

PROYECTO COOPERATIVO CIAT/IIT/UNIVALLE-CIID
PRODUCCION Y USO DE HARINA DE YUCA PARA CONSUMO HUMANO



~~DISEÑO~~ DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION
DE TROCITOS DE YUCA

Miguel Angel Viera

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL - CIAT

Sección de Utilización - Programa de Yuca

Calli, 1987

TP
416
.T3
V5
C.2

TP
416
.T3
V5
c.2

PROYECTO COOPERATIVO CIAT/IIT/UNIVALLE-CIID
PRODUCCION Y USO DE HARINA DE YUCA PARA CONSUMO HUMANO



DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION
DE TROCITOS DE YUCA

Miguel Angel Viera



BIBLIOTECA

19 ABO. 1987
63000

395

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL - CIAT

Sección de Utilización - Programa de Yuca

Calí, 1987

LISTA DE CONTENIDO

	Pag
PROLOGO	
RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
1. DEFINICION DE LA MATERIA PRIMA	6
2. DEFINICION DEL PRODUCTO FINAL	7
3. CAPACIDAD DE PRODUCCION	10
4. CONTROL DE CALIDAD	11
4.1 Control sanitario	11
4.2 Control de calidad en el proceso	13
4.2.1 Control en la maquinaria	14
4.2.2 Control de calidad en el proceso propiamente dicho	14
5. SELECCION DE LA ZONA PARA LA LOCALIZACION DE LA PLANTA PILOTO	15
5.1 Disponibilidad de materia prima	15
5.2 Condiciones socioeconómicas de la región	16
5.3 Características de la región	17
6. PROCESO DE PRODUCCION	18
6.1 Descripción del proceso	19
6.1.1 Recepción	19
6.1.2 Selección y adecuación	22
6.1.3 Lavado	24
6.1.4 Trozado	27
6.1.5 Secado	29
6.1.6 Premolienda y empaque	40

	Pag
6.1.7 Almacenamiento	41
6.1.8 Eliminación de desechos	42
6.2 Requerimientos del proceso	42
6.2.1 Materia prima	42
6.2.2 Agua	43
6.2.3 Energía eléctrica	44
6.2.4 Mano de obra	45
7. DISTRIBUCION EN PLANTA	46
7.1 Determinación de la cantidad y tipo de áreas	46
7.1.1 Requerimientos de espacio por el proceso	47
7.1.2 Areas auxiliares y de servicio	51
7.2 Establecimiento del flujo global de materiales	52
7.3 Distribución detallada de la planta	52
7.4 Detalles de la construcción	52
7.5 Orientación de la planta en el sitio	56
8. ANALISIS ECONOMICO	56
8.1 Estimación de los costos de inversión y operación	58
8.1.1 Costos de inversión	58
8.1.2 Costos de producción	60
8.2 Determinación del punto de equilibrio	62
8.3 Rentabilidad económica	66
8.4 Análisis de sensibilidad	71
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFIA	79
ANEXOS	80

PROLOGO

El presente documento constituye el informe final sobre el diseño de una planta piloto para la producción de trocitos de yuca seca, que se realizó dentro de la primera fase del Proyecto Cooperativo CIAT-IIT-UNIVALLE/CIID con el objetivo de determinar las condiciones técnicas y económicas requeridas para el desarrollo de una industria de harina de yuca a nivel rural para uso humano en productos de panificación. El proyecto se dividió en tres áreas de investigación: 1) evaluación económica, 2) diseño y desarrollo de planta de procesamiento, resultados presentados en este informe, y 3) desarrollo de productos de panificación. La segunda fase del proyecto consiste en llevar a cabo pruebas a nivel de planta piloto en una región productora de yuca.

El autor agradece la colaboración de los ingenieros Jorge Collazos y Ricardo Ruiz, quienes realizaron su trabajo de grado "Planeación del sistema de producción para el proyecto CIAT-IIT-UNIVALLE/CIID: Producción y uso de harina para consumo humano" en la Sección de Utilización del Programa de Yuca del CIAT, del cual se extrajo gran parte de la información expuesta en este informe.

Miguel Angel Viera

RESUMEN

Este documento contiene el diseño preliminar de una planta piloto para la producción de trozos pequeños de yuca seca. La planta se diseña para una capacidad de 1 tonelada de producto final por día, implementando un proceso de producción por tandas, conformado por las operaciones de recepción, selección y adecuación, lavado, trozado, secado, premolienda y almacenamiento. La materia prima para este proceso son las raíces tuberosas de la planta de yuca, especie *Manihot esculenta* Crantz. La conversión de materia prima a producto final es de 2.75. El producto final fue llamado trocito de yuca seca y se proyecta su comercialización a los molinos de trigo, donde lo transforman en harina para alimentación humana. La harina es materia prima para la obtención de una harina panificable, mezcla de hasta un 15% de harina de yuca y 85% de harina de trigo, o de harinas compuestas con otras materias primas para la elaboración de sopas, coladas, pastas u otros productos alimenticios.

La región de localización de la planta piloto es la Costa Atlántica de Colombia. La planta requiere 4 operarios, que proporcionan la mano de obra directa, y 2 administradores. El arreglo de los elementos del proceso y la distribución en planta se hizo para un patrón de flujo en U, el cual minimiza el manejo de materiales y permite integrar las operaciones en forma flexible, facilitando las labores de los operarios.

Se hizo un estudio económico para determinar la rentabilidad del proyecto. El análisis se desarrolló para dos modelos de planta piloto, un modelo de planta I que produce 140 t/año en 40 semanas de operación con un secado natural, y un modelo de planta II que produce 240 t/año en 40 semanas de operación, 20 semanas de época seca con el secado natural y las restantes con el secado artificial. La planta I requiere una inversión de 4,600,000 pesos colombianos (Col.\$), estimada para el último trimestre de 1986, presenta costos totales de producción por tonelada de producto seco de Col.\$35,722 y ofrece una rentabilidad del 25.6%. La planta II requiere de Col.\$6,100,000 para inversión, los

costos totales de producción por tonelada de producto final son de Col.\$36,972 y tiene una rentabilidad del 34.8%.

Los modelos de planta fueron sometidos a un análisis de sensibilidad para establecer los parámetros que más influyen en la rentabilidad del proyecto. El costo de la materia prima, el factor de conversión y el precio de venta del producto fueron los factores más influyentes.

INTRODUCCION

La planta de yuca, especie *Manihot esculenta* Crantz, es cultivada en los trópicos generalmente en suelos de baja fertilidad y tierras marginales, prácticamente sin aplicación de fertilizantes o insecticidas. La raíz tuberosa de la planta es la parte utilizable tanto para alimentación humana como animal. Las hojas de yuca también se pueden utilizar para la alimentación de animales domésticos, especialmente aves y cerdos.

El rendimiento promedio de la yuca en condiciones agronómicas no muy favorables está alrededor de las 10 toneladas por hectárea por año, que se convierten en más o menos 4 t/ha al 14% de humedad en base húmeda. En condiciones excelentes, el rendimiento potencial de la yuca es tremendo.

La yuca tiene un elevado contenido de almidón altamente digerible, por lo que puede sustituir a otras fuentes calóricas, como los granos de cereales, que son generalmente producidos en el trópico a altos costos por el uso de insumos, sobre todo plaguicidas, o son importados desde los países de clima templado. Por lo tanto, la sustitución de estos productos por yuca es una buena alternativa para el desarrollo agrícola de los países tropicales. Como elemento necesario para este desarrollo se debe crear o implementar tecnología barata para obtener productos de yuca que compitan en el mercado con los productos factibles de sustituir tanto en alimentación animal como humana.

En alimentación animal, la yuca es una fuente de energía en la preparación de dietas para cerdos, pollos y ganado vacuno. Para el consumo humano, los productos de yuca pueden sustituir parcialmente al trigo en la preparación de pan y pastas o pueden ser materia prima para la elaboración de harinas compuestas para sopas, coladas u otros productos alimenticios.

Colombia es un país productor de yuca, se estima que la tierra sembrada desde el nivel del mar hasta cerca de los 2000 metros de

altitud alcanza las 240,000 hectáreas. Las principales zonas cultivadas están localizadas en la Costa Atlántica y en los departamentos de Santander, Quindío y Cauca. La mayor parte de la yuca es consumida fresca en las áreas rurales debido a la alta perecibilidad del producto, lo que limita su consumo en las áreas urbanas. A pesar de que existen técnicas para aumentar el período postcosecha de vida de la yuca, que incrementarán la demanda en las ciudades, el alto potencial de la yuca permitirá obtener suficiente producción de yuca para el mercado fresco y para otros usos.

Por otro lado, Colombia es un país que ha sufrido una rápida urbanización trayendo como consecuencia la necesidad de incrementar la producción de alimentos para consumo humano. Para satisfacer esta necesidad, el país se ha visto obligado a incrementar las importaciones de trigo para la elaboración de pan y pastas, y de sorgo para la preparación del alimento concentrado que exige el crecimiento de las industrias avícola y pecuaria.

Para sustituir en parte las importaciones de sorgo, Colombia implementó en la Costa Atlántica durante la década de los 80 una tecnología para producir yuca seca para alimentación animal, desarrollada por Tailandia algunos años atrás. Considerando que Colombia es uno de los pocos países de América Latina que no subsidia el trigo, se puede utilizar esta misma tecnología, ligeramente modificada para mejorar la calidad del producto, para promover la producción y uso de la harina de yuca en los productos de panificación con miras a sustituir importaciones de trigo. La harina de yuca puede reemplazar parcialmente a la harina de trigo hasta un 15% sin cambios apreciables en la calidad del pan. En Colombia las importaciones de trigo ascienden alrededor de 600,000 toneladas al año, la sustitución de un 15% de harina de trigo por harina de yuca en productos de panificación representa un ahorro de divisas de aproximadamente 13 millones de dólares.

Dentro de este esquema de alternativas de utilización de la yuca, el Centro Internacional de Agricultora Tropical, CIAT, la Universidad del Valle y el Instituto de Investigaciones Tecnológicas, IIT, con la

ayuda financiera del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, CIID, formularon e iniciaron un proyecto cuyo objetivo es determinar las condiciones técnicas y económicas requeridas para el desarrollo de una industria de harina de yuca a nivel rural. Para el cumplimiento de este objetivo, se debe diseñar e implementar un sistema viable que comprenda todas las áreas de producción, desde la materia prima hasta la elaboración del producto y su aceptación por el consumidor.

El proyecto se dividió en dos fases. La primera fase trata el diseño del sistema de producción que comprende la introducción de una tecnología de producción de yuca que permita reducir el precio de la materia prima, el diseño del proceso de producción de un material para la obtención de la harina de yuca, la determinación de los mecanismos que motiven al molinero a producir y al panadero a utilizar la harina de yuca, y la evaluación de la preferencia del consumidor por los productos elaborados con la harina compuesta. Esta fase del proyecto ha sido culminada.

En la segunda fase del proyecto se implementará una planta piloto en la Costa Atlántica para la validación del proceso de producción de la harina de yuca y para lograr tres propósitos: primero, reunir datos confiables sobre costos de producción e inversión para montar plantas de este tipo, segundo, elaborar suficiente producto para promocionar su uso a una escala mayor entre algunos consumidores, y, tercero, la planta será un modelo de demostración para expandir esta tecnología a otras regiones tanto de la Costa Atlántica como en otras áreas de Colombia.

Estos estudios e investigaciones permitirán determinar la factibilidad técnica y económica de fomentar e implementar una industria de harina de yuca en Colombia. En este informe se presenta el diseño preliminar de la planta piloto para la producción de yuca seca en trozos pequeños, a partir de los cuales se obtiene la harina de yuca. El informe contiene la selección del proceso y equipos, el arreglo en planta de los elementos del proceso, la determinación de la rentabilidad y el análisis de sensibilidad de los parámetros más influyentes del proyecto.

1. DEFINICION DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima para el proceso son las raíces tuberosas de la planta de yuca, especie *Manihot esculenta* Crantz. Los tejidos que componen una raíz tuberosa son la cáscara, la pulpa o parénquima y las fibras centrales. La pulpa es la parte utilizable de la raíz y tiene un alto contenido de almidón.

La forma y el tamaño de las raíces tuberosas es bastante variado y dependen de la variedad y de las condiciones en que la planta se desarrolle. Básicamente se presentan tres formas, cilíndrica, fusiforme y cónica.

Las raíces de yuca contienen 60 a 65% de agua y 35 a 40% de materia seca. Debido al alto contenido de humedad, las raíces se deterioran rápidamente después de ser cosechadas, disminuyendo en calidad hasta grados inaceptables para el consumo humano y para otros usos. Los síntomas de esta deterioración aparecen a los tres días después de la cosecha; y el inicio y grado posterior de ella también depende de la presencia de daños mecánicos, los cuales ocurren normalmente en la cosecha.

La yuca contiene un glucósido cianógeno llamado linamarina, el cual se hidroliza en presencia de ácidos y enzimas para dar ácido cianhídrico en cantidades que pueden ser desde inofensivas hasta mortales. El límite máximo reportado no tóxico para humanos es de 50 ppm, es decir, 50 mg de cianuro por kilogramo de harina de yuca.

Por lo anterior, la yuca debe pertenecer a una o varias variedades conocidas como dulces, normalmente utilizadas para la alimentación humana. Estas raíces contienen niveles bajos de cianuro. Además, durante su procesamiento las raíces sufren transformaciones fisicomecánicas que reducen el contenido de cianuro a niveles inocuos (Gomez y otros, 1982). La edad de cosecha oscila entre los 8 a 12 meses, dependiendo de la variedad.

Para las condiciones generales de la materia prima, la yuca debe estar fresca, sin presencia de raíces secundarias, de heridas, cortaduras y nódulos, libre del ataque de plagas, enfermedades, pudriciones y olores extraños. La pulpa debe tener el color característico de la variedad, sin manchas que indiquen que ya esta pasada debido a una cosecha tardía.

Las raíces de yuca se deben procesar en los dos primeros días después de la cosecha, lo que implica que posterior a su recepción deben entrar a producción al día siguiente.

El control sobre las condiciones generales de la materia prima y sobre el proceso, permitirá obtener un producto adecuado para el consumo humano.

2. DEFINICION DEL PRODUCTO FINAL

El producto final es un trozo pequeño de yuca seca, materia prima para la industria molinera y, en general, para la industria de productos alimenticios como fuente de calorías, ya que la harina obtenida a partir de este producto se puede incluir en la elaboración de pastas alimenticias, harinas compuestas para sopas y coladas o la harina panificable, mezcla de 15% de harina de yuca y 85% de harina de trigo.

El principal comprador del producto de yuca seca es el molinero de trigo, y, de acuerdo con la infraestructura y equipos disponibles en su planta para moler este producto, se definió un trozo de yuca de aproximadamente 4 a 10 mm en cualquiera de sus dimensiones mas grandes. A este producto se le asignó el nombre de trocito de yuca seca, su forma es irregular y se planea su presentación en bolsas de 45 a 50 kg de peso. En la Tabla 1 se presenta una clasificación granulométrica del trocito, obtenida a partir de muestras producidas a nivel experimental; se observa que el 49% es material fino, 28% trocitos de longitud entre 2 a 4 mm y 23% son trocitos entre 4 a 10 mm de longitud superior.

Tabla 1. Clasificación granulométrica del trocito de yuca seca

Especificaciones del Tamiz		Porcentaje de retención
Mesh	Diámetro de abertura mm	por tamiz %
5	4	23
10	2	28
Fondo		49

Valores promedios de 3 repeticiones de 500 g cada una.

El trocito de yuca es un producto integral obtenido a partir de las raíces de yuca fresca sin pelar. El molinero mediante una clasificación granulométrica separa la cáscara de la harina en un porcentaje bastante alto, de manera que la presencia de la cáscara no afecta la calidad de la harina.

Además de las necesidades del comprador, el producto debe cumplir con las normas de calidad establecidas para productos destinados al consumo humano. En la Tabla 2 se listan los requisitos de calidad para el producto. A excepción del contenido de cianuro, los límites máximos fueron establecidos para la harina de trigo (ICONTEC, 1981) y se adoptaron para el trocito, a partir del cual se produce la harina de yuca.

La composición química de los productos que se pueden obtener de la yuca se muestran en la Tabla 3. En general, los trozos de raíces de yuca frescos o procesados (harina), se caracterizan por sus bajos contenidos de proteína, extracto etéreo (grasa), fibra cruda y cenizas, pero tienen niveles altos de extracto libre de nitrógeno o carbohidratos solubles, constituidos principalmente por almidón y una pequeña cantidad de azúcares. Por lo tanto, las raíces de yuca y los productos derivados de ellas, aportan básicamente calorías en forma de almidón altamente digerible (Gomez y otros, 1982).

Tabla 2. Requisitos generales para el trocito de yuca seca

Parámetro	Valores máximos permisibles
Humedad	14%
Cenizas	0.70%
Cianuro total, mg/kg	50
Nivel de infestación: número total de insectos primarios y secundarios por kg de producto	5
Microorganismos:	
Recuento total de aerobios por gramo	200,000
Coliformes por gramo	100
Escherichia Coli por gramo	Negativo
Salmonella por 50 gramos	Negativo
Hongos y levaduras, colonias por gramo	1,000

Tabla 3. Composición química de productos de yuca

Componente	Productos de yuca ^{1/}	
	Raíces frescas	Harina de yuca
	--- % tal cual analizado ---	
Materia seca	40-35	90
Proteína (N x 6.25)	1-2	3.1
Extracto etéreo (grasa)	0.2 - 0.5	1.3
Fibra cruda	1.5 - 2.0	3.4
Cenizas	1-2	2.1
Extracto no-nitrogenado	30-36	80
Calcio	0.05	0.12
Fósforo	0.07	0.16

^{1/} Datos obtenidos en el CIAT.

Fuente: Gomez y otros (1982).

3. CAPACIDAD DE PRODUCCION

En vista de que la capacidad de la planta piloto tiene implicaciones directas sobre el diseño del proceso, selección de equipos, requerimientos de mano de obra y sobre la distribución física de las instalaciones, es el primer parámetro que se debe determinar en el diseño de la planta.

La selección de la capacidad se hizo de acuerdo con factores técnicos y económicos.

1) Factores técnicos: La capacidad debe ser de tal magnitud que permita recoger información del proceso, capacidad de los equipos y costos de operación, que sea confiable y se pueda trasladar a escala semicomercial o comercial.

2) Factores económicos: En este aspecto, se consideraron las experiencias de dos industrias procesadoras de yuca existentes en Colombia. La primera, la industria de extracción de almidón agrío, situada en el Departamento del Cauca, cuya capacidad de procesamiento de raíces frescas oscila entre 500 a 2,500 kg/día, operando en promedio 8 meses por año. Estas plantas son manejadas por agro-empresarios, quienes compran la mayor parte de la materia prima a pequeños agricultores de la región.

En segundo lugar, la industria de la yuca seca para consumo animal, situada en la Costa Atlántica, que se ha desarrollado en plantas con capacidades de 6-12 t de raíces frescas por tanda, y que operan durante 20 semanas por año a una capacidad de procesamiento de 3 tandas por semana.

De la experiencia de estas dos industrias se desprende que la disponibilidad y el suministro a buen precio de la materia prima son los factores que más influyen en la rentabilidad de estas plantas.

Con base en los anteriores aspectos se estimó una capacidad de la planta de 1 t de producto final por día. Esta capacidad se considera suficiente para obtener la información real necesaria para determinar los objetivos del proyecto. Por lo tanto, el diseño de la planta y las consideraciones de expansión en términos del crecimiento de la capacidad productiva, se hace para una capacidad de 1 t/día de trocitos de yuca seca.

4. CONTROL DE CALIDAD

Se define el control de calidad como los mecanismos que permiten la unión de hombres, materiales y máquinas para obtener un producto final que cumpla con los modelos y normas preestablecidas, con las disposiciones legales de sanidad y composición y que sea aceptado por el consumidor.

El control de calidad se debe planear teniendo en cuenta las restricciones de capital y la falta de personal capacitado, que se acentúan por ser una industria del tipo rural. Esto determina el empleo de métodos subjetivos de inspección para garantizar la calidad del producto final. Sin embargo, con las prácticas sanitarias recomendadas aquí y un proceso aplicado correctamente, se puede obtener un producto apto para el consumo humano.

El control de calidad comprende un control sanitario y un control sobre el proceso de producción, cada uno de los cuales se considera a continuación.

4.1 Control Sanitario

El control sanitario incluye, por una parte, las aguas y los desechos y por otra, al personal y equipo de la planta.

El control sanitario de las aguas se realiza mediante un examen y tratamiento del agua que se emplea en el proceso y un adecuado manejo de las aguas residuales.

El agua que entra en contacto con la materia prima o con el producto, agua para limpieza de equipos y locales o uso humano, debe cumplir con las normas establecidas para el agua potable (Secretaría de Salud Pública, 1986). El agua potable debe estar, en lo posible, libre de gérmenes que puedan influenciar nocivamente en ella o en el producto, debe ser incolora, no tener olor ni sabor desagradables. En la Tabla 4 se presentan los requisitos que debe cumplir el agua potable.

Si la planta de producción por cualquier circunstancia no se puede abastecer de agua de la red municipal, puede surtirse de agua de manantiales, pozos, ríos o lagos; pero debe tratarse para que alcance las propiedades requeridas.

Las aguas residuales también se deben tratar antes de ser desaguadas. Según el tipo de producto, las aguas residuales de la planta provienen del lavado de la materia prima y los equipos, por lo que se debe sedimentar el barro antes de ser evacuadas por el sistema general de desagüe.

La basura se debe mantener temporalmente en depósitos tapados, sin acumularlas y recogerlas de inmediato si provienen de las áreas de elaboración del producto.

El personal debe tener buen grado de salud, lo que se determina mediante exámenes médicos, y cumplir con las normas elementales de higiene personal.

En cuanto a los equipos del proceso, deben recibir un mantenimiento sanitario adecuado, dentro del cual las operaciones de limpieza y desinfección son las más relevantes. La limpieza se debe realizar después de cada operación, consiste en lavar los equipos con agua y jabón. Si se emplean detergentes deben ser alcalinos, ya que los detergentes ácidos corroen los equipos metálicos. La desinfección se debe efectuar momentos antes de utilizar el equipo y se puede emplear cualquier desinfectante comercial.

Tabla 4. Requisitos del agua potable

Componente	Valores establecidos
Cuenta total microbiana	Menos de 100 gérmenes por mililitro
Gérmenes patógenos	Ausentes en 1 mililitro
Colibacterias	Ausentes en 50 mililitros
Residuos de evaporación	Menos de 500 mg por litro
Nitratos	Menos de 30 mg por litro
Compuestos amónicos	Vestigios
Sulfatos	Menos de 60 mg por litro
Cloruros	Menos de 30 mg por litro
Hierro	Menos de 0.5 mg por litro
Manganeso	Menos de 0.1 mg por litro
Turbidez	Menos de 10 mg por litro (escala silice)
PH	De 6 hasta 8

Fuente: Secretaría de Salud Pública Municipal. Cali, Colombia.

Los materiales de construcción de los equipos no deben ser corrosivos ni pintarse con pinturas que se descompongan o sean tóxicas. En equipos metálicos se debe utilizar acero inoxidable o galvanizado para construir las piezas que entran en contacto con la materia prima o el producto.

La planta debe estar situada en un lugar aislado de cualquier foco de insalubridad. Los alrededores de ella deben mantenerse limpios, libres de acumulación de basuras y de aguas estancadas, para evitar posibles contaminaciones del producto.

4.2 Control de calidad en el proceso

El control de calidad en el proceso productivo comprende las siguientes fases.

4.2.1 Control en la maquinaria

Se realiza mediante un mantenimiento adecuado de las máquinas y herramientas. En forma simple, consiste en revisar periódicamente o antes de cada operación los equipos para hacer ajustes, lubricación y reposición oportuna de piezas.

4.2.2 Control de calidad en el proceso propiamente dicho

Este control se debe realizar durante la transformación física de la materia prima en el producto final, analizando cada etapa de producción para hallar los puntos críticos en los que se debe acentuar la inspección y selección de los materiales y del producto.

Para la materia prima, la inspección y selección se deben realizar en la recepción, recomendable en presencia del proveedor para hacer reclamos oportunos; antes de que entre y durante el proceso productivo, observando su comportamiento a través de las distintas operaciones, y una vez terminado el proceso.

En la recepción se deben evaluar las condiciones generales de las raíces de yuca, establecidas anteriormente. La yuca se puede recibir a granel o en empaques de fique; y antes de su procesamiento es necesario descartar las raíces secundarias y no aptas para la producción.

En la implementación comercial de la planta productora de trocitos de yuca seca, se deben realizar determinaciones de los contenidos de humedad y cenizas, y análisis microbiológicos preliminares para el producto obtenido en el proceso y sitio de establecimiento de la planta, con el fin de hacer los ajustes necesarios para obtener el producto con las características adecuadas.

5. SELECCION DE LA ZONA PARA LA LOCALIZACION DE LA PLANTA PILOTO

La selección de un sitio en el que la planta pueda operar y producir utilidades más altas sobre el capital invertido, requiere estudios de ubicación y del terreno.

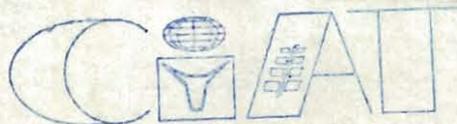
La naturaleza de la materia prima limita la selección a un número relativamente pequeño de zonas. Una región productora de yuca que presenta ciertas características favorables para el establecimiento de la planta, está comprendida por seis departamentos de la Costa Atlántica, a saber, Córdoba, Sucre, Bolívar, Atlántico, Magdalena y Cesar.

El sitio que se elija dentro de la Costa Atlántica debe tener capacidad para suministrar la materia prima necesaria, ofrecer vías de acceso y amplias posibilidades de abastecimiento de agua y energía eléctrica. Aquí no se plantea un sitio específico sino los factores principales que influyeron en la elección de la Costa Atlántica como una región apropiada para el montaje de la planta piloto.

5.1 Disponibilidad de Materia Prima

La Costa Atlántica es una de las regiones donde el cultivo de la yuca es muy importante tanto por cultura como por producto de subsistencia; y los volúmenes de producción son uno de los mayores del país. Sin embargo, esta producción enfrentaba hace unos 6 años atrás, antes de la creación de una agroindustria de yuca seca para alimentación animal, un mercado desfavorable y limitado, que obligaba a que el precio que recibía el productor tanto en el mercado fresco como en el mercado industrial fuera muy bajo. Esto explica por qué aún hoy el precio de las raíces de yuca es bajo en comparación con otras regiones del país, donde las condiciones de mercadeo son más favorables y existen cultivos alternos más lucrativos, como la papa y el café.

Por otra parte, la existencia de la agroindustria de yuca seca ha creado un nuevo mercado alternativo, ocasionando cambios en la demanda que



enfrentaba el agricultor, quien ha visto mejorar sus ingresos a causa de la eliminación de las dificultades para la comercialización. Para abastecer esta agroindustria de materia prima, los productores están tratando de incrementar el rendimiento de la yuca por hectárea y el área de la tierra cultivada. Esto ofrece buenas perspectivas para la instalación de la planta piloto en esta región, debido a que el aumento de producción de yuca permitirá abastecer el mercado fresco y obtener excedente de materia prima para la industria existente y la planta piloto.

5.2 Condiciones socio-económicas de la región

La actividad agropecuaria en la Costa Atlántica fue y será durante muchos años el eje fundamental de la economía. A pesar de los esfuerzos del gobierno para aprovechar los recursos de la zona, la agricultura, la ganadería y la pesca solo generan alrededor del 28% del producto interno bruto. El 40% de los suelos son óptimos para la agricultura y están subexplotados, de 4 millones de hectáreas tan solo 600,000 tienen uso adecuado y casi 3.5 millones están subutilizadas. Hay tierra para incorporarla a la producción, pero requiere un gran esfuerzo para hacer efectiva esta potencialidad agrícola de la Costa Atlántica.

Por otra parte, la Costa Atlántica es una de las regiones del país donde hay el más alto índice de analfabetismo y la mano de obra es la menos especializada; sin embargo, para las industrias rurales esta mano de obra se puede integrar mediante una capacitación a un proceso de producción.

El gobierno reconociendo la subutilización de los recursos en esta zona, ha iniciado un esfuerzo de apoyo e incentivo para el desarrollo de la región. La yuca se ha beneficiado con programas de desarrollo y es así como, con el apoyo del Fondo de Desarrollo Rural Integrado (DRI) vinculado al Ministerio de Agricultura de Colombia, se creó la ya mencionada agroindustria de la yuca seca, establecida en la región como pequeñas empresas campesinas; de las cuales hay actualmente 36 plantas de secado, alcanzando entre todas una producción de más de 6,000 toneladas de yuca seca por año.

La yuca tiene importancia significativa porque es un renglón de producción que puede ayudar a resolver una serie de problemas económicos y sociales en la Costa Atlántica y en otras regiones del país que se caracterizan por condiciones de falta de agua.

Colombia no tiene tecnología ni clima adecuados para la producción de cereales, esto lo ha hecho un importador neto especialmente de sorgo y trigo, por lo que el desarrollo de un cultivo como el de la yuca y su utilización como fuente de calorías para alimentación animal y humana permitirá al país resolver un poco el problema de la balanza cambiaria, vía la venta y sustitución de un producto característico de la zona tropical.

5.3 Características de la región

La Costa Atlántica por su poco desarrollo industrial, presenta una infraestructura de vías de acceso en mal estado, pero son utilizables para el transporte de materiales o personal. La planta piloto se debe ubicar cerca a la zona de cultivo y cosecha para minimizar el transporte de la materia prima.

Las principales restricciones que ofrece la Costa Atlántica para el establecimiento de la planta, son la poca disponibilidad de agua y un servicio no muy amplio de energía eléctrica monofásica en las áreas rurales. A pesar de que hay problemas para el abastecimiento de agua, es posible obtenerla del subsuelo, extrayéndola con molinos de viento como los desarrollados por el Centro Gaviotas, de los cuales hay instalados varios en los departamentos de Córdoba y Sucre, ^{1/} o mediante un sistema de bombeo. La disponibilidad de corriente eléctrica monofásica limita la selección de motores eléctricos para este tipo de corriente, o emplear motores a gasolina o diesel, lo cual se descarta por los costos de operación más altos que se generan.

^{1/} Correspondencia personal con el Dr. Hernán Martínez Urquijo, Jefe del Departamento de Mercadeo, Centro Las Gaviotas, Bogotá, Diciembre 5 de 1986.

La principal ventaja que ofrece la Costa es su potencial de energía solar, muy alto en comparación con otras regiones del país e incluso de otros lugares del mundo de reconocido alto potencial (ICA, 1986). Este potencial se puede aprovechar para el secado natural de la yuca durante la estación seca, razonablemente estable, que se presenta entre los meses de Diciembre a Abril, un total de aproximadamente 20 semanas.

6. PROCESO DE PRODUCCION

La planta para la producción de trocitos de yuca seca va a estar situada en la zona rural, por acceso y disponibilidad de la materia prima. Por lo tanto, el proceso debe ser sencillo, de fácil manejo para los campesinos y pequeños agroempresarios, requerir baja inversión de capital dentro de las limitaciones de recursos que enfrenta la industria rural, y operar con un rendimiento relativamente alto para mantener una relación de materia prima a producto final baja.

Los equipos deben ser de diseño simple e higiénico, fácil de montar y desmontar y de construcción con materiales de la región.

Con base en los anteriores criterios y de acuerdo con las características tanto de la materia prima como del producto final, se diseñó el proceso de producción.

Para el diseño del proceso, éste se desarrolló en equipos experimentales diseñados o acondicionados para realizar las operaciones, con el fin de agrupar información de las cantidades, rendimientos, manejo de materiales y subproductos, y necesidades de mano de obra. Esta información fue soporte fundamental para la selección de materiales de construcción, establecimiento de condiciones de operación y métodos de trabajo, y estimación de los costos de producción. La información obtenida se retroalimentó en el proceso en busca de una mejor eficiencia medida en términos de bajos costos de inversión y operación y como métodos de trabajo apropiados para el operario.

En esta sección se presenta la descripción del proceso, los equipos seleccionados o diseñados, las condiciones de operación, los métodos de trabajo y los principales requerimientos del proceso.

La información de proceso que se presenta, a pesar de que fue obtenida por simulaciones experimentales del proceso en equipos a escala de la planta, son estimaciones que deben evaluarse en la operación real de la planta de producción, bien sea a nivel piloto o a escala comercial.

6.1 Descripción del proceso

Las operaciones necesarias para la obtención del producto final son: recepción de la materia prima, selección y adecuación, lavado, trozado, secado, premolienda y empaque, y almacenamiento.

El rendimiento total en la transformación de la materia prima a producto final es de 36.4%, lo que determina una relación de yuca fresca a yuca seca de 2.75. Por consiguiente, la cantidad de raíces de yuca que entra al proceso por cada tanda es de 2.75 toneladas para producir 1 tonelada de trocitos de yuca seca.

En la Figura 1 se muestra un diagrama de flujo del proceso, indicando la cantidad de masa que entra y sale de cada operación. Una descripción gráfica del proceso se presenta en la Figura 2.

6.1.1. Recepción

En esta operación se reciben las raíces de yuca fresca, se pesan para el control de entrada de materia prima y se realiza una inspección de la calidad para determinar la aceptación o rechazo.

La yuca se recibe en empaques de fique o yute en cantidades de aproximadamente 50 a 60 kg por bulto. El pesaje se ejecuta en una balanza comercial de 500 kg de capacidad. La inspección se realiza mediante un muestreo al azar del 5% de los bultos recibidos en el lote.

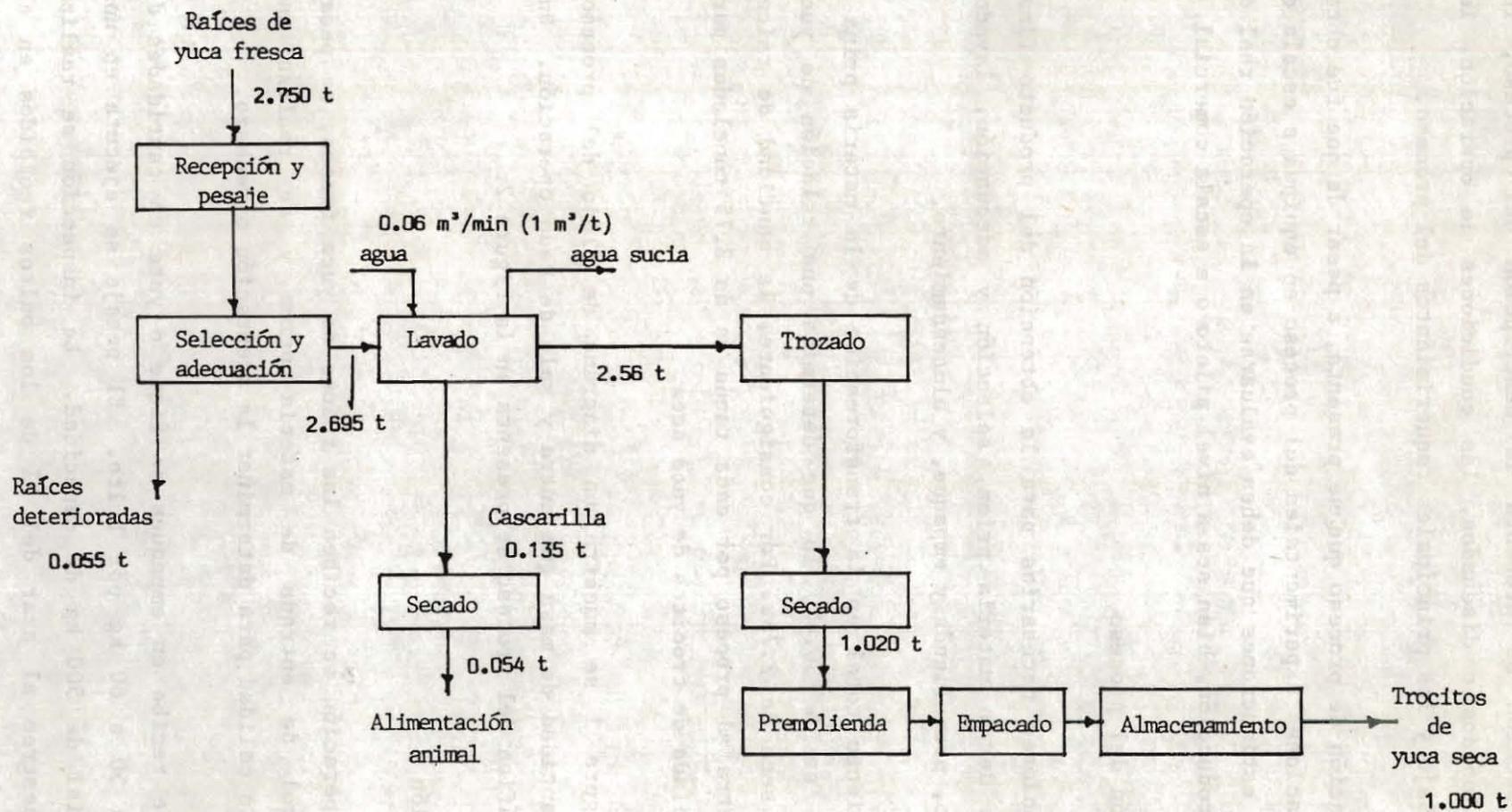


FIGURA 1. DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE TROCITOS DE YUCA SECA

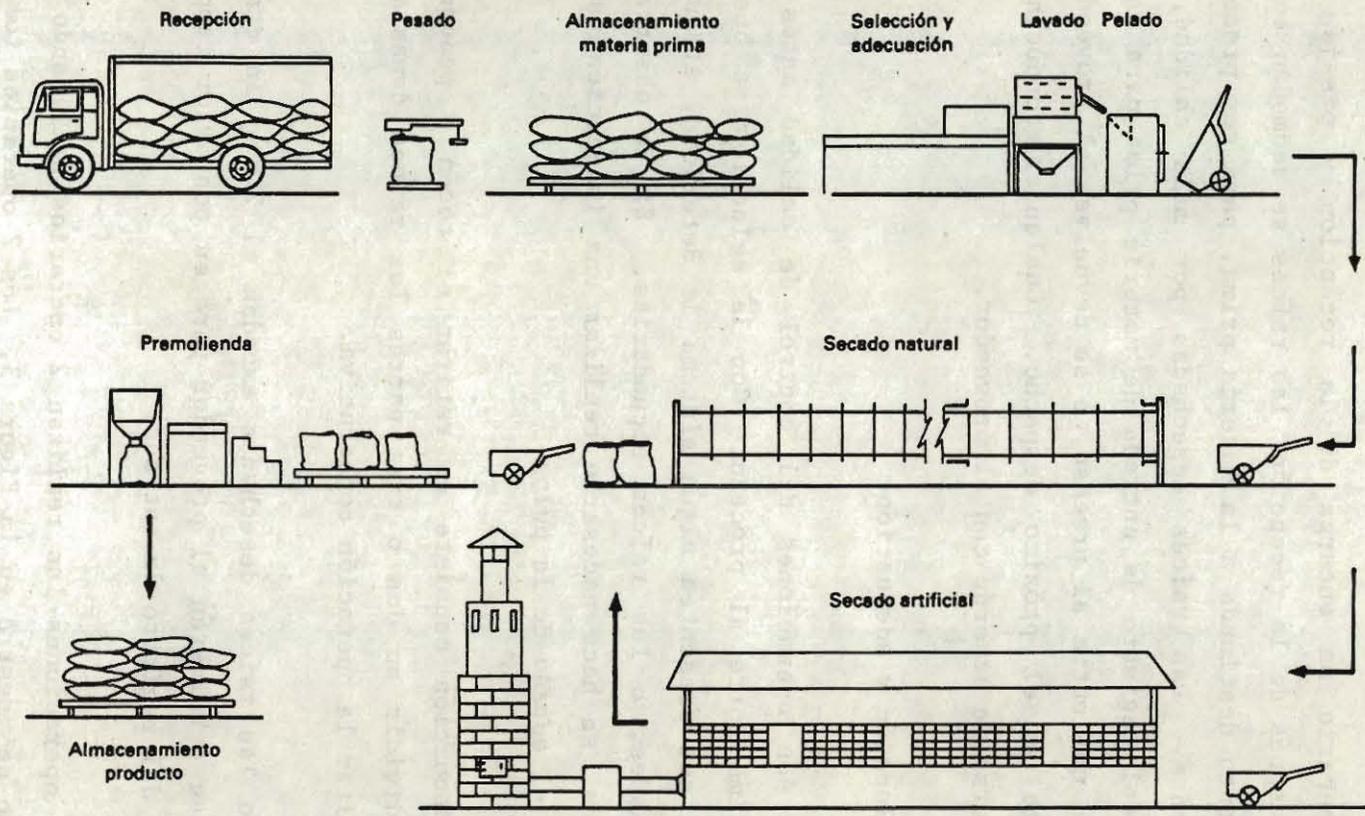


FIGURA 2. DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA PLANTA DE TROCITOS SECOS DE YUCA

A pesar de la inspección, se recomienda que en la compra de materia prima prevalezca una relación de confianza con el proveedor o se establezcan precios diferenciales o bonificaciones para la calidad de la yuca.

Un operario se encarga de la recepción y pesaje de la yuca fresca. Después de la recepción, las raíces se acomodan en el área de almacenamiento destinada a la materia prima, para ser procesadas en el día siguiente. Las raíces desechadas por mala calidad, se pueden descartar del registro de entrada de materia prima para cancelar solo la cantidad que entra al proceso, o se devuelven al proveedor para que las reponga en el próximo despacho. Cualquier conducta a seguir, deberá hacerse de acuerdo con el proveedor.

6.1.2. Selección y adecuación

Estas son operaciones del control de calidad antes de que la materia prima entre al proceso. Con la selección se busca eliminar las raíces que presenten algún síntoma de deterioro, ataque de plagas o enfermedades, o las raíces secundarias. Si se observa ataque de enfermedades, se hace necesario realizar una inspección raíz por raíz y examinar el estado de la pulpa.

La adecuación consiste en retirar el tocón o pedúnculo de las raíces y dividir en dos o tres partes las raíces demasiado grandes, para facilitar la operación consecutiva.

Cuando las raíces desechadas excedan el 2% de la cantidad total comprada, se devolverán al proveedor para su posterior reposición o se descuentan del registro de entrada.

Estas operaciones las realizan 2 operarios utilizando una mesa de madera como se muestra en la Figura 3. Los 2 operarios toman 120 kg de raíces o 2 bultos de aproximadamente 60 kg cada uno y las esparcen en la mesa de selección. Cada operario toma entre sus manos algunas raíces y realizan la selección y adecuación. Las raíces desechadas se arrojan en

en un lado del tambor, por donde se introduce una tolva en la dirección axial del cilindro. La tolva de descarga pivotea sobre un marco de ángulos metálicos, independiente del tambor giratorio.

El agua de lavado se aplica a presión dentro del tambor. La acción combinada del agua y la abrasión de las raíces contra las paredes del tambor y entre ellas mismas, remueve la tierra y la mayoría de la cascarilla o peridermo de las raíces.

En la parte inferior del tambor y externo a él, se coloca una canastilla metálica para retener la cáscara y las fracciones de pulpa extraídas durante el lavado, que salen con el agua sucia. El tambor y la canastilla están dentro de una semicarcaza metálica, la cual contiene una abertura para el desagüe del agua sucia.

En la Figura 4 se presenta una máquina lavadora tipo Mondomo.

La capacidad de la máquina lavadora es de 1440 kg/h tanda. La operación para tandas de 120 kg necesita 2 minutos para la alimentación, 2 minutos para el lavado y 1 minuto para la descarga. Un operario conduce esta operación. La alimentación se realiza con la máquina detenida. Las raíces, colocadas a granel en la plataforma de carga de la lavadora, se cargan manualmente a la máquina utilizando una pala de cuchara ancha. El lavado y la descarga se hacen con la máquina en movimiento. Para la descarga, el operario introduce la tolva axial, por donde descienden las raíces lavadas para continuar a la operación de trozado.

El caudal de agua que se aplica para lavar una tanda de 120 kg en 2 minutos es $0.06 \text{ m}^3/\text{min}$, lo que da una relación de agua de 1 m^3 por tonelada de material suministrado a la máquina.

Para facilitar la operación, los controles eléctricos de arranque y parada de la máquina están al alcance del operario. El elemento de potencia es un motor eléctrico de 1.5 kW para corriente eléctrica monofásica y la transmisión es por correas.

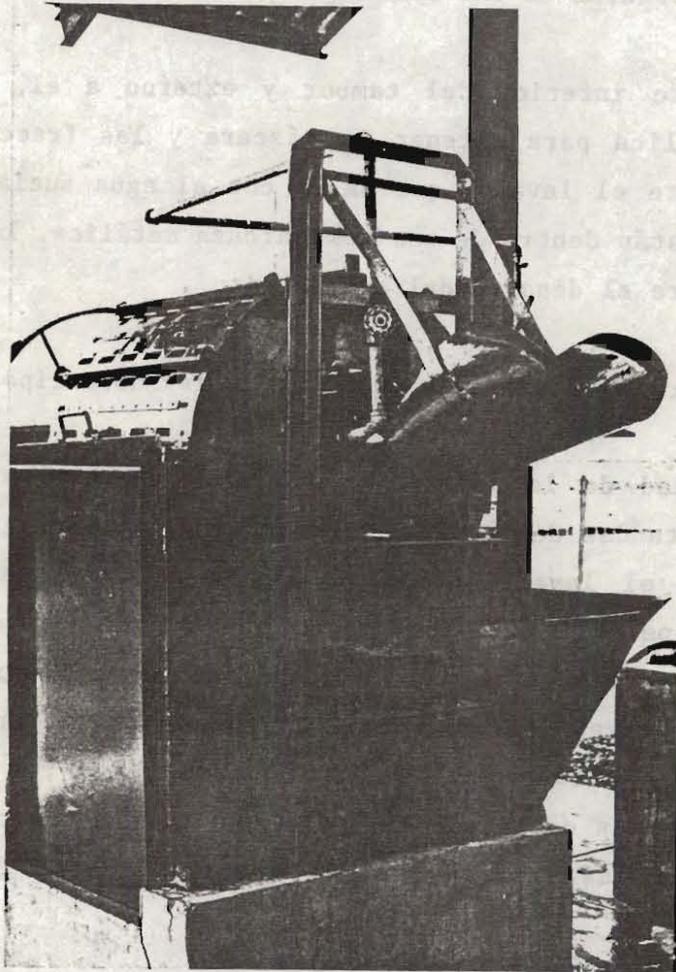


FIGURA 4. PROTOTIPO DE MAQUINA LAVADORA TIPO MONDOMO

En el lavado se presentan pérdidas de materia prima en un 5%. El lavado de toda la materia prima del proceso se realiza en un tiempo de aproximadamente 2 horas, simultáneamente con las operaciones de selección y adecuación.

6.1.4 Trozado

Las raíces de yuca se deben reducir de tamaño hasta alcanzar un estado de subdivisión que facilite el secado. Esta reducción de tamaño se realiza en una máquina picadora tipo Colombia ^{1/}, consiste de una estructura metálica, hecha con láminas de acero común de 3 mm de espesor, que contiene una tolva de alimentación y un disco rotor. La tolva de alimentación tiene suficiente anchura para que no se atasquen las raíces y una inclinación de 45°. El borde inferior de la tolva está situado ligeramente por debajo de la línea horizontal que pasa por el centro del disco rotor. El disco porta varias cuchillas acanaladas en ángulos rectos, desfasadas y distribuidas como se muestra en la Figura 5. Estas cuchillas impactan sobre las raíces, que descienden por la tolva de alimentación y las transforman en trozos. La tolva y el disco en contacto con la yuca se construye de un material no corrosivo, como el acero inoxidable.

Los trozos producidos por la máquina presentan una forma de barra rectangular, pero en diferentes tamaños. El trozo mejor, llamado trozo típico, tiene dimensiones de 50-70 mm de largo, 10 mm de ancho y 6-10 mm de espesor, y es producido en un 36%. Trozos medianos y más delgados se forman en un 49% y trozos más pequeños y partículas finas se agrupan en un 15%. Los trozos típico y mediano, que suman el 85%, presentan buen comportamiento durante las actividades realizadas en el secado.

La capacidad de la máquina picadora tipo Colombia con el disco rotor a 600 rpm, aproximadamente, es de 7.2 t/h. El motor eléctrico monofásico que se acopla a la máquina es de 3.7 kW.

^{1/} Se da este nombre por el país donde se desarrollaron las cuchillas de corte.

La tolva de descarga de la máquina lavadora y la tolva de alimentación de la máquina picadora se acoplan directamente con una diferencia de alturas para mantener el flujo de raíces de yuca desde la lavadora hasta la picadora. El trozado de los 114 kg de raíces de yuca limpia que salen de la lavadora, se realiza en 1 minuto.

Un operario controla el trozado, su labor consiste en acoplar a la máquina una carreta de diseño especial para recolectar los trozos. Después de picar cada tanda proveniente de la lavadora, se retira la carreta llena de trozos acoplada a la máquina picadora, se instala una segunda carreta vacía y se transportan los trozos al secador. En el trozado no se estiman pérdidas de materiales.

El trozado se realiza simultáneamente con la selección y adecuación y el lavado, en un tiempo total de 2 horas.

6.1.5 Secado

En esta operación se elimina por evaporación el agua contenida en los trozos de yuca hasta niveles de humedad inferiores a 14% en base húmeda.

La cantidad de trozos de yuca fresca que entra al secado, después de descontar las pérdidas en las operaciones anteriores, es de 2.56 t. Aproximadamente el 60% de esta materia es agua que se remueve como vapor durante la operación.

El secado se puede llevar a cabo por dos métodos, los cuales requieren bajo capital de inversión y son fáciles de operar por personal sin capacitación técnica. Estos son el secado natural en bandejas inclinadas y el secado artificial en capa fija.

Secado natural

El secado natural aprovecha la energía solar y la capacidad de secado del viento cuando circula a través de los trozos de yuca, los cuales se esparcen sobre bandejas y se colocan al aire ambiente. Las

bandejas son de malla tejida de alambre galvanizado con una distribución de 15 agujeros por centímetro cuadrado (100 agujeros por pulgada cuadrada). La malla se soporta en un marco de varillas de hierro de 6.35 mm de diámetro. Las dimensiones internas de las bandejas, ajustadas por el tamaño de los materiales disponibles y la facilidad de manejo, son 0.78 m de ancho y 1.8 m de largo, proporcionando un área de 1.4 m^2 .

Las bandejas se colocan sobre travesaños soportados por dos hileras de postes, con un ángulo de inclinación de 30° para aprovechar la dirección del viento. Los soportes y los travesaños se pueden construir de bambú, guadua, madera u otro material disponible en la región.

En la Figura 6 se presenta una bandeja metálica cargada con trozos de yuca.

La cantidad de trozos que se esparcen por metro cuadrado de área de las bandejas se denomina densidad de carga y varía con las condiciones ambientales de radiación solar, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. Las cargas más frecuentes oscilan entre 14 a 20 kg/m^2 .

Los trozos se deben voltear durante la operación para que sequen uniformemente. La frecuencia de volteo es mayor para cargas altas. Las cargas menores de $16 \text{ kg}/\text{m}^2$ no necesitan ser volteadas; sin embargo, con $16 \text{ kg}/\text{m}^2$ es recomendable voltear los trozos una vez al día para acelerar el secado.

El tiempo de secado para las cargas de 14 a $16 \text{ kg}/\text{m}^2$ y las condiciones ambientales de la Costa Atlántica durante la época seca, caracterizadas por luminosidad o brillo solar durante 10 a 12 horas diarias y velocidades del viento mayores a 2 m/s, es de 2 días. Con la carga de $16 \text{ kg}/\text{m}^2$ se logra la mayor producción y se requiere menos área de secado. Para el volteo manual de los trozos se emplea un rastrillo de madera, que se muestra en la Figura 7. Durante la noche, las bandejas se pueden dejar en los soportes si no hay riesgo de lluvia; de

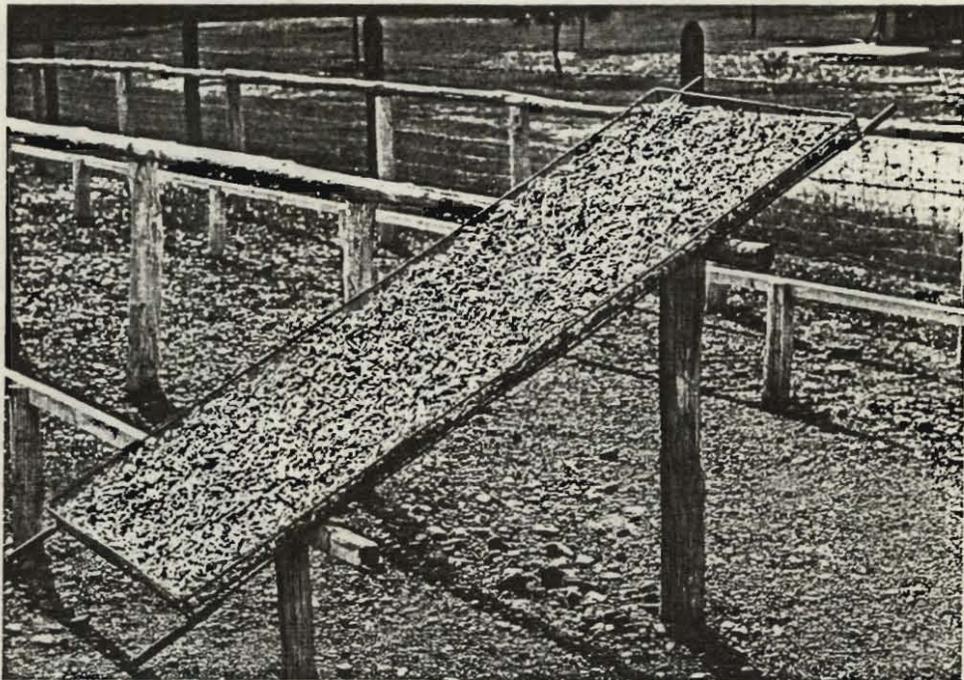


FIGURA 6. BANDEJA METALICA PARA EL SECADO NATURAL DE TROZOS DE YUCA

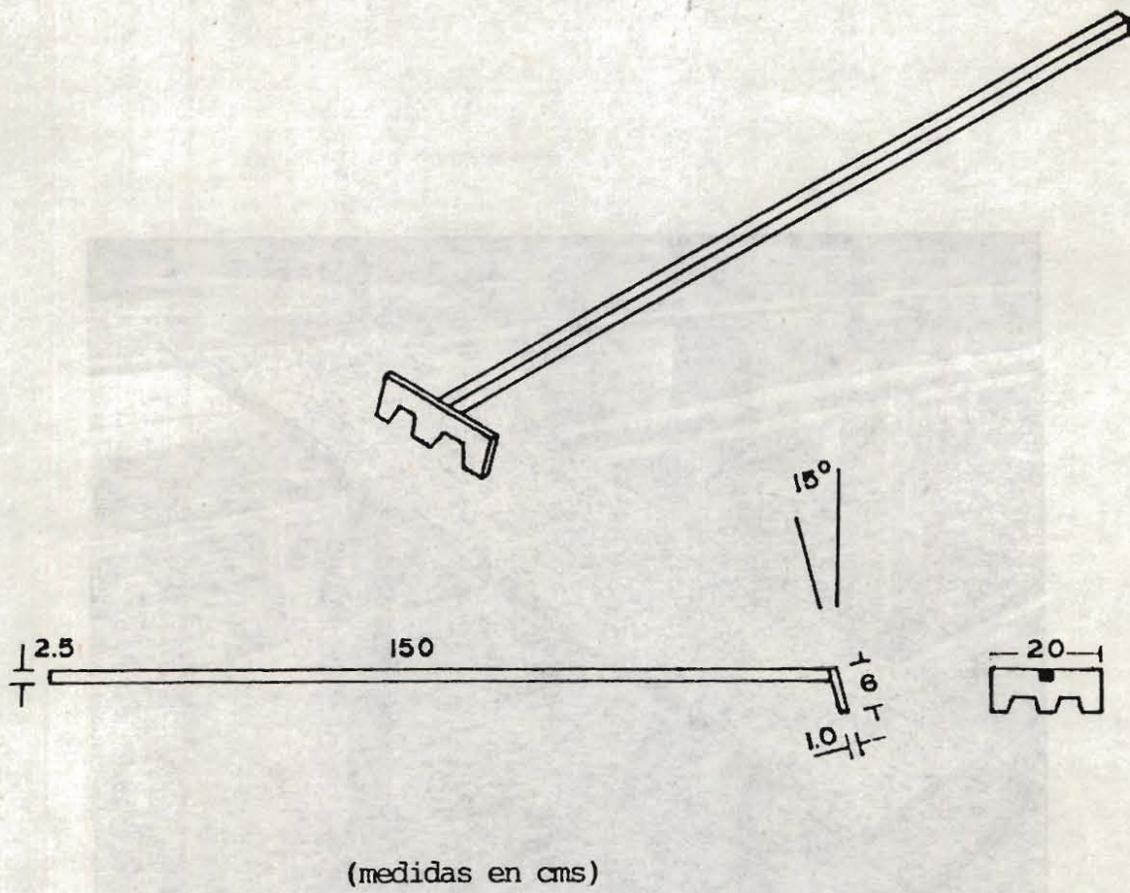


FIGURA 7. RASTRILLO DE MADERA PARA ESPARCIR Y VOLTEAR LOS TROZOS DE YUCA SOBRE LAS BANDEJAS DE SECADO

lo contrario, se deben cubrir con una lona o plástico hasta el día siguiente.

Para secar una tanda de 2.56 t de trozos de yuca con este sistema natural y una densidad de carga de 16 kg/m^2 , teniendo en cuenta que cada bandeja tiene un área de 1.4 m^2 , se requieren aproximadamente 120 bandejas. En vista de que el secado toma 2 días, se necesita el doble de bandejas para poder secar la tanda del segundo día. Las 240 bandejas se instalan en los soportes en 14 hileras de 17 bandejas cada una, dejando entre hileras una vía de tránsito para el transporte del material. Se busca que la distribución de las hileras de bandejas formen un cuadrado, para minimizar las distancias entre la trozadora y las bandejas y, por lo tanto, el tiempo de transporte de los trozos. Para esto, la trozadora se coloca en un punto de manera que equidisten las distancias entre ella y las bandejas.

El transporte de los trozos hasta las bandejas lo hace el operario que controla el trozado, utilizando las carretas de acople directo con la máquina picadora. La cantidad de trozos que transporta en cada viaje es 114 kg, correspondiente a una tanda de lavado. El tiempo empleado en cada viaje es de 5 minutos; en este tiempo el operario retira la carreta llena de trozos acoplada a la máquina picadora, acopla la otra carreta vacía y se traslada, con la carreta, hasta las bandejas situadas a una distancia máxima de 40 m. Luego, llena las bandejas con ayuda de una pala de cuchara ancha, alcanzando cada viaje para llenar 5 bandejas con aproximadamente 22 kg (3 paladas) cada una.

La capacidad para el transporte de los trozos y el llenado de las bandejas es 1440 kg/h. hombre, por lo que un operario realiza estas labores con la cantidad total de trozos (2.56 t) en menos de 2 horas.

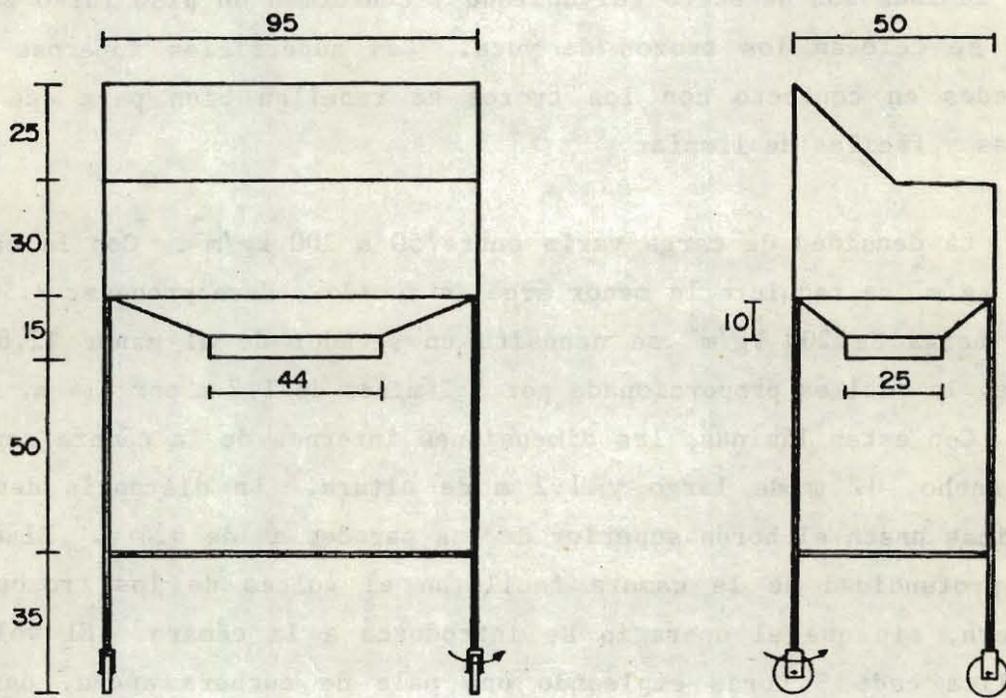
El esparcimiento uniforme de los trozos se realiza después de que las bandejas han sido llenadas. El volteo de los trozos se hace una vez al día. Cada una de estas labores demandan una capacidad de 2200 kg/h. hombre. De acuerdo con la mano de obra reportada en las anteriores operaciones, 2 operarios hacen la selección y adecuación, 1 operario

conduce el lavado y 1 controla el trozado y el cargue de las bandejas, operaciones que son ejecutadas simultáneamente en menos de 2 horas. En consecuencia, después de que los operarios terminen estas labores, 3 se encargan de esparcir los trozos y de voltearlos, empleando aproximadamente 30 minutos para desarrollar cada actividad, y el otro se asigna a otra labor. El volteo de la tanda de trozos procesados en el día anterior se realiza en las horas de la mañana y la tanda procesada en el mismo día se voltea en las horas de la tarde.

Una vez que los trozos alcancen el nivel de secado apropiado, se recogen y empaican para ser trasladados hasta la bodega, donde son premolidos y almacenados. Un método sencillo para determinar cuando los trozos están secos, consiste en aprisionarlos entre la mano y si se quiebran fácilmente se pueden considerar secos; sin embargo, se debe observar si la parte interna de los trozos está seca. Este método es rudimentario y depende de la experiencia de los trabajadores.

La recolección de los trozos secos se lleva a cabo mediante un embudo metálico (ver Figura 8), por donde estos son vaciados para ser empacados en bolsas de fique o yute. La cantidad de trozos secos que se obtienen por tanda es aproximadamente 1.02 t debido a que el 60% es agua que se evapora en el secado. La recolección es realizada por 2 hombres en 40 minutos. Los trozos empacados son llevados a la bodega, situada a una distancia máxima de 30 m, empleando una de las carretas de la picadora. En la carreta se cargan 3 bultos, más o menos 120 kg, y un operario transporta la cantidad total de trozos en 30 minutos. En la bodega se descargan en la zona de almacenamiento temporal para ser premolidos.

El secado natural en bandejas se puede aplicar únicamente en la época seca, que en la Costa Atlántica sucede durante aproximadamente 20 semanas al año, por lo que su aplicación debe hacerse continua, procesando 7 tandas por semana para aprovechar al máximo las condiciones ambientales existentes en esta época.



(medidas en cms)

FIGURA 8. ESQUEMA DEL EMBUDO METALICO PARA EMPACAR LOS TROZOS SECOS DE YUCA

Secado Artificial

El secado artificial consiste en hacer circular aire caliente a través de una capa o lecho fijo de trozos de yuca. El aire suministra el calor necesario para evaporar la humedad del material. Por lo tanto, la implementación de este método requiere de un secador de capa fija, un ventilador y un equipo para el calentamiento del aire.

El secador es una cámara de paredes de ladrillo levantadas sobre un piso de concreto. En el interior y a 0.8 m del piso se instalan varias láminas metálicas perforadas en un 3% de su área con agujeros de 3 mm de diámetro. Estas láminas crean una cámara de presión o cámara pleno, que distribuye el flujo de aire uniformemente en toda el área del secador. Las láminas son de acero galvanizado y conforman un piso falso sobre el que se colocan los trozos de yuca. Las superficies internas de las paredes en contacto con los trozos se repellan bien para que queden lisas y fáciles de limpiar.

La densidad de carga varía entre 50 a 200 kg/m². Con la carga de 200 kg/m² se requiere la menor área de secado. Para procesar 2.56 t con una carga de 200 kg/m² se necesita un secador de al menos 12.8 m² de área, la cual es proporcionada por 5 láminas de 1.2 m por 2.4 m, calibre 22. Con estas láminas, las dimensiones internas de la cámara son 1.2 m de ancho, 12 m de largo y 1.2 m de altura. La distancia desde las láminas hasta el borde superior de las paredes es de 0.4 m. El ancho y la profundidad de la cámara facilitan el volteo de los trozos desde afuera, sin que el operario se introduzca a la cámara. El volteo se realiza cada 3 horas empleando una pala de cuchara ancha, destinada únicamente para este fin y mantenida en condiciones higiénicas. El volteo y la distribución uniforme del flujo de aire contribuyen en un secado homogéneo y más rápido.

El tiempo de secado depende de la temperatura y del caudal de aire aplicado. Varía entre 10 a 12 horas cuando la temperatura del aire es de 60°C y el caudal aplicado de 110 m³/min por tonelada de trozos de yuca fresca alimentados al secador. La temperatura se limita a 60°C

para evitar la gelatinización del almidón y el tostado de la yuca, que ocurre, según Chirife y Cachero (1970), a 84°C.

El ventilador, de acuerdo con el caudal aplicado y la cantidad de trozos frescos de yuca, debe impulsar un caudal de 282 m³/min a una presión estimada de 6.35 mm de columna de agua, para vencer las resistencias al flujo ejercidas por el equipo de calentamiento, las láminas perforadas y la capa de trozos de yuca. El ventilador para este deber es uno centrífugo, con un rodete de 68.6 cm de diámetro que gira a 1241 rpm de velocidad, movido por un motor eléctrico monofásico de 3.7 kW.

Para calentar el caudal de aire desde una temperatura ambiente promedio de 25°C hasta 60°C se le debe transferir un flujo de calor de 177 kW. Para este servicio, se diseñó un conjunto quemador de carbón con intercambiador de calor. El carbón mineral se emplea como combustible porque su disponibilidad y costo en Colombia es favorable en comparación con otras fuentes energéticas.

El quemador de carbón diseñado es de parrilla fija y conducción manual, demanda un consumo de combustible de aproximadamente 450 kg por tonelada de trozos de yuca seca, por lo que se debe alimentar con 40 kg de carbón cada hora. El quemador es una cámara de combustión cilíndrica de 1 m de diámetro por 2 m de alto, la que se construye con material refractario, resistente a temperaturas altas, de un espesor de 10 cm. En la cámara se instala la parrilla de hierro fundido de 1 m de diámetro.

El intercambiador de calor se acopla verticalmente al quemador, consta de 37 tubos lisos de 7.5 cm de diámetro interior, 8.2 cm de diámetro externo y 2 m de longitud. Estos tubos tienen una especificación comercial de 3½ pulg. de diámetro nominal por 0.135 de referencia, y son conocidos como tubos de fuego o tubería de acero para calderas. Por el interior de los tubos fluyen los gases de la combustión y salen al ambiente por la chimenea. Por el lado de la carcasa, que encierra a los tubos, fluye el aire de secado en contracorriente con los gases de

combustión. El calentamiento es indirecto, es decir, no se mezcla el aire con los gases.

Un esquema del secador, ventilador y unidad quemador-intercambiador, es dado en la Figura 9.

Las labores en la operación con el sistema de secado artificial se realizan en forma análoga a las del secado en bandejas, utilizando los mismos implementos, 2 carretas y 1 pala de cuchara ancha. El transporte de los trozos y el cargue del secador, situado a una distancia máxima de 25 m desde la trozadora, lo hace 1 operario, el mismo que controla el trozado, con una capacidad de 1700 kg/h. hombre. La tanda de 2.56 t de trozos es transportada y cargada al secador en menos de 2 horas, simultáneamente con las anteriores operaciones.

Una vez cargado el secador y terminadas las demás operaciones, un operario esparce los trozos y se encarga de voltearlos 3 ó 4 veces en la jornada, que dura entre 10 a 12 horas de secado, y de controlar la operación del sistema.

El control del sistema de secado consiste en operar el quemador de carbón de forma eficiente para mantener el caudal y la temperatura del aire en los valores establecidos. La operación del quemador se hace en dos fases, fase de arranque o ignición del carbón y fase de sostenimiento. El arranque tarda $\frac{1}{2}$ hora y se gasta entre 2.5 a 3 veces la cantidad de carbón de la segunda fase. En la fase de sostenimiento se trata de mantener la temperatura del aire en la cámara pleno del secador en un valor de 60°C, regulando el consumo de carbón en 40 kg/h o controlando el caudal de aire mediante una compuerta instalada en el ducto de succión del ventilador. Por medio de esta compuerta se admite aire fresco del ambiente, el cual se mezcla con el aire caliente que circula por el quemador-intercambiador y se disminuye la temperatura, pero solo sirve como control para reducir la temperatura del aire.

El descargue del secador lo hacen 2 operarios en 30 minutos. Los 2.56 t de trozos frescos se convierten en 1.02 t de trozos secos, los

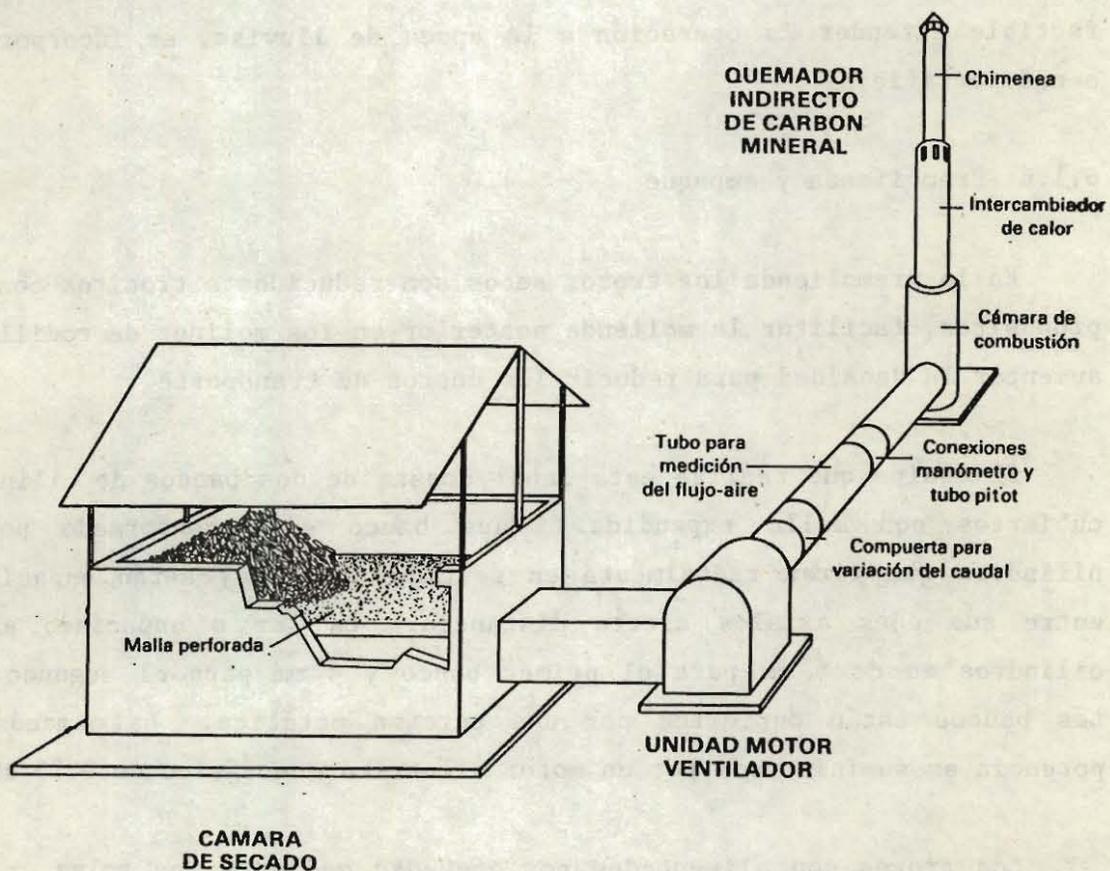


FIGURA 9. SECADOR ARTIFICIAL DE CAPA FIJA CON QUEMADOR DE CARBON PARA CALENTAR EL AIRE

cuales se empacan en costales de fique, utilizando el embudo descrito en la Figura 8, y se transportan con las carretas hasta la bodega.

El secado artificial tiene capacidad para operar sin limitaciones de tiempo debido a que no depende de las condiciones ambientales. En el principio, el proceso se puede implementar con el secado natural en bandejas y, posteriormente, si hay disponibilidad de materia prima y es factible extender la operación a la época de lluvias, se incorpora el secado artificial.

6.1.6 Premolienda y empaque

En la premolienda los trozos secos son reducidos a trocitos con dos propósitos, facilitar la molienda posterior en los molinos de rodillos y aumentar la densidad para reducir los costos de transporte.

El equipo que realiza esta labor consta de dos bancos de cilindros cubiertos con malla expandida. Cada banco está conformado por 2 cilindros que giran radialmente en sentido opuesto y están espaciados entre sus ejes axiales cierta distancia. La luz o espaciado entre cilindros es de 6 mm para el primer banco y 4 mm para el segundo ^{1/}. Los bancos están cubiertos por una carcasa metálica. La demanda de potencia es suministrada por un motor eléctrico monofásico de 0.75 kW.

Los trozos son alimentados por gravedad mediante una tolva, pasan por entre los cilindros del primer banco que produce la primera reducción de tamaño, luego descienden y caen al segundo banco, que los comprime más y produce el segundo quiebre. Los trocitos que se producen son descargados a través de una tolva con dos salidas, para ser empacados en bolsas de polipropileno en cantidades de 50 kg cada una. El cerrado de las bolsas es por costura manual.

La operación es realizada por un operario. La capacidad estimada con este equipo es 350 kg/h, por lo que la premolienda de los 1020 kg

^{1/} La máquina premoledora está actualmente en fase de diseño, por lo que las medidas dadas para el espaciado son valores estimados.

de trozos secos que salen del secador cada tanda emplea 3 horas. Las pérdidas que se presentan por formación de polvo durante la operación se estiman en 1%.

6.1.7 Almacenamiento

El producto empacado en bolsas de polipropileno de 50 kg cada una, se almacena en la bodega formando arrumes sobre estibas de madera en una zona adyacente a la premoledora. Un arrume se hace en plancha con 200 sacos (10 t), distribuidos en 10 capas de 20 sacos por capa, y cuando se construye así mide 3.4 m de largo por 2.5 m de ancho por 3.0 m de alto. Por consiguiente, la densidad de almacenamiento es de 392 kg de producto por m^3 de bodega.

La venta de producto es conveniente realizarla cada 4 ó 5 semanas, necesitándose espacio para almacenar 30 t de producto. Para esto se requieren 3 arrumes, que ocupan un área total de $40 m^2$, dejando espacio entre arrumes para acceso, limpieza o fumigación.

Las condiciones adecuadas para el almacenamiento son buena ventilación y ambiente seco para evitar la reabsorción de humedad, ya que la yuca seca por su alto contenido de almidón favorece el crecimiento de hongos y la producción de toxinas que impiden el uso del producto. En buenas condiciones de almacenamiento, el producto, con humedades por debajo del 14% en base húmeda, se conserva por períodos prolongados sin deterioro de su calidad.

La bodega conforma un solo edificio donde se almacena el producto, se instala la premoledora y se guarda la herramienta y otros implementos, por lo tanto, las dimensiones para proporcionar el espacio suficiente son 14 m de largo por 8 m de ancho por 4 m de alto. Para acceso se dejan 2 puertas, una de las cuales es de 3 m de ancho. La bodega se construye con materiales de la región.

6.1.8 Eliminación de desechos

El único desecho del proceso se forma en el lavado de la materia prima. La cascarilla café y las fracciones de cáscara y pulpa de las raíces son separadas del agua sucia por una canastilla metálica instalada en la lavadora. Este subproducto se seca y se puede comercializar para la alimentación animal. La cantidad de subproducto fresco por día es aproximadamente 134 kg, que se convierten en 50 kg seco.

Puede ser necesario dejar decantar el agua sucia antes de evacuarla por el sistema general de desagüe. Un tanque de decantación para reposar los 2.75 m³ de agua sucia debe tener 2 m de ancho por 3 m de largo por 0.5 m de profundidad. Después del desagüe, el lodo se debe botar en un lugar alejado de la planta. Esta operación no se incluye en el proceso porque la planta va a estar ubicada en la zona rural.

6.2 Requerimientos del proceso

Los principales requerimientos que se deben satisfacer para la implementación del proceso son los suministros de materia prima, agua, energía eléctrica y la disponibilidad de mano de obra.

6.2.1 Materia prima

La demanda de materia prima depende de la capacidad de la planta y del período de operación por año. La capacidad se fijó en 7 tandas por semana, cada tanda de 2.75 t de yuca fresca para producir 1 t de yuca seca. El tiempo de operación abarca 40 semanas al año, 20 semanas comprenden la época seca y el resto se ubica dentro de la época lluviosa; por seguridad se descartan 12 semanas en las que pueden presentarse dificultades para cosechar y transportar las raíces hasta la planta debido a fuertes lluvias. La demanda de materia prima es de 770 t por año, equivalente a unas 80 hectáreas de tierra cultivada.

En algunas regiones de la Costa Atlántica la producción de yuca fresca permite operar únicamente durante la época seca y se requiere extender el área de la tierra cultivada o aumentar el rendimiento por hectárea para abastecer a la planta durante la época de lluvias. Al comienzo, se puede operar 20 semanas con secado natural en bandejas, requiriendo 385 t de yuca fresca para producir 140 t de yuca seca por año. Por consiguiente, el área de cultivo necesaria para este abastecimiento debe ser de 40 hectáreas. Extender la producción a la época de lluvias implicará doblar la tierra cultivada y aplicar técnicas de cultivo escalonadas para suministrar la demanda de materia.

En otras regiones, como en Magdalena y Cesar, hay producción de yuca durante 8 meses del año, es decir 40 semanas, por lo que el abastecimiento de materia prima en estos sitios no implica mayores cambios en la tecnología de producción de yuca fresca.

6.2.2 Agua

El agua es un recurso indispensable para el lavado de la materia prima, lavado de equipos e instalaciones, servicios sanitarios y uso del personal de la planta.

Para el lavado de la materia prima se requiere 1 m^3 de agua por tonelada de yuca fresca cargada en la máquina lavadora. El consumo de agua en el lavado para procesar cada día una tanda de raíces de yuca fresca, sin descontar las pérdidas en la operación anterior, es de $2.75 \text{ m}^3/\text{día}$. Para el lavado de los equipos e instalaciones de la planta es necesario $1 \text{ m}^3/\text{día}$ y para los servicios sanitarios y uso del personal se calcula un gasto de aproximadamente $0.5 \text{ m}^3/\text{día}$. Por lo tanto, la planta debe tener un abastecimiento de agua potable de $4.5 \text{ m}^3/\text{día}$.

Las posibilidades de que la planta se pueda surtir de agua de la red municipal son reducidas debido a que este servicio no existe en la mayoría de las regiones rurales de la Costa Atlántica. Sin embargo, existen acuíferos que abastecen agua para uso agrícola o humano, pero se encuentran a profundidades entre 50 a 120 m o aún más, por lo que se

requiere una inversión alta para la perforación de un pozo profundo. En algunas zonas de la Costa Atlántica, aprovechando el nivel freático alto, se puede extraer agua a no más de 10 m de profundidad con un molino de viento tipo Gaviotas o mediante algún sistema de bombeo. Esta alternativa es de menor costo. En consecuencia, en el montaje de la planta piloto se debe estudiar la disponibilidad y calidad de las aguas superficiales para construir un pozo y diseñar un sistema de tratamiento que permita abastecer a la planta de agua potable.

Existe la posibilidad de tratar el agua sucia del lavado para reutilizarla en el proceso, con el consecuente ahorro de este insumo. Si en la zona de ubicación de la planta hay grandes dificultades para conseguir agua, se debe considerar esta alternativa.

6.2.3 Energía eléctrica

La demanda de potencia es suministrada por motores eléctricos monofásicos debido a que en las áreas rurales de la Costa Atlántica no hay servicio de corriente eléctrica trifásica. El consumo de energía eléctrica se considera igual a 1.35 la potencia nominal del motor, suponiendo una eficiencia promedio de los motores del 74%, por las horas que demanda su funcionamiento. Esta información se muestra en la Tabla 5. El consumo referido a toneladas de producto seco es de 17 kWh/t para la operación con secado natural y 77 kWh/t para la operación con secado artificial.

Para la iluminación de la planta utilizando bombillos de 100 W y para otros servicios se estima un gasto de corriente eléctrica de 5.0 kWh/día. Si este consumo se carga al producto se convierte en 5.0 kWh/t.

Por lo tanto, el consumo total de energía eléctrica es de 22 kWh/t y 82 kWh/t para la operación con secado natural y artificial, respectivamente.

TABLA 5. Consumo de energía eléctrica por tonelada de trocitos de yuca seca

Operación	Motor kW	Tiempo de operación h	Consumo kWh/t
Lavado	1.5	2	4.0
Trozado	3.7	2	10.0
Secado artificial (ventilador)	3.7	12	60.0
Premolienda	0.75	3	3.0

En Colombia, la energía eléctrica se genera y se transporta por cables hasta los centros urbanos e industriales a 13,200 voltios. Para que la planta se pueda abastecer de una línea de alto voltaje, se necesita de un transformador que lo reduzca hasta 110 o 220 voltios, según el voltaje de trabajo de los motores. Un transformador de corriente monofásica de 50 kVA proporciona capacidad para que la planta pueda operar y hacer futuras expansiones.

6.2.4 Mano de obra

La mano de obra directa que demanda el proceso es suministrada por 4 operarios; distribuidos en la siguiente forma: 2 operarios realizan la selección y adecuación de la materia prima, 1 controla el lavado y 1 opera la trozadora y transporta los trozos frescos hasta el secador. Estas operaciones emplean 2 horas, por lo que esporádicamente uno de los operarios de la selección y adecuación se encarga de la recepción y pesaje de la materia prima que pueda llegar durante este lapso de tiempo.

Después de las 2 horas de iniciar operaciones, los operarios se dedican a las demás labores. El secado requiere 3 operarios con el sistema natural o 1 con el artificial. El resto de operarios se ocupa en la premolienda, empaque y almacenamiento de la yuca seca.

Los requerimientos de mano de obra, expresados en horas-hombre por tonelada de producto seco, se presenta en la Tabla 6. El proceso requiere 26 h-hombre/t para la operación con un secado natural y 33 h-hombre/t cuando se emplea un secado artificial.

En vista de que el proceso es por tandas, resulta difícil hacer una programación de las actividades diarias; sin embargo, de acuerdo con la información dada en la descripción del proceso y en la Tabla 6, se hizo una distribución tentativa de los operarios, que se muestra en el Anexo 1.

Además de la mano de obra directa, se necesita un jefe de planta que coordine las diferentes actividades y un gerente o administrador que se encargue, además de las obligaciones de su cargo, de garantizar el suministro de materia prima.

7. DISTRIBUCION EN PLANTA

La distribución en planta implica la ordenación física de los elementos del proceso tales como equipos, operarios, materiales y todas las demás actividades requeridas para el buen funcionamiento de la planta.

Un procedimiento sencillo que sirve de guía para el arreglo en planta consiste en determinar las necesidades de área con relación al volumen de producción previsto, establecer la relación de cada una de las áreas con las demás, considerando el movimiento de materiales para un patrón de flujo, y seleccionar una localización y distribución general. Sobre esta distribución general se sigue el ciclo de desarrollo del proceso, con la correspondiente retroalimentación de resultados en cada fase, para finalmente establecer la distribución detallada y planear la ubicación de la planta.

7.1 Determinación de la cantidad y tipo de áreas

En esta sección se cuantifican las áreas y los requerimientos para la distribución en planta.

Area para retiro de residuos:	2.3 m ²
Area para mantenimiento:	1.6 m ²
Area para pasillos:	2.0 m ²
	<hr/>
Total	10.0 m ²

4. Trozado: El equipo utilizado es la máquina picadora tipo Colombia. El espacio para la instalación del equipo es:

Area física:	1.0 m ²
Area para material procesado y acceso:	17.0 m ²
Area para mantenimiento:	1.0 m ²
Area para pasillos:	2.0 m ²
	<hr/>
Total	21.0 m ²

5. Secado:

Secado natural en bandejas inclinadas sobre soportes:

Area física:	217 m ²
Area para pasillos internos:	125 m ²
Area de acceso:	95 m ²
	<hr/>
Area para un patio de secado:	437 m ²
Area total ^{1/} :	874 m ²

Secado artificial en secador de capa fija:

Area secador-ventilador:	
Física:	35 m ²
Manejo del material y acceso:	60 m ²
Mantenimiento	5 m ²
	<hr/>
	100 m ²

^{1/} Para producir 1 t/día con el secado natural se debe disponer de 2 patios de secado.

Area quemador de carbón:

Física:	4 m ²
Operación y mantenimiento:	16 m ²

Total	<hr/> 20 m ²
-------	-------------------------

Area depósito de carbón ^{1/} :

Descarga:	10 m ²
Almacenamiento:	20 m ²

Total	<hr/> 30 m ²
-------	-------------------------

6. Premolienda y empaque: La premolienda se realiza en la máquina premoledora de rodillos. Las necesidades de área son:

Area física:	2 m ²
Area para material a procesar:	8 m ²
Area para operación:	4 m ²
Area para material procesado:	4 m ²
Area para pasillos:	2 m ²

Total	<hr/> 20 m ²
-------	-------------------------

7. Almacenamiento y despacho: el almacenamiento del producto se hace en la bodega. El área necesaria es:

Area de almacenamiento:	25 m ²
Area para pasillos:	15 m ²

Total:	<hr/> 40 m ²
--------	-------------------------

El área para el despacho es de 102 m². La información relacionada con el despacho se presenta en la Tabla 7.

^{1/} Consumo diario de carbón: 0.5 t/día. Peso específico del carbón: 0.9 t/m³. Frecuencia de recibo: 30 días.

Tabla 7. Información sobre el despacho de producto final

Frecuencia de despacho	Tipo de transporte		Area requerida
	Medio	Medidas	
Cada 4 semanas	Camiones con capacidad hasta de 30 t	Largo: 14 m Ancho: 2.5 m Altura: 3.6 m Altura plata- forma: 1.2 m	102 m ² para parqueo y cargue manual del camión

7.1.2. Areas auxiliares y de servicio

1. Oficinas: El área de la oficina requerida para dos (2) administradores es de 18 m².

2. Baños: Para plantas con un número de empleados de 1 a 15 personas se debe disponer 1 inodoro, 1 lavamanos y 1 orinal. El área aproximada para estos servicios es de 10 m².

3. Cuarto de herramientas: Es necesario disponer de área suficiente para almacenar las herramientas siguientes:

- 240 bandejas una vez haya finalizado la producción durante la estación seca.
- Carretas, palas y rastrillos
- Herramienta de reparación
- Insumos directos

El área requerida se establece en:

Area para bandejas:	18 m ²
Area para carreta, herramientas, etc.:	$\frac{12}{30} \frac{m^2}{m^2}$
Total	30 m ²

En la Tabla 8 se resume la cantidad de área requerida por la planta. La bodega proporciona el espacio suficiente para el almacenamiento del producto (40 m^2), para las herramientas (30 m^2) y para futuros imprevistos.

7.2 Establecimiento del flujo global de materiales

El patrón de flujo en U es el que más ventajas ofrece, ya que permite realizar desde una misma área el control sobre el recibo de la materia prima y el despacho del producto, utilizando el mismo equipo (báscula, carreta, etc.) y la misma vía de acceso a la planta, minimiza el manejo de materiales y hace más compacta la planta.

7.3 Distribución detallada de la planta

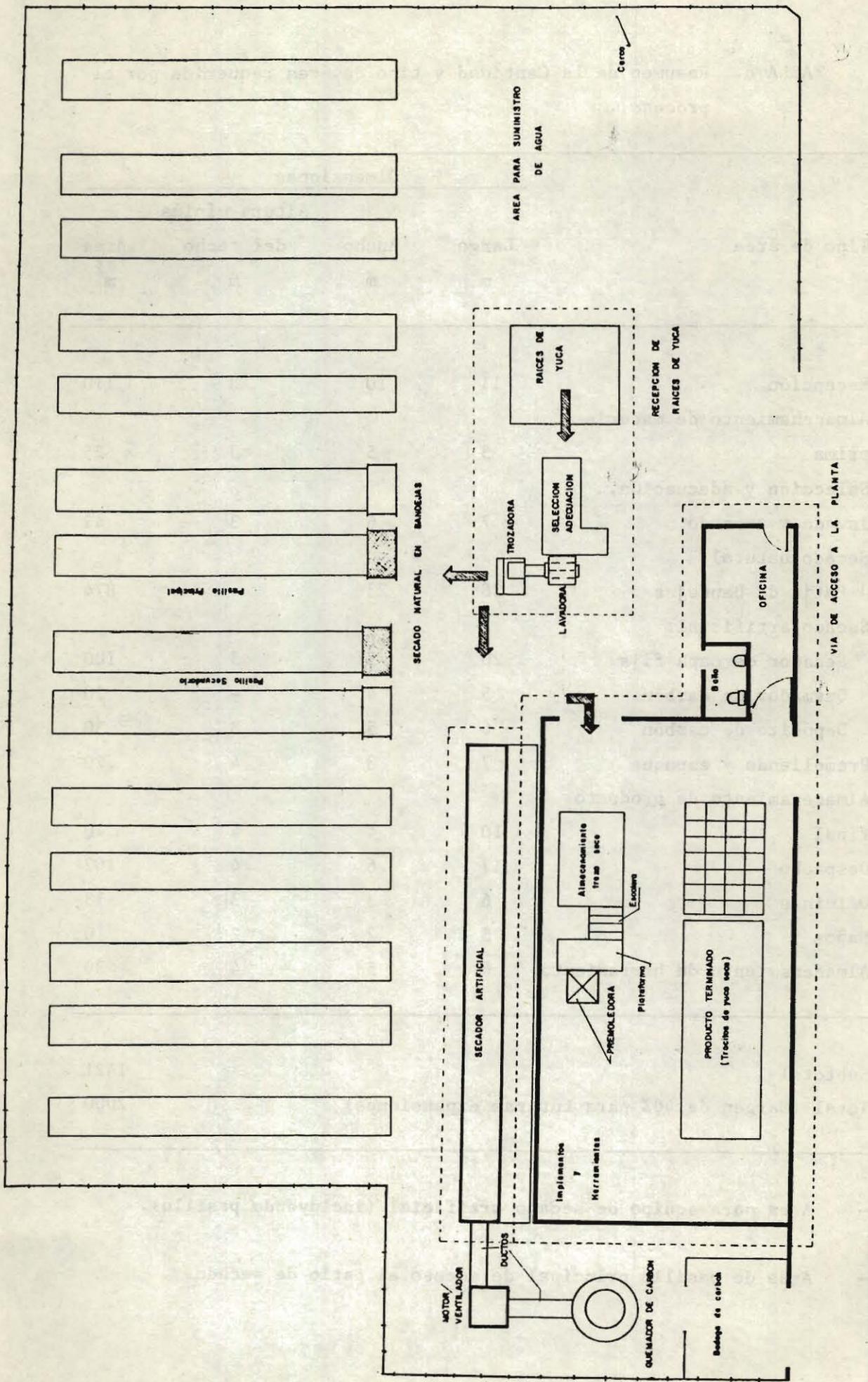
Establecido el patrón de flujo, para obtener el arreglo final de la planta fue necesario seguir un procedimiento de error y ensayo hasta satisfacer los requerimientos del proceso y considerar todos los factores que afectan la distribución. La distribución final de la planta se presenta en la Figura 10.

7.4 Detalles de la construcción

Es conveniente discutir un poco varios detalles referentes a la construcción.

1. Pisos. La planta tendrá pisos de concreto en las siguientes áreas:

- Área de almacenamiento de materia prima, selección y adecuación, lavado y trozado.
- Área de bodega (premollienda y almacenamiento de producto terminado).
- Área de oficina y servicios sanitarios.



CONVENCIONES
 --- Proyecto de lecho
 -> Flujo de materia

FIGURA 10. PLANTA PRODUCTORA DE TROCITOS DE YUCA SECA

TABLA 8. Resumen de la Cantidad y tipo de área requerida por el proceso.

Tipo de área	Dimensiones			Área m ²
	Largo m	Ancho m	Altura mínima del techo m	
Recepción	11	10	3	110
Almacenamiento de materia prima	5	5	3	25
Selección y adecuación, lavado y trozado	7	6	3	42
Secado natural:				
Patio de bandejas	38	23	-	874
Secado artificial:				
Secador de capa fija	20	5	3	100
Quemador de carbón	5	4	-	20
Depósito de carbón	6	5	3	30
Premolienda y empaque	7	3	4	20
Almacenamiento de producto final	10	4	4	40
Despacho	17	6	4	102
Oficinas	6	3	3	18
Baños	5	2	2	10
Almacenamiento de herramienta	6	5	4	30
Subtotal				1421
Total (Margen de 40% para futuras expansiones)				2000

- Área para equipo de secado artificial (incluyendo pasillo).
- Área de pasillo principal de acceso al patio de secado.

El espesor de la losa de concreto puede ser diferente para cada área y obtener algunos ahorros en su construcción. Sin embargo, se puede suponer un espesor común a todas las áreas no inferior a los 10 cm. Los pisos tendrán un acabado contra resbalones y emisión de polvo. En las áreas de selección y adecuación, lavado y trozado, el piso será lavable, no poroso ni absorbente y con una pendiente del 2% hacia el canal de desagüe.

La superficie del piso de los pasillos secundarios, del patio de secado, deberá ser un material tal que no obstaculice el paso de la carreta. Este puede ser de concreto de poco espesor o en carbonilla fina compactada. La restante área del patio de secado puede ser cubierta con grava menuda. No se debe permitir que germinen plantas que puedan alojar insectos que infesten a los trozos.

2. Paredes. Se requieren paredes para las bodegas, oficinas y baños. Estas pueden ser construidas con bloques o ladrillo con un acabado liso en su interior y pintadas con un color claro. Las uniones de encuentro de las paredes con el piso y de éstas entre sí, deberán ser redondeadas para facilitar su limpieza.

El restante perímetro de la planta puede ser encerrado con una cerca de alambre de púas y malla de gallinero para evitar la entrada de roedores y otros animales.

3. Techos. Se requiere techo para las áreas de bodega, oficina y baños, recepción de materia prima, selección y adecuación, lavado, trozado y secado artificial.

El techo del área de bodega y oficina puede ser común y construido a dos aguas con teja de Eternit. Tendrá una altura mínima de 3.5 y una altura máxima de 4.5 m.

El techo para las áreas de materia prima, selección y adecuación, lavado y trozado será común, construido en Eternit y a una sola

pendiente; estará soportado por columnas en hormigón o estructura metálica y tendrá una altura mínima de 3.5 m.

El techo para la cámara de secado y el ventilador puede ser una prolongación independiente del techo de la bodega; ser construido en lámina de zinc y con una altura mínima de 3 m. Todos los techos serán pintados en su interior con colores claros.

d. Misceláneos. La bodega tendrá un sistema de ventilación natural de manera que evite el resecamiento del producto final. La Figura 11 ilustra un ejemplo de cómo puede conseguirse dicha ventilación.

7.5 Orientación de la planta en el sitio

En lo posible la orientación de la planta en el sitio debe realizarse de tal forma que las edificaciones de la planta, edificaciones vecinas, árboles, etc., no obstaculicen ni la circulación del aire ni los rayos solares dirigidos hacia el patio de secado. El viento deberá circular paralelo a la cámara de secado y perpendicular a la infraestructura del patio de secado. Es importante que la chimenea quede ubicada a sotavento del secado y de la bodega para evitar que los trozos se contaminen con los humos de la combustión. La Figura 12 ilustra una forma ideal de dar una orientación de la planta en el sitio.

8. ANALISIS ECONOMICO

El análisis económico para la planta productora de trocitos de yuca seca comprende la estimación de los costos de inversión y operación, la determinación del punto de equilibrio, el cálculo de la rentabilidad económica y el análisis de sensibilidad para los parámetros más influyentes del proyecto.

El estudio se realiza para dos modelos de planta piloto, designados planta I y planta II, clasificación que se hace con el propósito de diferenciar los métodos de secado y los períodos de operación por año. La planta I opera con el secado natural en bandejas inclinadas durante

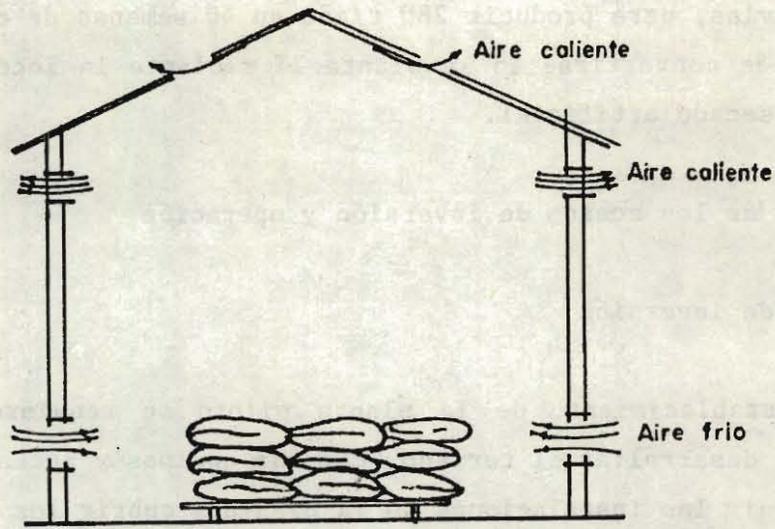


FIGURA 11. SISTEMA DE VENTILACION EN LA BODEGA

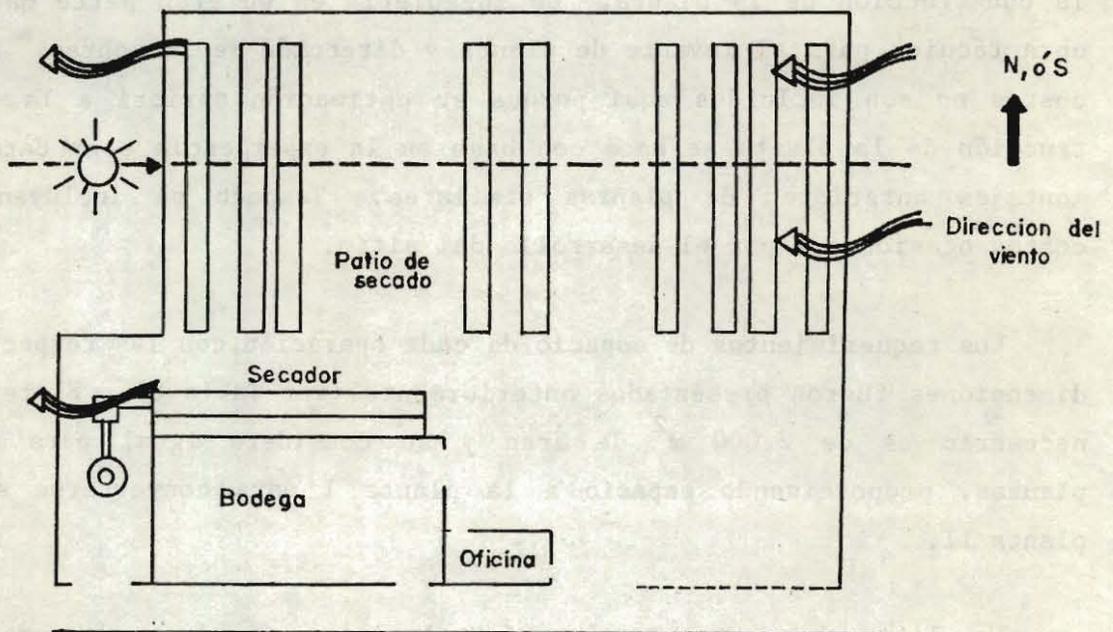


FIGURA 12. ORIENTACION IDEAL DE LA PLANTA EN EL SITIO

20 semanas al año y tiene una capacidad de producción de 140 t/año. La planta II utiliza el secado natural en época seca y el secado artificial en época de lluvias, para producir 280 t/año en 40 semanas de operación. La planta I puede convertirse en la planta II mediante la incorporación del sistema de secado artificial.

8.1 Estimación de los costos de inversión y operación

8.1.1. Costos de inversión

Para el establecimiento de la planta piloto se requiere capital para adquirir y desarrollar el terreno, comprar equipos y accesorios del proceso, construir las instalaciones de la planta y cubrir los gastos de construcción e ingeniería.

Los gastos de construcción comprende los equipos y herramientas que no son parte del proceso ni son permanentes, pero que se necesitan para la construcción de la planta. La ingeniería es en gran parte mano de obra técnica para el levante de planos y dirección de las obras. Estos costos no son incluidos aquí porque su estimación a priori a la construcción de la planta se hace con base en la experiencia o en datos de montajes anteriores de plantas similares. Tampoco se incluyen los costos ocasionados por el desarrollo del sitio.

Los requerimientos de espacio de cada operación con las respectivas dimensiones fueron presentados anteriormente (ver Tabla 8). El terreno necesario es de 2,000 m² de área y se considera igual para ambas plantas, proporcionando espacio a la planta I para convertirse en la planta II.

La lista y costo de las instalaciones, equipos de proceso, herramientas y muebles de oficina, se presentan en la Tabla 9. Los costos fueron estimados de cotizaciones nacionales, se expresan en pesos colombianos y son válidos para el último trimestre de 1986. En los costos de la lavadora, la trozadora, el ventilador y la premoledora se incluyen los costos de los motores eléctricos. El literal E comprende

TABLA 9. Costos de inversión para la planta de producción de trocitos de yuca. 1986.

Concepto	Valor parcial \$ Col.	Valor total \$ Col.
A. Instalaciones		800,000
Bodega-oficina	650,000	
Area lavado-picado	120,000	
Cerco	30,000	
B. Equipo de proceso		3,900,000
Báscula (500 kg)	50,000	
Mesa de selección	30,000	
Lavadora "Mondomo"	350,000	
Trozadora Colombia	300,000	
Filas de soporte (14)	60,000	
Bandejas (240)	960,000	
Secador de capa fija (14 m ²)	250,000	
Ventilador	500,000	
Quemador de carbón	600,000	
Premoledora	200,000	
Estibas de madera (4)	30,000	
Carreta especial (2)	80,000	
Embudo metálico (2)	40,000	
Transformador de 50 kVA	450,000	
C. Herramientas		75,000
Palas metálicas (6)	6,000	
Rastrillos de madera (6)	4,200	
Empaques de fique (40)	4,800	
Carpa plástica (576 m ²)	60,000	
D. Terreno (2000 m²)		150,000
E. Equipo suministro de agua		300,000
F. Muebles - oficina		60,000
Planta I: Subtotal		3,935,000
Total (15% imprevistos)		4,525,250
Planta II: Subtotal		5,285,000
Total (15% imprevistos)		6,077,750

la infraestructura y equipo necesario para el suministro del agua a la planta. (ver anexo 2).

La inversión requerida para la planta I, sin incluir los costos del secador, el ventilador y el quemador de carbón, es de \$4,525,250 y para la planta II es de \$6,077,750.

8.1.2. Costos de producción

Los costos de producción se clasifican en dos grupos, costos variables y costos fijos, y se presentan en pesos colombianos para el último trimestre de 1986.

1. Costos variables: para el cálculo de los costos variables de producción se toma como base las cantidades de materiales e insumos requeridos para producir 1 tonelada de trocitos de yuca seca. Estos son:

a. Materia prima: se requieren 2,750 kg de yuca fresca para producir 1 tonelada de trocitos de yuca seca. El precio de la yuca fresca se estima en \$9/kg.

b. Mano de obra: en el área rural la forma más común de cancelar lo devengado por mano de obra es pagando por tarea realizada; sin embargo, para una mejor comprensión del efecto de la mano de obra sobre los costos de operación es conveniente trabajar con las horas-hombre reales, incluyendo tiempos muertos. La demanda de mano de obra se cuantificó en 4 hombres, quienes laboran un total de 8 horas diarias distribuidas en varios turnos; es decir, 32 h-hombre por tonelada de producto seco para ambas plantas. El jornal de 8 horas es de \$560, el cual asciende a \$756 con el 35% de prestaciones. Por lo tanto, el costo de la hora-hombre es de \$95.

c. Material de empaque: se requieren 20 empaques de polipropileno por tonelada de trocitos. El costo de cada empaque es de \$110.

d. Energía eléctrica: el consumo de energía para la planta I es de 22 kWh/t y de 82 kWh/t para la planta II. El precio del kWh se estima en \$7.6 para el área rural.

e. Agua: de acuerdo con el consumo de agua se requieren 4.5 m^3 por tonelada de producto seco. El precio del metro cúbico se calculó en \$10 (ver anexo 2 sobre suministro de agua).

f. Carbón: el consumo de carbón para la operación con un sistema de secado artificial se estimó en 450 kg por tonelada de yuca seca. El precio del kg de carbón se cotizó puesto en la planta a \$9.0.

La Tabla 10 contiene el resumen de los costos variables para ambas plantas. Los costos para la planta II son valores ponderados con respecto a la capacidad de producción debido al empleo de dos sistemas de secado que operan en épocas diferentes, la variación se presenta únicamente para los consumos de energía eléctrica y carbón mineral. La ponderación de los costos es igual a totalizarlos en el año y dividirlos entre la producción anual.

TABLA 10. Resumen de los costos variables de operación para la planta productora de trocitos de yuca 1986.

Concepto	Costo unitario \$/unidad	Planta I			Planta II				
		Unidades/t	\$/t	%	unidades/t			valor \$/t	%
					secado natural	secado artificial	ponderado		
Materia prima (kg)	9.0	2,750	24,750	82.0	2,750	2,750	2,750	24,750	76.2
Mano de obra (h-hombre)	95.0	32	3,040	10.0	32	32	32	3,040	9.4
Empaque (unidades)	110.0	20	2,200	7.3	20	20	20	2,200	6.8
Energía (kwh)	7.6	22	167	0.5	22	82	52	395	1.2
Carbón (kg)	9.0	-	-	-	-	450	225	2,025	6.2
Agua (m^3)	10.0	4.5	45	0.2	4.5	4.5	4.5	45	0.2
Total			30,202	100.0				32,455	100

2. Costos fijos: se consideran como costos fijos la administración, la depreciación y el mantenimiento.

a. Administración: para el adecuado funcionamiento de la planta se requiere 1 administrador general y 1 supervisor de planta; para los cuales se asignan salarios de \$40,500 y \$30,000 mensuales, respectivamente, incluyendo el 35% de prestaciones sociales. Por consiguiente, los costos de administración para ambas plantas ocasionados por los 2 administrativos es de \$2,350 por tonelada de producto seco.

b. Depreciación: en la Tabla 11 se presentan los costos anuales por depreciación para ambas plantas, calculados por el método de línea recta.

c. Mantenimiento: los costos anuales por mantenimiento también se incluyen en la Tabla 11 y se calculan con base en un porcentaje del costo inicial de cada equipo.

Los costos de depreciación y mantenimiento se pueden referir a pesos por tonelada de producto seco para unificar unidades con los costos variables. La planta I tiene una capacidad de 140 t/año y la planta II de 280 t/año. Con estos valores, los costos de depreciación y mantenimiento se convierten, respectivamente, en \$2,702 y \$468 para la planta I y \$1,833 y \$334 por tonelada de producto seco para la planta II.

En la Tabla 12 se resumen los costos fijos para los dos modelos de planta y en la Tabla 13 se presenta el resumen de los costos totales de producción.

8.2 Determinación del punto de equilibrio

El punto de equilibrio es el nivel de operación de la planta en el cual los ingresos son iguales a los gastos y costos, no produciéndose por lo tanto utilidad ni pérdida alguna. Este punto de nivelación se puede calcular a través de la siguiente expresión:

TABLA 11. Costos de depreciación y mantenimiento para la planta productora de trocitos de yuca seca. 1986.

Concepto	Vida útil años	Depreciación Col.\$/año	Mantenimiento	
			%	Col.\$/año
A. Instalaciones				
Bodega-oficina	20	32,500	2	13,000
Area lavado-picado	20	6,000	2	2.400
Cerco	5	6,000		-
B. Equipo de proceso				
Báscula	10	5,000	2	1,000
Mesa de selección	10	3,000		-
Lavadora	10	35,000	5	17,500
Trozadora	10	30,000	5	15,000
Soportes	10	6,000		-
Bandejas	10	96,000		-
Secador	10	25,000	2	5,000
Ventilador	10	50,000	1	5,000
Quemador de carbón	10	60,000	3	18,000
Premoledora	10	20,000	3	6,000
Estibas	5	6,000		-
Carretas	10	8,000	2	1,600
Embudo	10	4,000		-
Equipo oficina	5	12,000		-
Transformador	10	45,000	2	9,000
C. Herramientas				
Palas metálicas	3	2,000		-
Rastrillos de madera	3	1,400		-
Empaques de fique	2	2,400		-
Carpa plástica	3	20,000		-
E. Equipo suministro de agua				
Tanque	10	10,000		-
Pozo	10	12,000		-
Motor y bomba	5	16,000		-
Planta I		378,300		65,500
Planta II		513,300		93,500

TABLA 12. Resumen de los costos fijos de producción. 1986

Concepto	Planta I		Planta II	
	\$/t	%	\$/t	%
Administración	2,350	42.6	2,350	52.0
Depreciación	2,702	49.0	1,833	40.6
Mantenimiento	468	8.4	334	7.4
Total	5,520	100.0	4,517	100.0

TABLA 13. Resumen de los costos totales de producción. 1986.

Concepto	Planta I	Planta II
	\$/t	\$/t
Costos variables	30,202	32,455
Costos fijos	5,520	4,517
Total	35,722	36,972

$$PE = \frac{CFU}{PVU - CVU} \times Q$$

en donde

PE = Punto de equilibrio, t/año

CFU = Suma de los costos fijos y costos financieros unitarios para la capacidad Q, \$/t

CVU = Costo variable unitario, \$/t

PVU = Precio de venta unitario, \$/t

Q = Capacidad instalada, t/año

Para el cálculo de CFU se deben estimar el capital de trabajo y los costos financieros. El capital de trabajo se estima para 4 semanas de operación, es decir, 28 t de producto. Los costos financieros se calculan tomando como referencia la tasa de interés conseguida en corporaciones crediticias por la industria agropecuaria, el cual generalmente es de 18% anual sobre la inversión en capital fijo y 16% anual sobre inversión en capital de trabajo durante el tiempo correspondiente al período de amortización del préstamo. En las Tablas 14 y 15 se presentan el capital de trabajo y los costos financieros para las plantas I y II calculados para un período de amortización de 6 años.

TABLA 14. Determinación del capital de trabajo para las plantas I y II. 1986.

Concepto	Costo, \$/t	Capital requerido, \$	
		Planta I	Planta II
Materia prima	24,750	693,000	693,000
Mano de obra	3,040	85,120	85,120
Empaque	2,200	61,600	61,600
Carbón	2,025	-	56,700
Administración	2,350	65,800	65,800
Mantenimiento		13,100	9,350
Imprevistos		81,380	78,430
Inversión en capital de trabajo		1,000,000	1,050,000

El precio de venta en el mercado se estima en \$45,000 por tonelada puesto en planta. En la Tabla 16 se presentan los resultados de la determinación del punto de equilibrio. La planta I tiene un punto de equilibrio de 118 t/año con una utilización de la capacidad instalada de 84%. La planta II tiene un punto de equilibrio de 202 t/año y una capacidad utilizada de 72%.

TABLA 15. Costos financieros para las plantas I y II. 1986.

Concepto	Planta I	Planta II
Inversión fija (IF)	4,525,250	6,077,750
Capital de trabajo (CT)	1,000,000	1,050,000
Costo financiero sobre IF (18%)	814,545	1,093,995
Costo financiero sobre CT (16%)	160,000	168,000
Costos financieros por año	974,545	1,261,995
Costos financieros por unidad, \$/t	6,961	4,507

TABLA 16. Determinación del punto de equilibrio

Variable	Planta I	Planta II
Q (t/año)	140	280
CVU (\$/t)	30,202	32,455
CFU (\$/t)	12,481	9,024
PVU (\$/t)	45,000	45,000
PE (t/año)	118	202
Capacidad utilizada, %	84.3	72

En la Tabla 17 se presentan los costos totales y unitarios para diferentes niveles de producción de las plantas I y II.

8.3 Rentabilidad económica

Para el cálculo de la rentabilidad se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

1. El proyecto se realiza con dinero propio, por lo que no se considera la disponibilidad u origen de los fondos.

TABLA 17. Costos totales y unitarios para diferentes niveles de producción de las plantas I y II. 1986

Nivel de Producción t/año	P l a n t a I				P l a n t a I I				
	Costos <u>1/</u> totales \$/año	Ingreso <u>2/</u> disponible \$/año	Costo unitario \$/t	Capacidad utilizada %	Nivel de Producción t/año	Costos <u>1/</u> totales \$/año	Ingreso <u>2/</u> disponible \$/año	Costo unitario \$/t	Capacidad utilizada %
	118	5,311,180	-	45,010	84	202	9,082,728	-	44,964
119	5,341,434	13,566	44,886	85	238	10,251,136	458,864	43,072	85
126	5,552,820	117,180	44,070	90	252	10,705,464	634,536	42,482	90
140	5,975,620	324,380	42,683	100	280	11,614,120	985,880	41,479	100
154	6,398,392	531,608	41,548	110	308	12,522,972	1,337,028	40,659	110

1/ Costo total = (CVU + CFU).Q

donde CFU = Costo fijo unitario + costo financiero unitario, \$/t.

CVU = Costo variable unitario, \$/t.

Q = Nivel de producción, t/año.

2/ Ingreso disponible = Costo total - PVU x Q

donde PVU = Precio de venta unitario, \$45,000/t.

NOTA: Todos los ingresos son antes de amortización de cualquier deuda adquirida para inversión o capital de trabajo.

2. El análisis se hace para un período de operación de 6 años.
3. El valor residual de la inversión al cabo de los 6 años de operación se estima equivalente al valor en libros de ésta al final del sexto año.

La rentabilidad se representó en la tasa interna de interés, la cual consiste en el rendimiento del proyecto medido como las utilidades por período sobre la inversión no amortizada a lo largo de los 6 años. Como herramienta de cálculo se utilizó un computador personal. Los resultados se presentan en las Tablas 18 y 19. Las rentabilidades para las plantas I y II son 25.6 y 34.8%, respectivamente. Por lo tanto, el proyecto de producción de trocitos de yuca seca para la elaboración de una harina destinada al consumo humano es rentable para cada una de las plantas.

La planta II presenta otras alternativas de operación durante la época seca, que permiten aumentar la capacidad de producción; puede operar con ambos sistemas de secado, natural y artificial, en forma independiente durante la época seca, o realizar un secado mixto.

El secado mixto se lleva a cabo en dos días. En el primer día los trozos de yuca son secados en las bandejas inclinadas y en el segundo día se alimentan al secador de capa fija para terminar la operación. La capacidad aumenta debido a que se pueden emplear todas las bandejas disponibles para procesar mayor cantidad de trozos frescos, las bandejas se desocupan al día siguiente y se vuelven a cargar con otra tanda.

Estas alternativas de operación no se incluyen en el análisis porque implican aumentos de capacidad diaria para la planta piloto propuesta y cambia los requerimientos de materia prima y mano de obra. El método de producción con un secado mixto y otro modelo de planta que opera únicamente con secado artificial durante todo el año, fueron estudiados por Collazos y Ruiz (1987) y resultaron rentables. En algunas regiones de la Costa Atlántica, como en el Depto. del Magdalena,

TABLA 18. Costos y beneficios anuales de la Planta I. Col.\$. 1986.

Concepto	Períodos, años						
	0	1	2	3	4	5	6
Inversión inicial	4,525,250						
Capital de trabajo	1,000,000						
Costo de reposición de equipos y herramientas			4,800	70,200	4,800	200,000	
Costos de producción		4,622,808	4,622,808	4,622,808	4,622,808	4,622,808	4,622,808
Ingresos por ventas		6,300,000	6,300,000	6,300,000	6,300,000	6,300,000	6,300,000
Valor residual de equipos y herramientas							1,945,000
Capital de trabajo							1,000,000
Flujo neto	-5,525,250	1,677,892	1,637,092	1,607,692	1,673,092	1,557,892	4,470,892
Tasa interna de retorno:	25,6 %						
Valor presente neto al 10%:	\$2,961,420						

TABLA 19. Costos y beneficios anuales de la Planta II. Col. \$. 1986.

Concepto	Períodos, años						
	0	1	2	3	4	5	6
Inversión inicial	6,077,750						
Capital de trabajo	1,050,000						
Costo de reposición de equipos y herramientas			4,800	70,200	4,800	200,000	
Costos de producción		9,838,956	9,838,956	9,838,956	9,838,956	9,838,956	9,838,956
Ingresos por ventas		12,600,000	12,600,000	12,600,000	12,600,000	12,600,000	12,600,000
Valor residual de equipos y herramientas							2,485,000
Capital de trabajo							1,050,000
Flujo neto	-7,127,750	2,761,044	2,756,244	2,690,844	2,756,244	2,561,044	6,296,044
Tasa interna de retorno:	34.8 %						
Valor presente neto al 10%:	\$6,098,691						

hay producción de yuca durante al menos 8 meses del año, por lo que es factible sin mucho esfuerzo montar un proyecto de producción durante todo el año.

8.4 Análisis de sensibilidad

Para establecer el efecto que tiene el costo de la materia prima, el factor de conversión, el precio de venta del producto, la mano de obra, el consumo y costo de carbón, y la inversión fija sobre la rentabilidad del proyecto, se hizo un análisis de sensibilidad. El análisis se realiza en forma simple, cambiando una variable mientras se dejan fijas las restantes; los valores que toman estas variables cuando se fijan se resumen en la Tabla 20.

Los resultados del análisis se presentan en las tablas 21, 22, 23, 24, 25, 26 y 27. Con respecto a la tabla 21, las plantas tienen capacidad para absorber incrementos del costo de la materia prima hasta \$11,0 por kg, sin cambiar el precio de venta del producto seco, lo que permite montar la planta piloto en una región diferente a la Costa Atlántica si se consigue materia prima a precios entre \$9.0 a

TABLA 20. Valores que toman las variables cuando se fijan en el análisis de sensibilidad

Variable	Planta I	Planta II
Costo de la materia prima, \$/kg	9.0	9.0
Factor de conversión	2.75	2.75
Precio de venta del producto, \$/t	45,000	45,000
Mano de obra, h-hombre/t	3,040	3,040
Consumo de carbón, kg/t	-	450
Costo de carbón, \$/kg	-	9.0
Inversión fija, \$	4,525,250	6,077,750

TABLA 21. Efecto del precio de la materia prima sobre la rentabilidad de las plantas I y II

Precio de la yuca fresca \$/kg	Rentabilidad, %	
	Planta I	Planta II
9.0	25.6	34.8
10.0	17.7	22.7
11.0	9.5	10.0
12.0	1.0	-

TABLA 22. Efecto del factor de conversión sobre la rentabilidad de las plantas I y II

Factor de conversión	Rentabilidad, %	
	Planta I	Planta II
2.75	25.6	34.8
2.80	24.3	32.8
2.90	21.8	28.9
3.00	19.2	24.9
3.10	16.5	20.9
3.20	13.9	16.8
3.30	11.2	12.6
3.40	8.5	8.3

TABLA 23. Efecto del precio de venta del producto sobre la rentabilidad de las plantas I y II

Precio de venta \$/t	Rentabilidad, %	
	Planta I	Planta II
39,000	8.0	7.6
40,000	11.0	12.4
42,000	17.0	21.5
45,000	25.6	34.8
46,000	28.5	39.1

TABLA 24. Efecto de la mano de obra sobre la rentabilidad de las plantas I y II

Número de operarios	Mano de obra h-hombre/t	Rentabilidad, %	
		Planta I	Planta II
4	32	25.6	34.8
5	40	23.5	31.5
6	48	21.3	28.1
7	56	19.1	24.8
8	64	16.8	21.4

TABLA 25. Efecto del consumo de carbón sobre la rentabilidad de la Planta II

Consumo de carbón kg/t ^{1/}	Rentabilidad %
400	35.7
450	34.8
500	33.8
550	32.8
600	31.8

1/ Se refiere a toneladas de yuca seca.

TABLA 26. Efecto del precio de carbón sobre la rentabilidad de la Planta II

Precio del carbón \$/kg	Rentabilidad %
9.0	34.8
10.0	33.8
11.0	32.8
12.0	31.8
13.0	30.9
14.0	29.9
15.0	28.9
20.0	23.9

TABLA 27. Efecto del incremento en la inversión inicial sobre la rentabilidad de las plantas I y II

Incremento de la inversión inicial Col.\$	Rentabilidad, %	
	Planta I	Planta II
500,000	22.4	31.7
1,000,000	19.5	29.0
1,500,000	17.0	26.5

\$11.0 por kg. El factor de conversión no es tan crítico como el precio de la materia prima ya que ambas plantas son rentables hasta factores de conversión de 3.2 (ver Tabla 22). El precio de venta es un parámetro importante porque afecta los ingresos y no puede ser menor de \$40,000. Si el precio de venta se incrementa obviamente la rentabilidad mejora (ver Tabla 23).

La mano de obra, el consumo y costo del carbón (ver Tablas 24, 25 y 26) son variables que no influyen tan significativamente en la rentabilidad del proyecto. El incremento de la inversión inicial tampoco lo es (ver Tabla 27), por lo que el proceso se puede mecanizar más para reducir el manejo de materiales y facilitar las labores de los operarios; por ejemplo, se puede introducir un elevador de las raíces frescas entre las operaciones de selección-adequación y lavado, sin que se reduzca apreciablemente la rentabilidad.

Para determinar el margen mínimo entre el precio de compra de la materia prima y el de venta del producto final, se utilizaron diferentes precios de la yuca fresca y de los trocitos de yuca seca para calcular la rentabilidad de las plantas, utilizando el factor de conversión de 2.75. Los resultados se muestran gráficamente en la Figura 13.

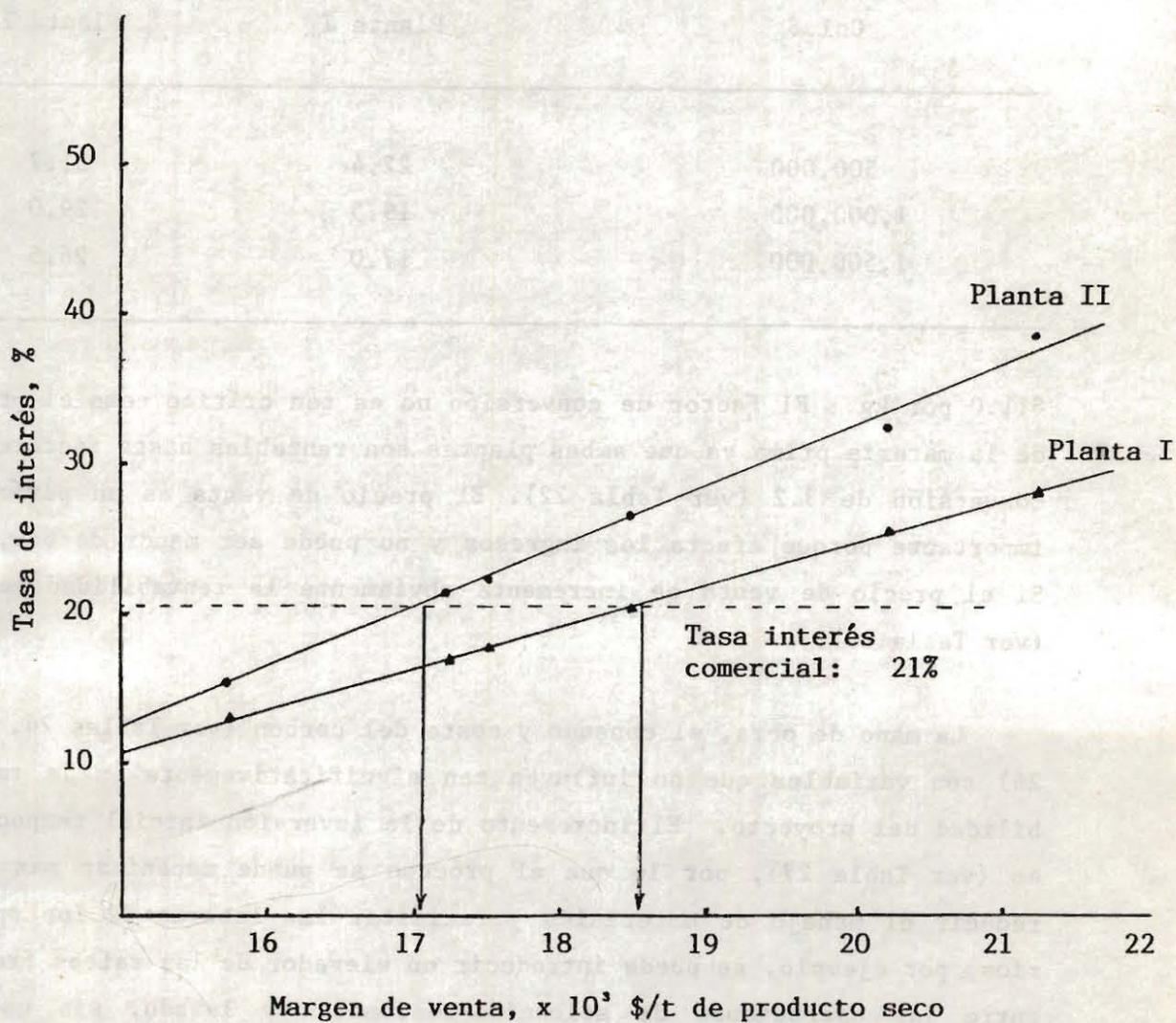


FIGURA 13. RELACION ENTRE LA TASA INTERNA DE INTERES Y EL MARGEN DE VENTA

Se aprecia que para una tasa de interés comercial del 21%, la planta I necesita un margen de \$18,700 por tonelada de producto seco para que sea rentable y la planta II un margen de \$17,100. Para tasas de interés más bajas los márgenes de venta son menores.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el área del procesamiento de yuca fresca a trocitos de yuca seca, el sistema de producción diseñado y los análisis económicos preliminares indican que el proyecto de fomentar y desarrollar una industria de harina de yuca en Colombia es técnica y económicamente factible.

Sin embargo, se debe hacer un estudio más detallado para obtener una aproximación más ajustada de la rentabilidad del proyecto, ya que el cálculo se hizo sin considerar la tasa de inflación, que puede afectar en forma diferente los precios de la materia prima y del producto final, y se supuso que el proyecto se lleva a cabo con fondos propios, lo cual puede ser difícil a nivel rural sobre todo para el pequeño agroempresario.

La implementación del proyecto a nivel de planta piloto es un medio completo para evaluar el sistema de producción diseñado, ya que contiene todos los elementos del proceso, para comprobar que los equipos seleccionados y los materiales de construcción son apropiados, para obtener información real de los tiempos de operación y mano de obra requerida, para desarrollar líneas alternas de operación y manejo de materiales, y para verificar que todos los riesgos tanto técnicos como económicos en la operación a escala comercial han sido considerados y minimizados, o preferiblemente eliminados. Por eso, el montaje de una planta piloto es indispensable para complementar el estudio. Se recomienda que la planta inicie operaciones con un sistema de secado natural y, posteriormente, cuando se haya asegurado un adecuado suministro de materia prima y una demanda estable del producto, se incorpore el sistema de secado artificial para producir todo el año y mejorar las utilidades de la planta.

La operación con un secado artificial es rentable para las condiciones del estudio económico hecho, tanto que el consumo y el precio del carbón mineral no afectan significativamente la rentabilidad del proyecto. Pero para que se justifique este sistema se debe garantizar el abastecimiento de materia prima. El uso de gas natural como combustible se debe analizar y comparar el costo y la disponibilidad en la Costa Atlántica contra el carbón mineral.

El factor de conversión, el precio de la materia prima y el precio de venta del producto son los factores que más influyeron en la rentabilidad del proyecto, por lo tanto, se recomienda que se ejerza un control eficiente sobre estos factores.

Se deben realizar análisis de la calidad del producto obtenido en condiciones reales de operación en la planta, para determinar las condiciones críticas en la producción del producto, especialmente con relación al consumo de agua en el lavado y a la contaminación microbiológica en el secado y almacenamiento.

Es indispensable que en la selección del sitio específico para el montaje de la planta piloto, además de considerar la disponibilidad de materia prima, vías de acceso y energía eléctrica suficiente, se realice un estudio de la disponibilidad y calidad del agua. Si existen diferentes alternativas se debe elegir la de menor costo tanto de abastecimiento como de tratamiento del agua. La propuesta dada para el abastecimiento de agua mediante la perforación de un pozo somero es factible en la Costa Atlántica. Los pozos someros protegidos con material permeable satisfactorio producen agua de buena calidad, aunque la calidad del agua proveniente de un suelo de poca profundidad depende principalmente del carácter de la zona de captación.

BIBLIOGRAFIA

Chirife, J., y Cachero, R.A. (1970). Through-circulation drying of tapioca root. *Journal of Food Science*. 35,(4), 364-368.

Collazos, J., y Ruiz, R. (1987). Planeación del sistema de producción para el proyecto CIAT/IIT/UNIVALLE-CIID: Producción y uso de harina de yuca para consumo humano. Tesis de grado. Universidad del Valle, Cali.

Gomez, G., Santos, J., y Valdivieso, M. (1982). Utilización de raíces y productos de yuca en alimentación animal. En: Yuca: Investigación, Producción y Utilización. Referencia de los cursos de capacitación sobre yuca dictados por el CIAT. PNUD/CIAT, 539-561.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (1986). Evaluación del potencial eólico solar en la Costa Atlántica. ICA-INFORMA, Abril-Mayo-Junio, 37-42.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). (1981). Industrias alimentarias de harina de trigo para panificación. Primera revisión, norma 267 del 17 de Junio, Bogotá.

ANEXO 1

PROGRAMACION DE LA PLANTA

En este anexo se pretende dar una guía para programar las actividades de producción en un día típico de trabajo.

1. Programación en una planta con secado natural

En forma general la planta opera de la siguiente manera: en las primeras horas de la mañana se realiza la selección, lavado y trozado de las raíces, de tal forma que se aproveche el máximo de horas-día para el secado. Los trozos se revuelven una vez al día. En las horas de la tarde del segundo día, los trozos se recogen y almacenan temporalmente para ser premolidos, empacados y almacenados en la mañana del día siguiente. La recepción e inspección se realiza a diario durante la mañana. La planta requiere aproximadamente 4 jornales diarios en la ejecución del proceso y dos administrativos; un supervisor y un administrador. El supervisor cumple las funciones de coordinar y dirigir el personal de acuerdo a las actividades requeridas por el proceso. El administrador planea, dirige y controla los aspectos relacionados con la compra de materia prima, venta del producto terminado, control contable, presupuesto, recuperación de cartera, nómina, etc. La programación se presenta en la Tabla 28.

2. Programación en una planta con secado artificial

En forma general la planta opera así: en las primeras horas de la mañana se seleccionan, lavan y trozan las raíces cargando simultáneamente la cámara de secado. El secado tiene una duración de 10 a 12 horas durante las cuales se debe revolver los trozos cada 2 ó 3 horas. Al finalizar el secado los trozos secos se recogen y almacenan temporalmente para premolerlos, empacarlos y almacenarlos al día siguiente. La recepción e inspección de la materia prima se hace diariamente en las horas de la mañana. Las necesidades de personal de planta y administrativo son similares a las de la planta de secado natural. La programación se presenta en la Tabla 29.

TABLA 28. Programación de las actividades-día para plantas de secado natural

Capacidad: 1 t/día

Actividad	Horario		Operario encargado
	Inicia	Finaliza	
1. Seleccionar-lavar-trozar y llenar y esparcir los trozos sobre las bandejas.	6:00 a.m.	8:30 a.m.	1.2.3.4.
2. Limpieza y desinfección del equipo y área de trabajo.	8:30 a.m.	9:30 a.m.	1.2.
3. Recibir materia prima.	8:30 a.m.	12:00 m.	3.
4. Voltear los trozos de los patios I y II. ^{1/}	10:00 a.m.	11:00 a.m.	1.2
5. Premoler y empacar trozos secos recogidos el día anterior.	8:30 a.m.	12:00 m.	4.
6. Voltear los trozos colocados en el patio I.	4:00 p.m.	4:30 p.m.	1.2.
7. Recoger trozos del patio II y trasladarlos a premolienda.	4:30 p.m.	6:00 p.m.	1.2.

1/ En el patio I se encuentran los trozos colocados en el día de referencia. En el patio II están los trozos colocados un día anterior al de referencia.

TABLA 29. Programación de las actividades-día para plantas con secado artificial

Capacidad: 1 t/día

Actividad	Horario		Operario encargado
	Inicia	Finaliza	
1. Seleccionar-lavar-trozar y cargar cámara de secado.	6:00 a.m.	8:00 a.m.	1.2.3.4.
2. Esparcir los trozos uniformemente sobre la cámara de secado.	8:00 a.m.	8:30 a.m.	1.2.
3. Encender el quemador.	8:00 a.m.	8:30 a.m.	4.
4. Manejo del secado (voltear los trozos cada 2 ó 3 h, alimentar quemador cada $\frac{1}{2}$ hora y controlar temperatura del aire).	8:30 a.m.	2:00 p.m.	4.
5. Limpieza y desinfección del equipo y área de trabajo.	8:30 a.m.	9:30 a.m.	1.2.
6. Recibir materia prima.	8:00 a.m.	11:30 a.m.	3.
7. Premoler y empacar los trozos secados el día anterior.	9:30 a.m.	1:00 p.m.	1.
8. Continuar con manejo del secado.	2:00 p.m.	6:30 p.m.	2.
9. Recoger trozos secos y trasladarlos hasta premolienda.	6:30 p.m.	7:30 p.m.	1.3.
10. Limpieza de cámara de secado.	7:30 p.m.	8:00 p.m.	3.

ANEXO 2.

SUMINISTRO DE AGUA

Con el fin de cuantificar un costo aproximado por concepto de agua dentro del proceso de elaboración de trocitos de yuca seca; se darán las especificaciones de un sistema sencillo de suministro de agua; el cual básicamente consiste en el aprovechamiento del agua subterránea, mediante la construcción de un pozo artesanal y el empleo de un sistema de bombeo que succiona el agua del pozo, y simultáneamente la descarga a un tanque elevado. El agua para las operaciones de la planta, se obtiene de este tanque haciéndola descender por gravedad y distribuyéndola a través de las instalaciones. Las especificaciones del sistema son:

1. Pozo:

- . Tipo: artesanal, provisto de brocal y tapa en la superficie para evitar contaminación, especialmente de aguas residuales y de origen fecal.
- . Profundidad: 12-15 m
- . Diámetro: menor o igual a 1 m

2. Sistema de bombeo

Motor	Bomba	Eyector
Potencia: 1/3 h.p.	. Tipo: H.I.E. 1/3	Tipo: J 4503
Tipo: Eléctrico	. Capacidad: 2.385 Lts/h	
Fases: Una	: 2,385 m ³ /h	
Fuente: 110/220 V	. Diámetro succión: 1"	
	. Diámetro descarga: 1"	

Fuente: Eduardo Arango (EDARVICO), Cali, Octubre de 1986.

3. Tanque elevado

- . Altura: 5-6 m
- . Dimensiones: 2 x 2 x 1.50 m³
- . Capacidad: 4.8 m³ de agua
- . Características de construcción: Base (cimiento) y columnas en concreto reforzado. Tanque en ladrillo recubierto (repello) con mezcla de arena-cemento con adición de material impermeabilizado.

Los costos de inversión y operación para el sistema, estimados en 1986, son:

Costos de inversión:

Construcción tanque elevado	\$ 100,000
Construcción pozo artesanal	120,000
Motor y bomba de succión	<u>80,000</u>
Total	\$ 300,000

=====

Costos de operación:

1. Energía eléctrica

Motor de 1/3 H.P. (monofásico) equivalente a 0.8 kw

Capacidad de: 2,385 m³/h x 0.8 = 1,900 m³/h (0.55 h/m³)

Consumo de energía: 0.8 kw x 0.55 h/m³ = 0.45 kw-h/m³

Costo de energía: 0.45 kw-h/m³ x 7.6 \$/kWh = \$3.5/m³

2. Mantenimiento

<u>Elemento</u>	<u>Porcentaje asignado</u>	<u>Costo asignado</u> \$/año
Bomba	Costo inicial (2 x vida útil)	1,000
Motor	1% costo inicial	400
Pozo	2% costo inicial	2,400
Tanque	2% costo inicial	<u>2,000</u>
		5,800

Costo por mantenimiento por día: \$16.0

Costo por mantenimiento por m³ de agua: \$3.6

Resumen costos de operación:

Energía eléctrica	3.5	\$/m ³
Mantenimiento	3.6	\$/m ³
Otros	<u>2.9</u>	\$/m ³
Total	10.0	\$/m ³