	713.61	217.51	28.71
Neumático	0.08	846.0	906.76	276.38	20.73
Secador	0.08	1,408.0	1,469.21	447.82	35.83

Y= 1.0008x + 60.083

Total

126.50

Prueba: 25

EQUIPO	Area (m²)	Velocidad (pie/min)	Velocidad corr (pie/min)	Velocidad (m/min)	Caudal (m³/min)
Activador	0.13	963.4	1,024.2	312.2	41.2
Presecador	0.13	666.0	726.6	221.5	29.2
Neumático	0.08	842.0	902.8	275.2	20.6
Secador	0.08	1,419.5	1,480.7	451.3	36.1

Y= 1.0008x + 60.083

Total

127.19

Prueba: 26

EQUIPO	Area (m²)	Velocidad (pie/min)	Velocidad corr (pie/min)	Velocidad (m/min)	Caudal (m³/min)
Activador	0.13	952.0	1,012.84	308.72	40.75
Presecador	0.13	667.0	727.62	221.78	29.27
Neumático	0.08	840.0	900.76	274.55	20.59
Secador	0.08	1,416.0	1,477.22	450.26	36.02

Y= 1.0008x + 60.083

Total

126.64

Prueba: 27

EQUIPO	Area (m ²)	Velocidad (pie/min)	Velocidad corr (pie/min)	Velocidad (m/min)	Caudal (m ³ /min)
Activador	0.13	954.4	1,015.22	309.44	40.85
Presecador	0.13	663.3	723.86	220.63	29.12
Neumático	0.08	843.0	903.76	275.47	20.66
Secador	0.08	1,420.8	1,481.97	451.70	36.14
Y= 1.0008x + 60.083 Total					126.77

Prueba: 30

EQUIPO	Area (m ²)	Velocidad (pie/min)	Velocidad corr (pie/min)	Velocidad (m/min)	Caudal (m ³ /min)
Activador	0.13	848.0	908.76	276.99	36.56
Presecador	0.13	668.0	728.62	222.08	29.31
Neumático	0.08	853.0	913.77	278.52	20.89
Secador	0.08	1,421.0	1,482.22	451.78	36.14
Y= 1.0008x + 60.083 Total					122.91

Prueba: 31

EQUIPO	Area (m ²)	Velocidad (pie/min)	Velocidad corr (pie/min)	Velocidad (m/min)	Caudal (m ³ /min)
Activador	0.13	944.6	1,005.46	306.47	40.45
Presecador	0.13	667.1	727.74	221.82	29.28
Neumático	0.08	845.3	906.01	276.15	20.71
Secador	0.08	1,418.3	1,479.47	450.94	36.08
Y= 1.0008x + 60.083 Total					126.52

Prueba: 32

EQUIPO	Area (m ²)	Velocidad (pie/min)	Velocidad corr (pie/min)	Velocidad (m/min)	Caudal (m ³ /min)
Activador	0.13	959.0	1,019.85	310.85	41.03
Presecador	0.13	667.0	727.62	221.78	29.27
Neumático	0.08	845.4	906.13	276.19	20.71
Secador	0.08	1,386.0	1,447.19	441.10	35.29
Y= 1.0008x + 60.083 Total					126.31

Anexo H.

Resultados obtenidos en la planta piloto de las pruebas 23 a 32

Tabla 1A Datos Prueba 23

Equipo	Parametros							
	Tae	Tas	Tpe	Tps	X ₁	X ₂	mp	m evap.
Secador 1	113.8	58.7	30.7	37.7	66.9	58.7	150.0	29.7
Secador 2	95.3	50.3	37.7	37.6	58.7	54.3	120.3	11.8
Transporte Neumático	118.8	76.9	37.6	39.4	54.3	41.9	108.5	23.0
Secador 3	117.5	82.0	39.4	38.1	41.9	21.7	85.5	22.1
Aclimatador	30.7	33.8	38.1	30.7	21.7	13.6	63.4	5.9
TOTAL	57.5							92.5

Tae: temperatura entrada del aire (°C)

Tas: temperatura salida del aire (°C)

Tpe: temperatura entrada del producto (°C)

Tps: temperatura salida del producto (°C)

Tamb: temperatura ambiente (°C) **30.7**

X₁: Humedad inicial del producto b.h. (%)

X₂: Humedad final del producto b.h. (%)

mp: flujo másico del producto (kg/h)

m evap: cantidad de agua evaporada (kg/h)

F.C: factor de conversión: **2.61**

Tabla 2A Datos Prueba 24

Equipo	Parametros							
	Tae	Tas	Tpe	Tps	X ₁	X ₂	mp	m evap.
Secador 1	111.0	61.1	0.0	37.6	63.2	56.2	200.0	31.9
Secador 2	91.3	50.6	37.6	37.2	56.2	51.6	168.1	16.0
Transporte Neumático	118.0	77.2	37.2	39.4	51.6	39.4	152.1	30.6
Secador 3	118.5	77.1	39.4	38.2	39.4	24.3	121.5	24.3
Aclimatador	0.0	30.2	38.2	0.0	24.3	14.5	97.2	11.1
TOTAL	86.1							113.9

Tae: temperatura entrada del aire (°C)

Tas: temperatura salida del aire (°C)

Tpe: temperatura entrada del producto (°C)

Tps: temperatura salida del producto (°C)

Tamb: temperatura ambiente (°C) **25.4**

X₁: Humedad inicial del producto b.h. (%)

X₂: Humedad final del producto b.h. (%)

mp: flujo másico del producto (kg/h)

m evap: cantidad de agua evaporada (kg/h)

F.C: factor de conversión: **2.32**

Tabla 3A Datos Prueba 25

Equipo	Parametros							
	Tae	Tas	Tpe	Tps	X ₁	X ₂	mp	m evap.
Secador 1	109.0	55.9	0.0	37.6	70.3	61.4	200.0	45.9
Secador 2	95.2	51.4	37.6	37.2	61.4	55.1	154.1	21.6
Transporte Neumático	119.2	77.3	37.2	39.4	55.1	42.5	132.4	29.1
Secador 3	117.3	85.0	39.4	38.2	42.5	27.6	103.4	21.3
Aclimatador	0.0	30.2	38.2	0.0	27.6	20.7	82.1	7.1
TOTAL	75.0							125.0

Tae: temperatura entrada del aire (°C)

Tas: temperatura salida del aire (°C)

Tpe: temperatura entrada del producto (°C)

Tps: temperatura salida del producto (°C)

Tamb: temperatura ambiente (°C) **26.3**

X₁: Humedad inicial del producto b.h. (%)

X₂: Humedad final del producto b.h. (%)

mp: flujo másico del producto (kg/h)

m evap: cantidad de agua evaporada (kg/h)

F.C: factor de conversión: **2.67**

Tabla 4A Datos Prueba 26

Equipo	Parametros							
	Tae	Tas	Tpe	Tps	X ₁	X ₂	mp	m evap.
Secador 1	108.5	58.8	0.0	37.6	68.1	58.5	200.0	46.3
Secador 2	97.9	51.0	37.6	37.7	58.5	56.1	153.7	8.3
Transporte Neumático	118.8	77.6	37.7	39.0	56.1	42.4	145.4	34.6
Secador 3	115.5	79.3	39.0	38.2	42.4	26.0	110.7	24.6
Aclimatador	0.0	33.7	38.2	0.0	26.0	16.7	86.2	9.6
TOTAL	76.6							123.4

Tae: temperatura entrada del aire (°C)

Tas: temperatura salida del aire (°C)

Tpe: temperatura entrada del producto (°C)

Tps: temperatura salida del producto (°C)

Tamb: temperatura ambiente (°C) **27.2**

X₁: Humedad inicial del producto b.h. (%)

X₂: Humedad final del producto b.h. (%)

mp: flujo másico del producto (kg/h)

m evap: cantidad de agua evaporada (kg/h)

F.C: factor de conversión: **2.61**

Tabla 5A Datos Prueba 27

Equipo	Parametros							
	Tae	Tas	Tpe	Tps	X ₁	X ₂	mp	m evap.
Secador 1	110.3	62.9	0.0	38.1	65.6	59.0	200.0	31.9
Secador 2	97.3	50.7	38.1	37.6	59.0	54.9	168.1	15.4
Transporte Neumático	119.4	78.0	37.6	39.4	54.9	47.2	152.7	22.3
Secador 3	116.1	78.3	39.4	38.2	47.2	37.7	130.4	19.8
Aclimatador	0.0	32.8	38.2	0.0	37.7	31.7	110.6	9.8
TOTAL	100.8							99.2

Tae: temperatura entrada del aire (°C)

Tas: temperatura salida del aire (°C)

Tpe: temperatura entrada del producto (°C)

Tps: temperatura salida del producto (°C)

Tamb: temperatura ambiente (°C) **27.4**

X₁: Humedad inicial del producto b.h. (%)

X₂: Humedad final del producto b.h. (%)

mp: flujo másico del producto (kg/h)

m evap: cantidad de agua evaporada (kg/h)

F.C: factor de conversión: **1.98**

Tabla 6A Datos Prueba 30

Equipo	Parametros							
	Tae	Tas	Tpe	Tps	X ₁	X ₂	mp	m evap.
Secador 1	103.0	62.5	0.0	38.0	62.2	54.5	200.0	33.9
Secador 2	95.3	51.5	38.0	37.4	54.5	47.6	166.1	22.1
Transporte Neumático	119.1	78.0	37.4	39.2	47.6	31.8	144.0	33.2
Secador 3	112.3	78.8	39.2	38.1	31.8	16.0	110.8	20.9
Aclimatador	0.0	32.7	38.1	0.0	16.0	4.7	89.9	10.7
TOTAL	79.2							120.8

Tae: temperatura entrada del aire (°C)

Tas: temperatura salida del aire (°C)

Tpe: temperatura entrada del producto (°C)

Tps: temperatura salida del producto (°C)

Tamb: temperatura ambiente (°C) **25.7**

X₁: Humedad inicial del producto b.h. (%)

X₂: Humedad final del producto b.h. (%)

mp: flujo másico del producto (kg/h)

m evap: cantidad de agua evaporada (kg/h)

F.C: factor de conversión: **2.53**

Tabla 7A Datos Prueba 31

Equipo	Parametros							
	Tae	Tas	Tpe	Tps	X ₁	X ₂	mp	m evap.
Secador 1	107.5	60.6	0.0	38.1	66.1	57.2	150.0	31.2
Secador 2	99.5	50.6	38.1	37.5	57.2	51.3	118.8	14.4
Transporte Neumático	118.6	77.7	37.5	39.4	51.3	40.0	104.4	19.7
Secador 3	115.0	76.9	39.4	38.4	40.0	26.9	84.7	15.1
Aclimatador	0.0	32.3	38.4	0.0	26.9	13.9	69.6	10.5
TOTAL	59.0							91.0

Tae: temperatura entrada del aire (°C)

Tas: temperatura salida del aire (°C)

Tpe: temperatura entrada del producto (°C)

Tps: temperatura salida del producto (°C)

Tamb: temperatura ambiente (°C) **26.6**

X₁: Humedad inicial del producto b.h. (%)

X₂: Humedad final del producto b.h. (%)

mp: flujo másico del producto (kg/h)

m evap: cantidad de agua evaporada (kg/h)

F.C: factor de conversión: **2.54**

Tabla 8A Datos Prueba 32

Equipo	Parametros							
	Tae	Tas	Tpe	Tps	X ₁	X ₂	mp	m evap.
Secador 1	104.6	59.7	27.5	38.0	62.1	54.9	200.0	32.0
Secador 2	98.9	55.2	38.0	37.7	54.9	50.1	168.0	16.0
Transporte Neumático	118.3	76.5	37.7	39.5	50.1	38.6	152.0	28.5
Secador 3	113.6	68.9	39.5	36.1	38.6	23.5	123.5	24.4
Aclimatador	27.5	32.9	36.1	27.5	23.5	11.1	99.1	13.8
TOTAL	85.3							114.7

Tae: temperatura entrada del aire (°C)

Tas: temperatura salida del aire (°C)

Tpe: temperatura entrada del producto (°C)

Tps: temperatura salida del producto (°C)

Tamb: temperatura ambiente (°C) **27.3**

X₁: Humedad inicial del producto b.h. (%)

X₂: Humedad final del producto b.h. (%)

mp: flujo másico del producto (kg/h)

m evap: cantidad de agua evaporada (kg/h)

F.C: factor de conversión: **2.34**

Anexo I

Fotografías de instrumentos y equipos utilizados en la planta piloto



Fig. 22. Anemómetro AIRFLOW



Fig. 23 Balanza analítica de precisión

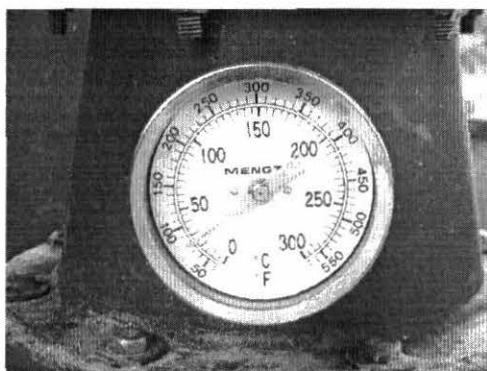


Fig. 24. Termómetros de carátula



Fig. 25. Liofilizador



Fig. 26. Horno circulación forzada

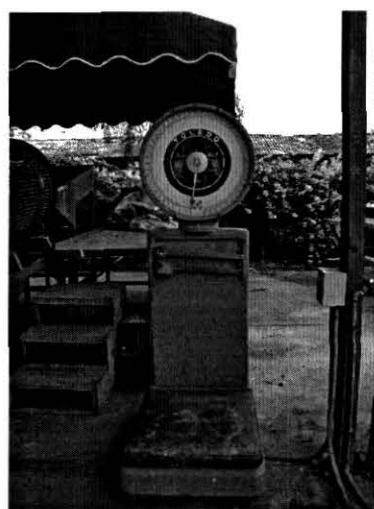


Fig. 27. Balanza de precisión



Fig. 28. Controles de velocidad

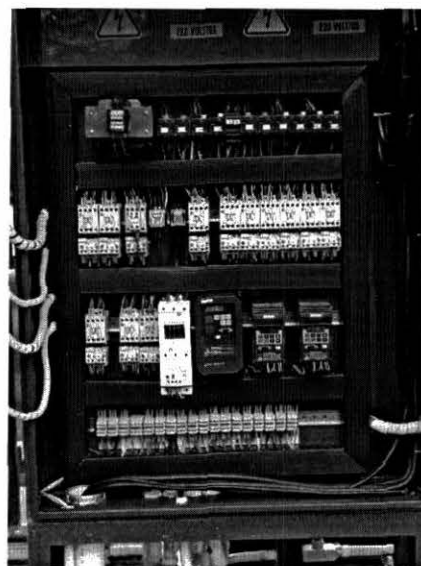


Fig. 29. Tablero de control

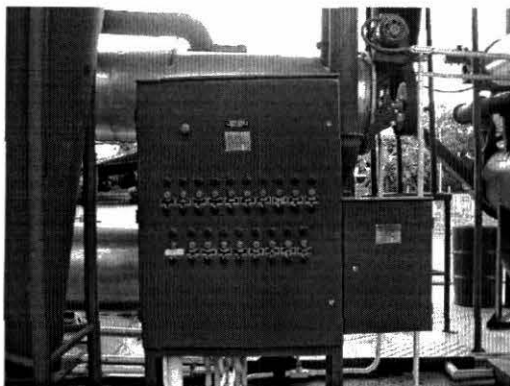


Fig. 30. Tablero de control exterior

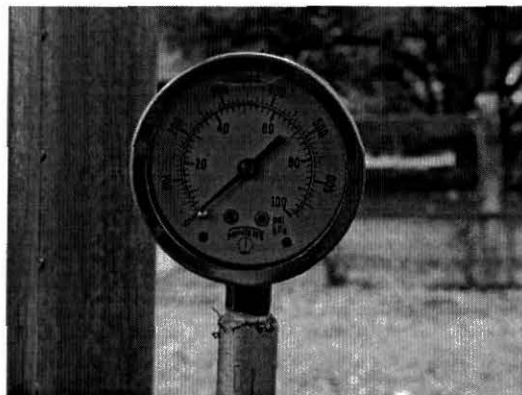


Fig. 31. Manómetro



Fig. 32. Válvulas de Presión



Fig. 33. Intercambiador de calor

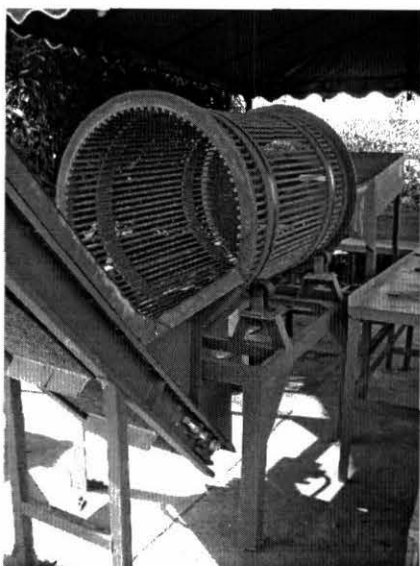


Fig. 34 Limpiador rotatorio



Fig. 35 Banda transportadora



Fig. 36 Rallador inicial

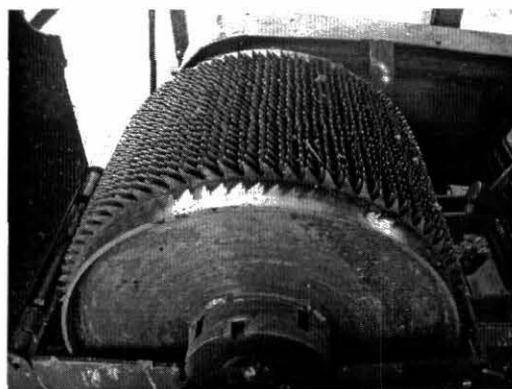


Fig. 37 Rallador final

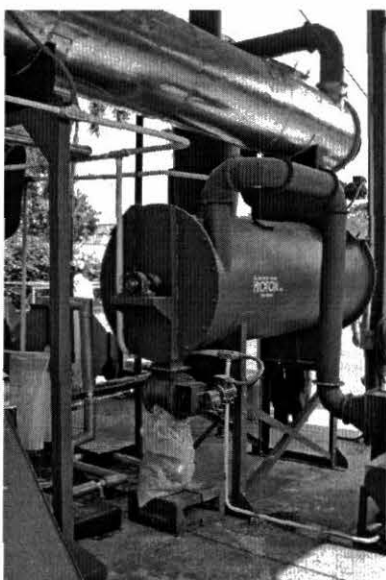


Fig. 38 Secador 3 y aclimatador



Fig. 39 Ciclón de separación

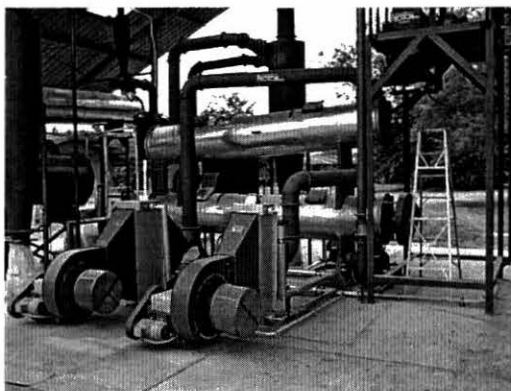


Fig. 40 Secadores 1 y 2



Fig. 41 Secador de lecho fluidizado

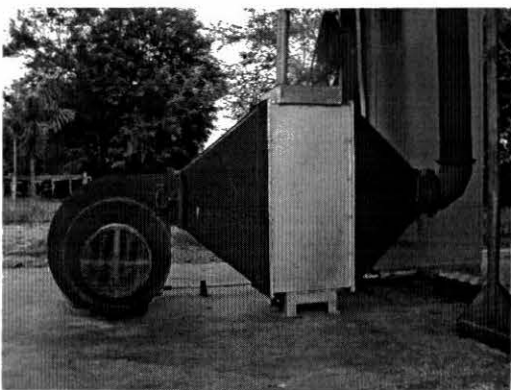


Fig. 42 Ventilador



Fig. 43 Yuca gelatinizada en rallador



Fig. 44 y 45 Harina producida en planta piloto

