

Concepción de un modelo de agroindustria rural para la elaboración de harina y almidón a partir de raíces y tubérculos promisorios, con énfasis en los casos de achira (*Canna edulis*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y ñame (*Dioscorea sp.*)

Informe Técnico Final

Proyecto desarrollado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA, con la cofinanciación del Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria - PRONATTA

Tibaitatá, Diciembre 2003

EQUIPO DE INVESTIGACION

| | |
|--|--|
| Gonzalo Rodríguez B. I.A.; Ec. Agr. MSc. | Director del Proyecto |
| Hugo Reinel García B. Ing Agr. MSc | Coordinador Programa Procesos Agroindustriales |
| Jesús H. Camacho T. Ing. Agr. MSc. | Investigador Programa Procesos Agroindustriales |
| Juan José Rivera V. I.A. MSc. | Coordinador Sistemas de Producción Regional 6 |
| Guillermo Caicedo D. I.A. | Investigador, Creced Huila |
| Luis Jaime Torres C. I.A. | Investigador, Creced Oriente de Cundinamarca |
| Carlos Sánchez V. Ing Agr. MSc | Investigador, Centro de Investigaciones Turipana |
| Felipe de la Torre MVZ | Investigador, Regional 1 |
| Cristina García M. Ing. Quim. | Investigador Programa Procesos Agroindustriales |
| Elizabeth Rivera Tecnol. Alim. | Laboratorio de Farinología |
| | |
| Freddy L. Arias G. Ing. Agr. | Consultor en aspectos de Ingeniería de Proceso. |
| Mary Galindo G. Ing. Amb. | Consultora en Ingeniería Ambiental. |
| Johana Bohorquez Microb. | Consultora en microbiología. |
| Edwar Marcelo Ing. Mec. | Consultor en Ingeniería Mecánica. |
| Cecilia Delgado Quim. | Consultora en laboratorio Ambiental. |
| José Omar Cardona I.A. | Consultor en Invernaderos. |
| Ivonne Moreno Ing. Alim. | Consultora en laboratorio de Farinología. |
| Juan Carlos Zutta Tecn Mec. | Pasante Universidad Distrital |
| Víctor Rodríguez Tecn. Mec. | Pasante Universidad Distrital |
| Adriana Moreno | Pasante Opción Colombia – U. Javeriana |
| | |
| Pablo E. Morales | Auxiliar técnico, Procesos Agroindustriales |
| Andres Fonseca | Auxiliar técnico, Procesos Agroindustriales |
| Jairo Ulloa | Dibujante técnico, Procesos Agroindustriales |
| Oliverio Romero | Auxiliar técnico, Creced Oriente |
| Guillermo Rengifo | Auxiliar técnico, Creced Huila |
| Ramon Elias Garcia | Auxiliar técnico, CI Nataima |

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | DATOS BÁSICOS DEL PROYECTO | 1 |
| 2. | NIVEL DE CUMPLIMIENTO, ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y PRODUCTOS OBTENIDOS, EN CADA UNO DE LOS OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECÍFICOS) DEL PROYECTO. | 2 |
| 2.1. | OBJETIVO GENERAL | 2 |
| 2.2. | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 2 |
| 3. | RESULTADOS ADICIONALES LOGRADOS POR EL PROYECTO, NO PLANTEADOS INICIALMENTE | 8 |
| 4. | DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL PROYECTO | 10 |
| 4.1. | METODOLOGÍA TÉCNICA | 10 |
| 4.2. | METODOLOGÍA DEL TRABAJO CON PRODUCTORES | 11 |
| 4.3. | METODOLOGÍA DEL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN | 12 |
| 5. | DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN TECNOLÓGICA | 13 |
| 6. | DESARROLLO DE LOS COMPONENTES DE LA OPCIÓN TECNOLÓGICA | 14 |
| 6.1. | CARACTERÍSTICAS DE LA PRODUCCIÓN DE ACHIRA, ARRACACHA Y ÑAME EN COLOMBIA | 14 |
| 6.1.1. | ACHIRA (CANNA EDULIS) | 14 |
| 6.1.2. | ARRACACHA (ARRACACIA XANTHORRIZA) | 16 |
| 6.2. | DETERMINACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE CAMPO DE LAS ESPECIES INVESTIGADAS | 18 |
| 6.3. | COMPOSICIÓN DE LOS MATERIALES COSECHADOS | 23 |
| 6.4. | MODELOS ANALÍTICOS DE PRODUCTIVIDAD DE HARINAS Y ALMIDONES | 24 |
| 6.5. | CARACTERÍSTICAS DE LOS ALMIDONES Y POTENCIALIDADES DE USO | 26 |
| 6.6. | CONCEPCIÓN DE LOS MODELOS DE PROCESO PROPUESTOS | 27 |
| 6.7. | DESARROLLO DE EQUIPOS PARA LA EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN | 39 |
| 6.7.1. | LAVADOR DE RIZOMAS Y TUBÉRCULOS | 39 |
| 6.7.2. | RALLADOR DE RIZOMAS Y TUBÉRCULOS | 44 |
| 6.7.3. | TAMIZADORA DE ALMIDÓN | 47 |
| 6.7.4. | LAVADORA DE ALMIDÓN | 50 |
| 6.7.5. | SECADORES DE ALMIDÓN | 51 |
| 6.8. | DESARROLLO DE EQUIPOS PARA LA FABRICACIÓN DE HARINAS | 52 |
| 6.8.1. | LAVADOR DE RIZOMAS Y TUBÉRCULOS | 53 |
| 6.8.2. | PICADORA DE TROZOS | 53 |
| 6.8.3. | SECADORES DE TROZOS | 55 |
| 6.8.4. | EQUIPOS PARA MOLIENDA | 56 |
| 6.9. | ESTABLECIMIENTO DE PLANTAS PILOTO | 57 |
| 6.9.1. | PLANTA PILOTO DE PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN DE ACHIRA | 57 |
| 6.9.2. | PLANTA PILOTO DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE ARRACACHA | 60 |
| 6.9.3. | RECOMENDACIONES PARA LA ADECUACIÓN DE UNA PLANTA DE | |

| | | |
|---------|--|-----|
| | PRODUCCIÓN DE HARINA DE ÑAME. | 63 |
| 6.10. | DESARROLLO DE APLICACIÓN DE COMPUTADOR PARA EL CÁLCULO DE LOS EQUIPOS DE PROCESO | 69 |
| 6.11. | POTENCIALIDADES DE USO DE SUBPRODUCTOS | 69 |
| 6.11.1. | FOLLAJE DE ACHIRA | 70 |
| 6.11.2. | AFRECHO DE ACHIRA | 70 |
| 6.11.3. | MOGOLLA DE ACHIRA | 71 |
| 6.11.4. | CEPAS DE ARRACACHA | 71 |
| 6.11.5. | TUBÉRCULOS NO COMERCIALIZABLES DE ÑAME | 72 |
| 6.11.6. | AFRECHOS DE ARRACACHA Y DE ÑAME | 73 |
| 6.12. | MANEJO DEL AGUA Y EFLUENTES DEL PROCESO. | 74 |
| 6.12.1. | REQUERIMIENTOS DE AGUA EN LOS PROCESOS | 74 |
| 6.12.2. | AGUA RESIDUAL DEL LAVADO DE RIZOMAS DE ACHIRA | 78 |
| 6.12.3. | AGUA RESIDUAL DEL TAMIZADO Y LAVADO DEL ALMIDÓN DE ACHIRA | 79 |
| 6.12.4. | RECOMENDACIONES DE MANEJO DEL AGUA PARA EL PROCESO Y DE LAS AGUAS RESIDUALES | 81 |
| 6.13. | RENDIMIENTOS DE PROCESO ALCANZADOS. | 83 |
| 6.13.1. | EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE ACHIRA | 84 |
| 6.13.2. | EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE ARRACACHA | 84 |
| 6.13.3. | EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE ÑAME | 84 |
| 6.13.4. | ELABORACIÓN DE HARINA DE ARRACACHA | 85 |
| 6.13.5. | ELABORACIÓN DE HARINA DE ÑAME | 85 |
| 7. | ANÁLISIS ECONOMICO E IMPACTOS DE LA TECNOLOGÍA | 91 |
| 7.1. | IMPACTO TÉCNICO DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN DE ACHIRA | 91 |
| 7.2. | IMPACTO ECONÓMICO DE LA TECNOLOGÍA RECOMENDADA EN ALMIDÓN DE ACHIRA | 92 |
| 7.3. | IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LA PRODUCCIÓN DE HARINAS DE ARRACACHA Y ÑAME | 94 |
| 7.4. | IMPACTOS SOCIALES DEL PROYECTO | 97 |
| 7.5. | IMPACTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO | 98 |
| 7.6. | IMPACTOS ORGANIZACIONALES E INSTITUCIONALES | 98 |
| 8. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE NUEVAS AREAS DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA | 100 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 102 |

LISTA DE TABLAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 1. | Área cultivada y cosechada, producción y rendimiento del cultivo de achira en Colombia. 2001. | 15 |
| Tabla 2. | Superficie cultivada, producción y rendimiento de arracacha en Colombia, según departamentos. 2001. | 17 |
| Tabla 3. | Superficie cultivada, producción y rendimiento de ñame en Colombia, según departamentos. 2001. | 18 |
| Tabla 4. | Distribución de la producción de biomasa del cultivo de achira en Cundinamarca (kg de materia fresca) | 20 |
| Tabla 5. | Distribución de la producción de biomasa del cultivo de achira en Huila (kg de materia fresca) | 21 |
| Tabla 6. | Distribución de la producción de biomasa del cultivo de arracacha en Cajamarca, Tolima (kg de materia fresca)..... | 21 |
| Tabla 7. | Distribución de la producción de biomasa del cultivo de ñame criollo en la Costa Atlántica (kg de materia fresca)..... | 23 |
| Tabla 8. | Distribución de la producción de biomasa del cultivo de ñame espino en la Costa Atlántica (kg de materia fresca)..... | 23 |
| Tabla 9. | Composición de las raíces y tubérculos (g/100 g de materia húmeda)..... | 24 |
| Tabla 10. | Composición de materia seca de raíces y tubérculos (g/100 g de materia seca) | 24 |
| Tabla 11. | Modelo Analítico de productividad de harinas..... | 25 |
| Tabla 12. | Modelo Analítico de producción de almidones | 25 |
| Tabla 13. | Análisis comparativo de la productividad de materia seca de diversas especies de cereales y de raíces y Tubérculos. | 26 |
| Tabla 14. | Características físico-químicas y morfológicas de algunos almidones..... | 27 |
| Tabla 15. | Resumen de las evaluaciones del proceso de extracción del almidón de achira en el oriente de Cundinamarca. | 29 |
| Tabla 16. | Resumen de las evaluaciones del proceso de extracción de almidón de achira en el Huila. | 32 |
| Tabla 17. | Características de los procesos de fabricación de almidón y harina de arracacha y comparación con los de yuca..... | 35 |
| Tabla 18. | Características de los procesos de fabricación de almidón y harina de ñame y comparación con los de yuca..... | 35 |
| Tabla 19. | Rangos de algunas de las características de la achira. | 37 |
| Tabla 20. | Rangos de algunas de las características de la arracacha..... | 38 |
| Tabla 21. | Rangos de algunas de las características del Ñame. | 39 |
| Tabla 22. | Parámetros de algunos prototipos..... | 40 |
| Tabla 23. | Composición y digestibilidad del follaje de achira..... | 70 |
| Tabla 24. | Análisis de composición y digestibilidad del afrecho de achira..... | 71 |
| Tabla 25. | Composición de las cepas de arracacha (en 100 gramos de materia fresca) | 72 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 26. | Composición de tubérculos no comercializables de ñame (en 100 gramos de materia fresca) | 73 |
| Tabla 27. | Composición y digestibilidad de los afrechos de arracacha y ñame..... | 73 |
| Tabla 28. | Consumo de agua en la extracción del almidón de achira en Cundinamarca y Huila (litros/kg) | 75 |
| Tabla 29. | Consumo de agua en la extracción del almidón de achira en Cundinamarca (litros/kg) | 75 |
| Tabla 30. | Consumo de agua en la extracción del almidón de achira en Huila (litros/kg) | 75 |
| Tabla 31. | Criterios de calidad de agua potable..... | 76 |
| Tabla 32. | Características del agua cruda utilizada en el proceso de extracción del almidón de achira en tres sitios del oriente de Cundinamarca | 77 |
| Tabla 33. | Características del agua residual del lavado de rizomas en el proceso de extracción del almidón de achira en tres sitios del oriente de Cundinamarca | 78 |
| Tabla 34. | Valores de referencia para establecer la calidad del agua, de acuerdo con los indicadores de contaminación biológica..... | 80 |
| Tabla 35. | Parámetros técnicos de la producción de almidón de achira en Cundinamarca y Huila respecto a la tecnología recomendada..... | 91 |
| Tabla 36. | Costo de la inversión requerida para la introducción de la tecnología recomendada en la producción del almidón de achira..... | 93 |
| Tabla 37. | Costos comparativos de producción de almidón de achira (\$/t de almidón) | 93 |
| Tabla 38. | Inversión requerida para el establecimiento de una Planta de elaboración de harina de arracacha con capacidad de 1 tonelada de raíces por día. | 95 |
| Tabla 39. | Costo estimado de elaboración de una tonelada de harina integral de arracacha. | 95 |
| Tabla 40. | Inversión requerida para el establecimiento de una Planta de elaboración de harina de ñame con capacidad de 1 tonelada de raíces por día..... | 96 |
| Tabla 41. | Costo estimado de elaboración de una tonelada de harina integral de ñame espino..... | 97 |
| Tabla 42. | Consumo de agua en la extracción del almidón de achira (litros/kg almidón)..... | 98 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1. | Localización de las principales zonas productoras de achira, arracacha y ñame en Colombia | 19 |
| Figura 2. | Producción de biomasa en el cultivo de achira en Cundinamarca..... | 19 |
| Figura 3. | Producción de biomasa en el cultivo de achira en Huila | 20 |
| Figura 4. | Producción de biomasa en el cultivo de arracacha en Cajamarca, Tolima..... | 21 |
| Figura 5. | Producción de biomasa en el cultivo de ñame criollo en la Costa Atlántica. | 22 |
| Figura 6. | Producción de biomasa en el cultivo de ñame espino en la Costa Atlántica. | 22 |
| Figura 7. | Secuencia lógica para la concepción de los equipos..... | 36 |
| Figura 8. | Proceso de extracción de almidón | 40 |
| Figura 9. | Prototipo de lavador con cilindro giratorio y ángulos. | 41 |
| Figura 10. | Prototipo lavador con cilindro recubierto en malla abrasiva y con cepillos estáticos. | 42 |
| Figura 11. | Prototipo del primer lavador de rizomas tipo Corpoica..... | 42 |
| Figura 12. | Prototipo del segundo lavador de rizomas tipo Corpoica..... | 44 |
| Figura 13. | Prototipo rallador con pechero dispuesto verticalmente..... | 45 |
| Figura 14. | Prototipo rallador con pechero inclinado..... | 45 |
| Figura 15. | Rallador de rizomas y tubérculos tipo Corpoica..... | 46 |
| Figura 16. | Troquelado del tambor del rallo en acero inoxidable | 46 |
| Figura 17. | Tamiz hexagonal tipo CORPOICA..... | 47 |
| Figura 18. | Prototipo de tamiz horizontal..... | 48 |
| Figura 19. | Prototipo de tamiz cónico..... | 48 |
| Figura 20. | Prototipo de tamiz horizontal centrífugo..... | 49 |
| Figura 21. | Tamiz de flujo continuo tipo CORPOICA..... | 49 |
| Figura 22. | Prototipo para el lavado del almidón..... | 50 |
| Figura 23. | Artesas para lavado del almidón, en madeplast (izquierda) y en acero inoxidable (derecha)..... | 51 |
| Figura 24. | Estructuras de secado tipo invernadero..... | 52 |
| Figura 25. | Diagrama de flujo de la fabricación de harina..... | 53 |
| Figura 26. | Primer prototipo de picadora de trozos..... | 54 |
| Figura 27. | Picadora a partir del diseño del CIAT..... | 54 |
| Figura 28. | Picadora adaptada por Corpoica..... | 55 |
| Figura 29. | Molino de martillos tipo Ocmus..... | 56 |
| Figura 30. | Molino de martillos..... | 57 |
| Figura 31. | Reunión y charlas técnicas con el grupo de ASOPREACHIGUS..... | 58 |
| Figura 32. | Vista general de la Planta Piloto de producción de almidón de achira en San Agustín (Huila) y de los equipos de proceso..... | 59 |

| | |
|--|----|
| Figura 33. Entrega de la lavadora y picadora de rizomas de arracacha en la Planta Piloto de Cajamarca | 61 |
| Figura 34. Bandeja de secado de los trozos de arracacha dentro del invernadero. | 62 |
| Figura 35. Empaque y etiqueta de la harina de arracacha | 62 |
| Figura 36. Productos panificados elaborados a partir de harina de arracacha | 63 |
| Figura 37. Asociados de la Cooperativa de COPROALGA en Chinú, Córdoba y equipo de picado para fabricación de yuca seca..... | 64 |
| Figura 38. Conjunto de equipos demostrativos para el procesamiento de raíces y tubérculos, en el Centro de Investigación Tibaitatá. | 65 |
| Figura 39. Áreas requeridas para el proceso de fabricación de las harinas..... | 68 |
| Figura 40. Muestra de planos de algunos de los prototipos diseñados | 69 |

INFORME TÉCNICO FINAL

1. DATOS BÁSICOS DEL PROYECTO

Título del proyecto Concepción de un modelo de agroindustria rural para la elaboración de harina y almidón a partir de raíces y tubérculos promisorios, con énfasis en los casos de achira (*Canna edulis*), arracacha (*Arracacia xanthorriza*) y ñame (*Dioscorea sp.*).

Código 981411033

Entidad Ejecutora Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA.

Director del Proyecto Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray, Ingeniero Agrónomo y Economista Agrario, MSc. en Economía.

Tipo de proyecto Investigación adaptativa

Valores de cofinanciación y contrapartida

Cofinanciación PRONATTA \$127.593.500

Contrapartida CORPOICA \$130.136.500

Fechas contractuales de inicio y finalización:

Inicio 4 de enero de 2000

Finalización 4 de agosto de 2003

2. NIVEL DE CUMPLIMIENTO, ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y PRODUCTOS OBTENIDOS, EN CADA UNO DE LOS OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECÍFICOS) DEL PROYECTO.

2.1. OBJETIVO GENERAL

Brindar alternativas tecnológicas para la valorización de la producción campesina de achira, arracacha y ñame, mediante un sistema flexible e integrado de proceso para la producción de harina y almidón a nivel de agroindustria rural.

Nivel de cumplimiento: 100%

Justificación: El proyecto se ejecutó de acuerdo con lo previsto inicialmente y logró desarrollar y transferir alternativas tecnológicas de transformación de raíces y tubérculos de importancia para diferentes regiones de Colombia. Las opciones tecnológicas desarrolladas tienen aplicabilidad para economías campesinas interesadas en valorizar su producción bajo esquemas de agroindustria rural.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Conocer las características químicas y físico-mecánicas de las materias primas a procesar (achira, arracacha y ñame) y las características bromatológicas de residuos de cosecha.

Nivel de cumplimiento: 100%

Justificación: Se realizaron los muestreos previstos para las tres especies en las cuatro regiones más representativas de la producción así: Achira en el oriente de Cundinamarca y en el sur de Huila, Arracacha en Cajamarca, Tolima y Ñame en Carmen y San Juan Nepomuceno, Bolívar. Se tomó la información de la producción de biomasa y se realizó el análisis composicional de los materiales.

Actividades realizadas

- Diseño de un plan de muestreo para recolección de material de cada una de las especies en las regiones del proyecto.
- Recolección de las muestras y toma de información productiva de cada una de las especies.
- Análisis proximal, por triplicado, para determinar la composición de los productos y los residuos de cosecha a nivel del Laboratorio de Nutrición Animal del centro de investigaciones de Tibaitatá.

Productos obtenidos

- Información de la producción media de biomasa en cultivos de achira en el sur del Huila.
- Información de la producción media de biomasa en cultivos de achira en el oriente de Cundinamarca.
- Información de la producción media de biomasa en cultivos de arracacha en el municipio de Cajamarca, Tolima.

- Información de la producción media de biomasa en cultivos de ñame en las sabanas de Córdoba y Bolívar.
 - Caracterización bromatológica de los productos y subproductos de cosecha de arracacha.
 - Caracterización bromatológica de los productos y subproductos de cosecha de achira.
 - Caracterización bromatológica de los productos y subproductos de cosecha de ñame.
- b) Establecer modelos teóricos de rendimientos físicos de las operaciones unitarias para la obtención de harina y almidón para cada una de las especies consideradas.

Nivel de cumplimiento: 100%

Justificación: Con base en los materiales recolectados en las zonas productoras se realizaron pruebas experimentales para la obtención de harinas y almidones. Se establecieron los rendimientos obtenidos en cada una de las operaciones unitarias de proceso y se establecieron los balances de masa correspondientes para cada una de las especies.

Actividades realizadas

- Pruebas experimentales a nivel del Laboratorio de Farinología del centro de investigaciones Tibaitatá, de diferentes operaciones de proceso para la elaboración de harina a partir de achira, arracacha y ñame.
- Pruebas experimentales a nivel del Laboratorio de Farinología del centro de investigaciones Tibaitatá, de diferentes operaciones de proceso para la extracción del almidón de achira, arracacha y ñame.

Productos obtenidos

- Determinación experimental de los rendimientos y pérdidas en la obtención de harina y almidón en cada una de las operaciones de proceso.
- Balance de masa para la elaboración de harina de achira, arracacha y ñame.
- Balance de masa para la extracción de almidón de achira, arracacha y ñame.

- c) Optimizar las operaciones de proceso para la obtención de harina y almidón, mediante el diseño y adaptación de mecanismos e infraestructura de proceso.

Nivel de cumplimiento: 100%

Justificación: Se realizaron evaluaciones de campo del proceso de extracción del almidón de achira en las regiones de oriente de Cundinamarca y Sur de Huila, para establecer las características técnicas del proceso y los parámetros tradicionales de rendimiento en estas dos regiones. Con base en este conocimiento se trabajó en el diseño, prueba y rediseño de equipos mecánicos para la extracción de almidón de achira y la fabricación de harina de arracacha y ñame. Se realizaron pruebas de varios prototipos hasta definir los modelos de máquina y proceso más eficientes.

Actividades realizadas

- Evaluaciones de campo del proceso de extracción del almidón de achira en cuatro unidades productivas del sur del Huila.
- Evaluaciones de campo del proceso de extracción del almidón de achira en cuatro unidades productivas del oriente de Cundinamarca.

- Diseño y prueba de dos modelos de lavadora mecánica de raíces y tubérculos, para la elaboración de harinas y la extracción de almidones.
- Rediseño y prueba de dos modelos de picadora mecánica para la elaboración de harinas.
- Rediseño y prueba de un modelo de molino mecánico para la elaboración de harinas.
- Rediseño y prueba de un modelo de ralladora mecánica para la extracción de almidones.
- Rediseño y prueba de dos modelos de tamizadora mecánica para la separación del almidón.
- Diseño de un modelo de artesas móviles para el lavado y sedimentación del almidón.
- Diseño y prueba de infraestructura para dos sistemas de secado de harinas y almidones.

Productos obtenidos

- Parámetros de eficiencia en el proceso comercial de extracción del almidón de achira en el sur de Huila.
 - Parámetros de eficiencia en el proceso comercial de extracción del almidón de achira en el oriente de Cundinamarca.
 - Tres prototipos de lavadora mecánica de raíces y tubérculos para la elaboración de harinas de arracacha y ñame y para la extracción de almidón de achira.
 - Dos prototipos de picadora mecánica de raíces y tubérculos para la elaboración de harinas de arracacha y ñame.
 - Dos prototipos de molino mecánico de raíces y tubérculos para la elaboración de harinas de arracacha y ñame.
 - Cuatro ralladoras mecánicas de rizomas para la extracción de almidón de achira.
 - Dos prototipos de tamizadora mecánica para la extracción de almidón de achira.
 - Un prototipo de artesas móviles para el lavado y sedimentación de almidón.
 - Tres secadores para harinas y almidones.
- d) Ofrecer alternativas económicas de uso de residuos de cosecha y de proceso, que permitan generar ingresos adicionales y eliminar agentes contaminantes.

Nivel de cumplimiento: 100%

Justificación: Se realizaron análisis de composición y digestibilidad de los principales residuos de cosecha y de proceso de las tres especies y se establecieron las potencialidades de su uso en alimentación animal. Se realizó el análisis de las aguas de proceso y residuales en la extracción del almidón de achira y a partir de éste se establecieron recomendaciones para su uso y manejo.

Actividades realizadas

- Análisis de composición y digestibilidad de follaje, colinos y afrecho de achira
- Análisis de composición y digestibilidad de cepas y afrecho de arracacha
- Análisis de composición y digestibilidad de tubérculos y afrecho de ñame
- Análisis de composición y digestibilidad de afrecho de ñame
- Análisis de aguas crudas utilizadas en el proceso del almidón de achira.

- Análisis de aguas residuales del proceso de achira.

Productos obtenidos

- Recomendaciones para el aprovechamiento potencial del follaje, los colinos y el afrecho de la achira.
 - Recomendaciones para el aprovechamiento potencial de las cepas y el afrecho de la arracacha.
 - Recomendaciones para el aprovechamiento potencial de los tubérculos de desecho y el afrecho del ñame.
 - Valoración de la calidad del agua actualmente utilizada en el proceso de extracción del almidón de achira y recomendaciones para su utilización.
 - Recomendaciones para el manejo de las aguas residuales del proceso de extracción del almidón de achira.
- e) Ajustar y validar el sistema desarrollado bajo las condiciones agroecológicas y socioeconómicas de las zonas productoras.

Nivel de cumplimiento: 100%

Justificación: Con la participación de grupos de productores se establecieron unidades demostrativas piloto para la extracción del almidón de achira y la fabricación de harina de arracacha, por ser estos dos procesos los que presentan mayor viabilidad económica. En el caso del ñame las condiciones actuales de buen precio del tubérculo y su destinación exclusiva a los mercados en fresco para el consumo regional en la Costa Atlántica y para la exportación a Estados Unidos, no le brindan una rentabilidad a la producción de harina ni de almidón, sin embargo se cuenta con las recomendaciones técnicas de proceso para ser implementadas cuando las condiciones de mercado lo hagan viable.

Actividades realizadas

- Contactos con grupos de productores organizados en las diferentes regiones del Proyecto, para evaluar la posibilidad de establecimiento de Plantas Piloto.
- Visitas a los posibles sitios de establecimiento de las Plantas Piloto.
- Evaluación de las alternativas desde el punto de vista del grado de organización de los productores, de su interés y de la disponibilidad de infraestructura y servicios básicos.
- Concertación con otros actores (Alcaldías, Umatas, Colegios).
- Montaje de las Plantas Piloto.
- Evaluación de desempeño y ajustes.

Productos obtenidos

- Una planta piloto de proceso para la extracción de almidón de achira en San Agustín (Huila) con la Asociación de Productores e Industrializadores de Achira y Guayaba del Municipio de San Agustín-Huila, ASOPREACHIGUS.
- Una planta piloto de proceso para la elaboración de harina de arracacha en el municipio de Cajamarca (Tolima) con la Asociación Regional de Agricultores de Cajamarca, Toche y Cocora, ARACATOL.

- Recomendaciones para la adecuación de una planta piloto de proceso para la elaboración de harina de ñame en el municipio de Chinú (Córdoba).
 - Un conjunto de prototipos mecánicos demostrativos para la elaboración de harinas y almidones en el Centro de Investigaciones de Tibaitatá.
 - Parámetros de desempeño técnico y económico de los procesos productivos.
- f) Generar un modelo sistematizado para el diseño de plantas procesadoras que se ajuste a diferentes materias primas y escalas de producción.

Nivel de cumplimiento: 100%

Justificación: Se establecieron los parámetros de diseño y construcción de los equipos evaluados y se definieron las características técnicas de materiales, dimensiones y de costo de los equipos a recomendar para los procesos de fabricación de harinas y de almidones. Se cuenta con una aplicación de computador para el cálculo de cantidades de obra y costos y con planos digitales de los equipos recomendados

Actividades realizadas

- Recopilación de la memoria de diseño y rediseño para la concepción de los equipos.
- Conformación de una base de datos con materiales y elementos requeridos en la construcción de los equipos y su correspondiente costo.
- Diseño de una aplicación computacional en Access para el manejo de la base de datos
- Digitalización de los planos de los equipos.

Productos obtenidos

- Memorias de sistematización del diseño y rediseño para la concepción de las máquinas y las Plantas Piloto.
- Programa de computador para cálculo de cantidades de obra y costos de construcción de los equipos.
- Planos digitales de los equipos e infraestructura desarrollada.

- g) Socializar el desarrollo tecnológico del proyecto.

Nivel de cumplimiento: 100%

Justificación: Los resultados tecnológicos del proyecto fueron socializados a través de cursos, de manuales y material impreso y de visitas de asistencia a grupos de productores alrededor de las Plantas Piloto demostrativas.

Además, se asesoró a entidades municipales y a productores individuales en el proceso de extracción del almidón de achira y se establecieron contactos con industriales interesados en las harinas y almidones obtenidos. Por último se contribuyó a la formación de investigadores jóvenes a través de su integración al proyecto como contratistas, pasantes o tesistas.

Actividades realizadas

- Nueve (9) evaluaciones de proceso con productores e identificación de problemática.
- Doce (12) visitas a grupos de productores y a entidades locales para establecimiento de Plantas Piloto.

- Tres (3) cursos teórico-prácticos con productores para utilización de harinas y almidones.
- Cuatro (4) días técnicos para presentación de resultados.
- Asesoría a productores de almidón de achira de diversas regiones del país.
- Asesoría a industriales interesados en la utilización de harinas y almidones.
- Edición y publicación de resultados.

Productos obtenidos

- 117 Productores capacitados
- Dos grupos de productores fortalecidos
- 12 Técnicos capacitados
- 7 Industriales involucrados
- Un equipo interdisciplinario de investigadores con experiencia en el tema de procesamiento de raíces y tubérculos y de tecnología para la agroindustria rural.
- 11 Estudiantes vinculados a través de tesis y pasantías
- Un manual técnico para la producción de almidón de achira o sagú
- Un manual técnico para la fabricación de harina de arracacha
- Un manual técnico para la fabricación de harina de ñame
- Un CD con el conjunto de manuales técnicos
- El informe técnico final del Proyecto
- Publicación de resultados en el sitio web de CORPOICA y de PRONATTA.

3. RESULTADOS ADICIONALES LOGRADOS POR EL PROYECTO, NO PLANTEADOS INICIALMENTE

Dentro de los resultados obtenidos no planteados en los objetivos iniciales del Proyecto se pueden mencionar los siguientes:

Exploración de nuevas utilidades industriales de las harinas y almidones: Durante el tiempo de ejecución del proyecto, a través de tesis y pasantes se investigó acerca de la posibilidad de uso del almidón de achira en la elaboración de una bebida láctea gelificada con adición de pulpa de fruta, en la viabilidad de uso del almidón de achira para la fabricación de pastas alimenticias y en la fabricación de maltodextrinas.

Capacitación a los productores sobre elaboración de nuevos productos alimenticios a partir de harinas y almidones: En las regiones de sur de Huila y oriente de Cundinamarca se capacitó a los productores en la fabricación de panificados y bebidas a partir de almidón de achira y en el municipio de Cajamarca se dictó una charla y se entregó un plegable con recetas sobre elaboración de panificados, sopas y bebidas frías a partir de la harina de arracacha.

Contactos con industriales: Se contactaron diversas empresas para explorar la utilización de las harinas y almidones como insumo de procesos industriales; entre estos se pueden mencionar Laboratorios Bussié para la utilización del almidón de achira en la elaboración de medicamentos, Pastas Doria para la prueba de almidones en la fabricación de pastas alimenticias, Bavaria para la fabricación de adhesivos de etiquetas y para la prueba de harinas y almidones en cervecía, Organización Alico de Medellín, Fundexpo de Ibagué y Juan Carlos Eljaiek de Bucaramanga, para pruebas de proceso con harinas y almidones.

Formulación de nuevos proyectos: A partir de los resultados parciales del Proyecto, CORPOICA formuló nuevas propuestas de investigación y transferencia de tecnología como las siguientes:

- Acuerdo interinstitucional para el desarrollo integral de la minicadena agroindustrial de la achira en Colombia (firmado por Minagricultura, Midesarrollo, Mintrabajo, Corpoica, Sena, Dansocial y Red de Solidaridad en diciembre de 2000).
- Análisis técnico y socioeconómico de la minicadena agroindustrial de la achira en Colombia. (aprobado por ONUDI, 2001)
- Establecimiento de recomendaciones tecnológicas preliminares para el mejoramiento de la extracción del almidón de achira a nivel de pequeñas agroindustrias rurales. (aprobado por ONUDI, 2001)
- Fortalecimiento de microempresarios rurales vinculados a la cadena agroindustrial de la achira en los departamentos de Tolima, Huila y Caquetá. (aprobado por PADEMER, 2002)
- Fortalecimiento de microempresas rurales vinculadas a la cadena agroindustrial de la achira en el oriente de Cundinamarca. (aprobado por PADEMER, 2003)
- Valorización de tres especies andinas mediante investigación y desarrollo de alternativas tecnológicas para su industrialización: la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), la achira (*Canna edulis*) y la jícama (*Smilax sonchifolia*). (Presentado a convocatoria de FONTAGRO 2003).

Sinergia con otros proyectos: Los resultados de la opción tecnológica desarrollada mediante este proyecto cofinanciado por PRONATTA constituye la base de conocimiento para la transferencia de tecnología en los proyectos de fortalecimiento de microempresas rurales de achira financiados por PADEMÉR en Huila y Cundinamarca.

Alianzas institucionales: La ejecución del Proyecto en el tema de industrialización de raíces y tubérculos promisorios ha facilitado la interacción del equipo de investigación de CORPOICA con otras entidades de investigación como la Universidad Nacional de Colombia (Departamento de Farmacia), Universidad de la Salle (Ingeniería de Alimentos), Universidad de América (Ingeniería Química), Universidad Distrital (Ingeniería Mecánica), Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador, Universidad Central del Ecuador, Centro Internacional de Agricultura Tropical y CIRAD de Francia.

Reconocimiento institucional: Por último, vale mencionar que el equipo de investigación de CORPOICA fue galardonado en el año 2002 por la Fundación Alejandro Angel Escobar con mención honorífica en la categoría de Ciencias Exactas por el trabajo investigativo “Innovación tecnológica para el desarrollo social y económico de sistemas agroalimentarios locales en torno a una especie autóctona. La Agroindustria rural de la Achira en Colombia”, el cual se soporta en la tecnología desarrollada con el cofinanciamiento de PRONATTA.

4. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Para alcanzar los objetivos propuestos, en la ejecución del proyecto se realizaron tres fases: la primera consistió en el reconocimiento de las características de producción de las especies seleccionadas, haciendo énfasis en la determinación de los rendimientos de productos y subproductos de cosecha y en su valoración desde el punto de vista de composición; a través de análisis experimentales se determinó un modelo teórico del sistema para la producción de harinas y almidones. En la segunda fase se trabajó en el desarrollo y adaptación de tecnologías apropiadas para el procesamiento de los productos, el aprovechamiento de los subproductos y el tratamiento de efluentes del proceso. En la tercera fase se construyeron los prototipos mecánicos para el procesamiento y se establecieron plantas piloto para ajustar la tecnología a las condiciones regionales específicas; en esta fase se realizaron las actividades de transferencia, capacitación y asesoría a los usuarios del proyecto, mediante cursos, charlas técnicas y edición de publicaciones técnicas.

4.1. METODOLOGÍA TÉCNICA

El proyecto se focalizó hacia el desarrollo de alternativas tecnológicas de transformación de raíces y tubérculos promisorios, que permitan incrementar los ingresos y diversificar la producción de pequeños productores de economía campesina, tomando como casos de estudio la achira, la arracacha y el ñame.

Técnicamente el proyecto partió de la evaluación participativa con productores de los rendimientos de campo, bajo las condiciones de los sistemas productivos de la achira en el oriente de Cundinamarca y sur del Huila, de la arracacha en Cajamarca, Tolima, y del ñame en Carmen y San Juan Nepomuceno, Bolívar. Se establecieron los valores de producción de biomasa por unidad de área y de tiempo (kg/ha/mes) para cada una de las especies y se caracterizó su composición química, diferenciando las partes de la planta (raíces, tubérculos, cepas, follaje). Con esta información se calcularon los valores máximos teóricos que se pueden obtener cuando se les transforma en almidón o en harinas e identificar potencialidades de uso de los subproductos. Este cálculo sirvió de base para establecer la eficiencia de los procesos tradicionales y los propuestos.

En el caso de la achira, en el cual la producción de almidón ya es un proceso comercial, se evaluaron algunos parámetros de eficiencia de las operaciones de proceso a nivel de rallanderías de Cundinamarca y Huila. Dentro de estos parámetros se evaluaron la capacidad de producción, la tasa de extracción, el consumo de potencia, el consumo de agua, la productividad del trabajo y los costos de producción. También se caracterizaron los equipos y las operaciones de proceso, para identificar con los productores los problemas y las posibles soluciones.

Posteriormente se diseñaron y construyeron prototipos de máquinas, las cuales fueron probadas en primer término bajo condiciones de taller, para identificar problemas de funcionamiento y eficiencia. De los resultados de las pruebas se llevó un registro y sus resultados se discutieron dentro del equipo técnico especializado en ingeniería de procesos agroindustriales.

Una vez se lograba unas buenas condiciones de funcionamiento y eficiencia, los prototipos se probaron en condiciones de campo y se recibieron las recomendaciones de los productores para mejorarlos, hasta llegar a un diseño final, el cual se montó en condiciones de planta piloto, para su difusión entre los productores.

En los cursos regionales se presentaron a los productores los resultados de la investigación y se brindaron recomendaciones tecnológicas y logísticas para el adecuado funcionamiento de las plantas de proceso. En estos eventos se entregó material técnico escrito en forma de manuales y plegables.

4.2. METODOLOGÍA DEL TRABAJO CON PRODUCTORES

En una primera visita a fincas de los productores se explicaron los objetivos, metodología y resultados esperados del proyecto. Los productores interesados se integraron inicialmente al proyecto mediante su participación en la evaluación de los rendimientos de campo, la cual fue realizada a nivel de finca. Los productores contribuyeron a clasificar el material cosechado entre aquel que es comercializado y aquel que constituye un residuo de cosecha. Durante las visitas de evaluación a las fincas se estableció también con ellos el uso actual de los subproductos de cosecha, su manejo y se identificaron algunos posibles usos.

En la evaluación del proceso de extracción del almidón de achira también se presentó una activa participación de los productores, pues a través de la charla con ellos se identificaron los problemas de proceso, y se midieron para establecer su magnitud. Se evidenció un alto consumo de agua y problemas de calidad microbiológica del almidón debidos a la calidad del agua utilizada en el proceso y al inadecuado manejo del almidón durante el secado. Se discutió con ellos también acerca del manejo del afrecho y de las aguas residuales. Se identificó con algunos de ellos maneras eficientes de reutilizar el agua, mediante sedimentación de lodos y de manejar el afrecho distribuyéndolo en los cultivos para disminuir problemas de contaminación (malos olores, proliferación de moscas).

La prueba de los equipos se realizó en las rallanderías con la asistencia de varios productores. En esta prueba fue determinante la participación de los productores pues su opinión validaba o invalidaba los resultados obtenidos en las pruebas de taller. Fue común que la mayor preocupación de los productores fuera aumentar la capacidad de proceso y disminuir el trabajo requerido en las operaciones sin afectar el rendimiento. Estas premisas orientaron el diseño de los nuevos modelos.

Para el montaje de las Plantas Piloto se realizaron varias reuniones con los productores para definir su interés y compromiso para su establecimiento. Mediante varias visitas se evaluó conjuntamente entre productores e investigadores la ubicación y capacidad que debía tener la misma. Mediante esta alianza se logró interesar a las Alcaldías para participar en su cofinanciamiento y acompañamiento a través de las Umata.

Finalmente en la construcción de las Plantas hubo una participación decisiva de los productores, quienes aportaron su mano de obra y materiales regionales. Se trabajó hombro a hombro con los investigadores del proyecto, dándose un interesante intercambio de experiencias.

Vale la pena destacar también que a solicitud de los mismos productores se realizaron eventos de capacitación, no previstos inicialmente en el proyecto, para la elaboración de diversos productos a partir del almidón de achira y de la harina de arracacha. En estos eventos la participación y el interés mostrado por las mujeres fueron bastante significativos, hasta el punto que algunas de ellas hablaron de establecer proyectos productivos en torno a estos nuevos productos.

4.3. METODOLOGÍA DEL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

En el equipo de investigación participaron profesionales, técnicos y estudiantes de varias disciplinas.

El equipo de investigadores dentro de Corpoica se conformó con la participación de un grupo de profesionales especializados en el área de maquinaria y postcosecha, pertenecientes al Programa de Procesos Agroindustriales con sede en Tibaitatá y de profesionales y técnicos en cada una de las regiones del proyecto, con experiencia de trabajo investigativo en cada una de las especies estudiadas. A través de los investigadores regionales se estableció el enlace con los productores.

Inicialmente se realizó una reunión del equipo de investigación para establecer las responsabilidades de cada uno dentro del proyecto y para definir las estrategias de acción. En este sentido los investigadores regionales se encargaron de establecer el contacto inicial con los productores y de realizar la evaluación de los rendimientos de campo a nivel de fincas. Ellos también identificaron los grupos de productores asociados que estaban interesados en participar como beneficiarios de las Plantas Piloto. Los investigadores en Tibaitatá se encargaron de hacer el análisis consolidado de la información, de realizar las evaluaciones del proceso en campo con productores y con base en esto, de diseñar y probar en campo y taller los prototipos mecánicos para el mejoramiento de los procesos de transformación en harinas y almidones.

Para fortalecer el equipo de investigación de Corpoica, se contrataron los servicios de profesionales externos de las áreas de ingeniería mecánica, agrícola y ambiental, quienes apoyaron el desarrollo de la investigación en cada una de sus áreas. También se contrataron pasantes en el área de ingeniería y tecnología mecánica para la construcción y prueba de los prototipos y se realizaron tesis en el tema de desarrollo de productos a partir de harinas y almidones.

Durante el desarrollo del proyecto los investigadores regionales y del Programa Nacional participaron en las visitas de evaluación de los procesos y de prueba de los equipos en fincas de productores y participaron activamente con los productores en la definición de los sitios de ubicación de las Plantas Piloto. La retroalimentación de los resultados parciales del proyecto se realizó durante estas visitas.

Al interior del grupo de Tibaitatá, con participación de los contratistas y estudiantes, se discutieron los resultados de las evaluaciones de campo y las recomendaciones de los productores, realizando a la vez un seguimiento permanente de los resultados de funcionamiento y eficiencia de los prototipos, para tomar decisiones sobre las modificaciones y pruebas que debían realizarse a los nuevos prototipos.

De esta manera, la concepción de los modelos finales de máquinas y de las recomendaciones para las buenas prácticas de procesamiento fue el resultado de un esfuerzo conjunto de todos los integrantes del equipo de investigación y de los productores beneficiarios.

5. DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN TECNOLÓGICA

La opción tecnológica generada y transferida mediante el Proyecto consiste en un conjunto de equipos mecánicos y de recomendaciones tecnológicas para la valorización de la achira, la arracacha y el ñame mediante su transformación en harinas y almidones. La opción tecnológica está adaptada a las condiciones socioeconómicas y técnicas propias de pequeños productores campesinos interesados en introducir y/o mejorar actividades de agroindustria rural para el incremento y diversificación de sus ingresos.

La opción tecnológica integra los siguientes componentes:

- 1) Una lavadora mecánica de raíces y tubérculos, compuesta por un cilindro rotatorio y un sistema de aspersión de agua a presión que permite eliminar la tierra adherida y otras impurezas, ahorrando agua y facilitando la operación de limpieza de la materia prima.
- 2) Un rallo mecánico en acero inoxidable, provisto de un cilindro troquelado con puas dispuestas en espina de pescado y un pechero en forma de cuña, que mejora la liberación del almidón presente en los tejidos celulares.
- 3) Una tamizadora mecánica en acero inoxidable, compuesta por un cilindro rotatorio sin eje, recubierto en malla y tela de nylon y provisto de un sistema de aspersión de agua, que permite mejorar la separación del almidón del afrecho y disminuir el consumo de agua.
- 4) Un conjunto de tanques recubiertos en cemento y de artesas en acero inoxidable para el lavado del almidón, que permite reducir el consumo de agua y mejorar su calidad.
- 5) Una picadora mecánica compacta en acero inoxidable provista de un disco con cuchillas dispuestas en cruz que permite el fraccionamiento del material para la producción de harinas.
- 6) Un molino mecánico compacto en acero inoxidable, provisto de cribas de diversos diámetros de orificio para regular el tamaño de partícula de las harinas.
- 7) Un secadero tipo invernadero que aprovecha la energía solar y la ventilación natural para acelerar el secado y evitar la contaminación de harinas y almidones con materias extrañas.
- 8) Conjunto de recomendaciones de buenas prácticas de proceso, para garantizar la calidad de las harinas y almidones.
- 9) Recomendaciones para el uso de las hojas y el afrecho de la achira y de la cepa de la arracacha en alimentación animal.
- 10) Recomendaciones para el manejo de aguas residuales de proceso.

6. DESARROLLO DE LOS COMPONENTES DE LA OPCIÓN TECNOLÓGICA

Antes de realizar cualquier propuesta sobre las posibilidades de industrialización y de nuevas alternativas de utilización de una materia prima agrícola, es necesario conocer aspectos sobre sus características productivas, su disponibilidad y su calidad intrínseca en términos de su composición y propiedades de uso.

En ese sentido, este proyecto partió de la revisión de literatura de las características productivas de los cultivos de achira, arracacha y ñame en Colombia, continuando con la determinación de la capacidad productiva actual de biomasa de cada una de las especies en las principales regiones de cultivo y la posterior caracterización de composición de los materiales cosechados.

Posteriormente a partir de los resultados anteriores, se establecieron modelos de cálculo de la capacidad teórica de producción de harinas y almidones, por unidad de área y unidad de tiempo, para cada una de las especies consideradas, bajo las condiciones de producción de las regiones evaluadas. Este análisis permite hacer una comparación de la productividad de las especies de raíces y tubérculos respecto a cereales como el maíz y el trigo, comúnmente utilizadas para la fabricación de almidones y harinas.

En un siguiente aparte se describe el proceso de concepción de los equipos mecánicos para la producción de harinas y almidones, hasta llegar a los modelos finalmente propuestos de aplicación bajo las condiciones características de agroindustria rural. De igual manera, se analizan las posibilidades de utilización de los subproductos del proceso y se brindan recomendaciones para el manejo de las aguas residuales del proceso.

Por último se realiza un análisis económico de la tecnología recomendada y de los impactos esperados de la implementación de la opción tecnológica propuesta. En este orden de ideas, a continuación se presenta una descripción de los resultados obtenidos.

6.1. CARACTERÍSTICAS DE LA PRODUCCIÓN DE ACHIRA, ARRACACHA Y ÑAME EN COLOMBIA

6.1.1. Achira (*Canna edulis*)

En Colombia la achira o sagú es cultivada con fines comerciales especialmente en el oriente del departamento de Cundinamarca, en el sur del departamento de Huila y en áreas muy pequeñas de los departamentos de Nariño y Cauca. De acuerdo con la información recopilada en un estudio realizado por CORPOICA con financiamiento de ONUDI, en el año 2001 había una superficie sembrada de 647.7 hectáreas de achira, de las cuales cerca del 90% se encontraban en Cundinamarca y un poco menos del 10% en Huila.

Tradicionalmente la achira ha sido un cultivo de minifundio y de huerta familiar, con extensiones promedias inferiores a una hectárea y cosechado con el propósito de extraer el almidón de sus rizomas, el cual es utilizado en su gran mayoría como materia prima en la fabricación de bizcochos y de otros productos autóctonos de consumo local y regional como bizcochuelos, pan, coladas y natillas. Se estima que en el año 2001 existían 1,169 cultivadores de achira y se producían cerca de 1,308 toneladas de almidón. Cundinamarca concentra cerca del 70% de estos productores y el 95% de la producción del almidón. (Rodríguez y García, 2001).

En Cundinamarca la producción de achira se concentra especialmente en los municipios de Quetame, Guayabetal, Fosca, Gutiérrez, Cáqueza y Fómeque. Además, se tiene el reporte de pequeños cultivos de achira en otros municipios como Choachí, Une, Ubaque, Manta, Medina, Arbeláez, Pasca y Silvania. En Huila los principales productores son La Plata, San Agustín, Isnos, Colombia, Yaguará, Iquira, Altamira, Gigante y Pitalito. En la Tabla 1 se presentan algunas estadísticas básicas del cultivo de achira y la producción de su almidón.

Tabla 1. Área cultivada y cosechada, producción y rendimiento del cultivo de achira en Colombia. 2001.

| Departamento | Área Cultivada, (ha) | Área cosechada, (ha) | Producción, t | Rendimiento, (t almidón/ha) |
|--------------|----------------------|----------------------|---------------|-----------------------------|
| Cundinamarca | 584.4 | 577.4 | 1,237.7 | 2.14 |
| Huila | 63.3 | 26.8 | 70.3 | 2.63 |
| Total | 647.72 | 604.2 | 1,308.0 | 2.17 |

Fuente: Rodríguez y García. 2001. Análisis Socioeconómico y Técnico de la Minicadena Agroindustrial de la Achira. CORPOICA-ONUFI.

La cosecha se realiza cuando el cultivo alcanza su madurez y los rizomas han alcanzado una buena concentración de almidón, lo cual ocurre cuando las plantas tienen entre seis y nueve meses, según las condiciones agroecológicas de la región y el tipo de cultivar, pero principalmente en las épocas secas del año. En Cundinamarca la cosecha de los rizomas y producción del almidón se realiza entre noviembre y marzo del año siguiente. En el Huila, la cosecha se realiza en las épocas secas de comienzo y mediados de año.

La extracción del almidón generalmente la realiza el mismo agricultor mediante técnicas artesanales en un proceso donde la mayor parte de las operaciones, con excepción del rallado, se realizan en forma manual y donde las pérdidas de almidón son bastante significativas, la falta de control de calidad es notoria y los altos costos, el consumo de grandes cantidades de agua y los grandes requerimientos de mano de obra limitan a los productores para la ampliación de sus áreas de cultivo.

En el Huila se concentra la mayor demanda de almidón, debido a la existencia de un gran número de panaderías artesanales que tienen como actividad principal la producción de bizcochos, los cuales han ido ganando prestigio regional y nacional. Actualmente la producción de bizcocho de achira se ha extendido a otros departamentos como Tolima y Cundinamarca y a la ciudad de Bogotá, donde se encuentran industrias panificadoras de mayor escala, que lo han introducido dentro de sus líneas comerciales. La mayor parte de las unidades productoras de bizcocho de achira son de carácter familiar y artesanal.

La comercialización del almidón de achira tiene características de oligopsonio regional, con la presencia de muchos productores y unos pocos compradores o intermediarios, que se encargan de acopiar la producción regional del almidón y luego la distribuyen a los principales centros de consumo en el Huila, Tolima, Bogotá y recientemente hacia los departamentos del Meta, Caquetá y Putumayo.

En el canal de comercialización del almidón es frecuente la participación de varios agentes. Un canal típico se presenta entre el municipio de Quetame, Cundinamarca (mayor mercado del almidón de achira en Colombia) y los municipios productores de bizcocho en el Huila. En éste participa un comprador mayorista que se encarga de acopiar el almidón de varios productores de la región del oriente de Cundinamarca y de transportarlo hasta Neiva, en el Huila.

Allí lo vende a distribuidores locales o de plaza y éstos a su vez se lo venden a distribuidores más pequeños, quienes se encargan de llevarlo a diferentes municipios del Huila donde existen bizcocherías, e incluso a los departamentos de Caquetá y Putumayo, donde existe una importante colonia huilense que demanda el almidón para fabricar el bizcocho en forma doméstica.

A nivel de mercado externo se tienen reportes de importaciones no registradas oficialmente de almidón de achira procedente del Ecuador y de algunas exportaciones de pequeñas cantidades registradas oficialmente con destino al Reino Unido, principalmente.

6.1.2. Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)

La arracacha es considerada una de las plantas domesticadas más antiguas de América en virtud de su gran variabilidad y la existencia de formas silvestres de la misma (Rodríguez C, 1999). No hay vestigios que permitan identificar el origen exacto, pero es probable que se encuentre en el área septentrional de América del Sur, entre Colombia, Ecuador y Perú, por la presencia de especies silvestres afines. Bukasov (1981) señala que posiblemente el territorio de Colombia constituyó un centro primario de domesticación de la arracacha, dada su gran variedad en esta región. En la medicina nativa se le utilizaba cocida y amasada en calidad de cataplasmas antiinflamatorios y antisépticos; también se le conocía como diurético y estimulante, antidiarréico, para expulsar la placenta y para las verrugas de la piel (Estrella, 1990).

Actualmente la arracacha es cultivada a lo largo de la cordillera de Los Andes, desde Venezuela hasta el norte de Chile y noroeste de Argentina. Se puede cultivar desde 200 a 3200 metros sobre el nivel del mar (msnm), pero se desarrolla mejor entre 1.800 a 2.500 msnm. Los investigadores del Centro Internacional de la Papa, (CIP), calculan que unas 30.000 hectáreas se dedican al cultivo de la arracacha en América del Sur y América Central.

Colombia es el primer productor mundial de arracacha, con una producción anual de 101.452 toneladas (Ministerio de Agricultura, 2002). En el país el cultivo se encuentra ampliamente difundido en las cordilleras andinas y en alturas comprendidas entre los 1.500 y 2.500 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo con las estadísticas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el área sembrada de arracacha en Colombia en el año 2001 fue de 8.768 hectáreas, con un rendimiento promedio de 11,57 toneladas por hectárea. El departamento del Tolima es el principal productor con cerca del 63% de la producción total nacional, seguido por los departamentos del Santander, Boyacá y Huila (Tabla 2). Vale la pena destacar que el municipio de Cajamarca (Tolima) concentra más del 40% de la producción nacional y puede considerarse, sin duda, como el principal centro mundial de producción de arracacha.

La arracacha se cultiva principalmente por su raíz reservante que es de sabor agradable y de fácil digestibilidad, ya que posee un almidón muy fino, alto contenido de calcio y vitamina A y niveles adecuados de niacina, ácido ascórbico y fósforo (ICBF, 1988). Su principal inconveniente es su corta vida de almacenamiento y su vulnerabilidad a sufrir daños durante el transporte. Dado su valor nutricional el consumo de arracacha es recomendado en la dieta alimenticia de niños, ancianos y convalecientes. Aunque la arracacha es más conocida por sus raíces, ninguna parte de esta planta queda sin aprovecharse. Los tallos y las hojas se usan como alimento para animales y las hojas, que tienen un alto contenido de oxidantes, también se usan en muchas aplicaciones medicinales tradicionales (CIP, 2000).

En el país la arracacha generalmente se comercializa en estado fresco para preparaciones caseras de sopas, purés, pasteles y dulces, pero en Brasil a partir de ésta se han desarrollado algunos productos transformados como harina, arracacha frita, arracacha precocida, sopas instantáneas y alimentos infantiles; en Perú se produce un dulce típico denominado “rallado de arracacha”, el cual es elaborado con miel de caña.

Tabla 2. Superficie cultivada, producción y rendimiento de arracacha en Colombia, según departamentos. 2001.

| Departamento | Superficie cosechada (hectáreas) | Producción de raíces (toneladas) | Rendimiento de raíces (toneladas/hctárea) |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|
| Antioquia | 125 | 1.860 | 14,88 |
| Boyacá | 684 | 6.490 | 9,49 |
| Caldas | 47 | 420 | 8,94 |
| Cundinamarca | 507 | 3.711 | 7,32 |
| Huila | 797 | 5.749 | 7,21 |
| Guajira | 226 | 2.034 | 9,00 |
| Nariño | 25 | 217 | 8,68 |
| Norte de Santander | 460 | 7.253 | 15,77 |
| Quindío | 30 | 364 | 12,13 |
| Risaralda | 50 | 240 | 4,80 |
| Santander | 403 | 6.566 | 16,29 |
| Tolima | 5.188 | 64.206 | 12,38 |
| Valle | 226 | 2.342 | 10,36 |
| Total Nacional | 8.768 | 101.452 | 11,57 |

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2002. Anuario estadístico del sector agropecuario 2001.

6.1.3. Ñame (*Dioscorea sp.*)

El ñame corresponde a la denominación dada en español a varias especies del género *Dioscorea*, de origen africano y asiático. En Colombia las dos especies más cultivadas son el “ñame criollo” (*Dioscorea alata*) y el “ñame espino” (*Dioscorea rotundata*).

Es una planta netamente tropical, que se desarrolla mejor con temperaturas medias entre 25 y 30°C y una precipitación superior a los 1,000 mm/año. El período vegetativo toma entre 8 y 11 meses, requiriendo mantener la humedad durante los cinco primeros meses de su desarrollo; pasado este tiempo, el exceso de humedad puede ocasionar pudrición de los tubérculos. Requiere abundante luz para obtener mayor producción.

De acuerdo con las cifras del Ministerio de Agricultura (2002), en el país se cultivan 23,039 hectáreas en ñame y se producen 254,489 toneladas, con un rendimiento medio de 11,1 t/ha. La producción se realiza principalmente en las regiones de las costas Atlántica y Pacífica, siendo los principales productores los departamentos de Córdoba, Bolívar y Sucre. (Tabla 3).

En Colombia el ñame es cultivado por pequeños y medianos agricultores, con bajo nivel tecnológico, generalmente asociado con cultivos de yuca y maíz, y constituye la principal fuente de ingresos y de empleo rural en muchas zonas de la Costa Atlántica.

La comercialización de ñame es regional para consumo en fresco, aunque una parte se exporta a Estados Unidos, España y Alemania para alimento de la población latina y uso farmacológico. Además su exportación a los mercados de Estados Unidos y Europa le genera al país más de US\$2.5 millones anuales. (Sánchez, 1997).

Tabla 3. Superficie cultivada, producción y rendimiento de ñame en Colombia, según departamentos. 2001.

| Departamento | Superficie cosechada (hectáreas) | Producción de raíces (toneladas) | Rendimiento de raíces (toneladas/hctárea) |
|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|
| Antioquia | 295 | 4,652 | 15,769 |
| Atlántico | 238 | 2,142 | 9,000 |
| Bolívar | 8,192 | 100,012 | 12,208 |
| Cesar | 570 | 10,960 | 19,228 |
| Chocó | 173 | 1,408 | 8,139 |
| Córdoba | 10,059 | 102,510 | 10,191 |
| La Guajira | 190 | 1,093 | 5,753 |
| Magdalena | 90 | 560 | 6,222 |
| San Andrés y Prov. | 4 | 7 | 1,750 |
| Sucre | 3,228 | 31,505 | 9,760 |
| Total Nacional | 23,039 | 254,849 | 11,062 |

Fuente: Ministerio de Agricultura, evaluación agrícola 2002.

En Colombia los tubérculos de ñame se utilizan de manera similar a la papa, en la alimentación directa después de cocinados, en puré, en sopas y guisos. En los países caribeños lo utilizan deshidratado instantáneo, allí lo cocinan y prensan formando una delgada película que se seca en tambor para quebrarlo en hojuelas y empacarlo; también se consume frito, en forma de hojuelas crocantes y se prepara chicha o "masato" de ñame. En Africa, el ñame se usa en la preparación de "fufu", alimento tradicional en estos pueblos, que consiste en una masa elástica elaborada con ñame cocido, molido y amasado en un mortero de madera. En Nigeria se mezcla el ñame con otras harinas para la obtención de panificados

Por otro lado, se ha encontrado que varias especies de ñame contienen una fitohormona denominada diosgenina, de amplia utilización farmacéutica en la fabricación de anticonceptivos y en la regulación hormonal de mujeres para el tratamiento de la osteoporosis y los malestares de la menopausia; también se le utiliza para el tratamiento de la arterioesclerosis, la hipertensión y los altos niveles de colesterol. La Diosgenina tiene propiedades antiinflamatorias similares a la cortisona, sin sus efectos secundarios, y ha sido utilizada en el tratamiento de inflamaciones de las articulaciones y erupciones alérgicas.

6.2. DETERMINACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE CAMPO DE LAS ESPECIES INVESTIGADAS

Con el fin de establecer el potencial productivo en términos de biomasa, se realizó un muestreo de la productividad de la achira, la arracacha y el ñame bajo las condiciones específicas de las principales zonas de cultivo en el país. En la Figura 1 se muestra la ubicación de las principales zonas productoras de la achira (oriente de Cundinamarca y sur de Huila), de la arracacha (Cajamarca en el departamento del Tolima) y de ñame (Sabanas Córdoba, Sucre y Bolívar).

Para la toma de información directa se diseñó un formato el cual permitió determinar la producción de biomasa por unidad de área cosechada y por mes. Los materiales cosechados fueron clasificados de acuerdo con las partes de la planta y/o su destino de utilización.

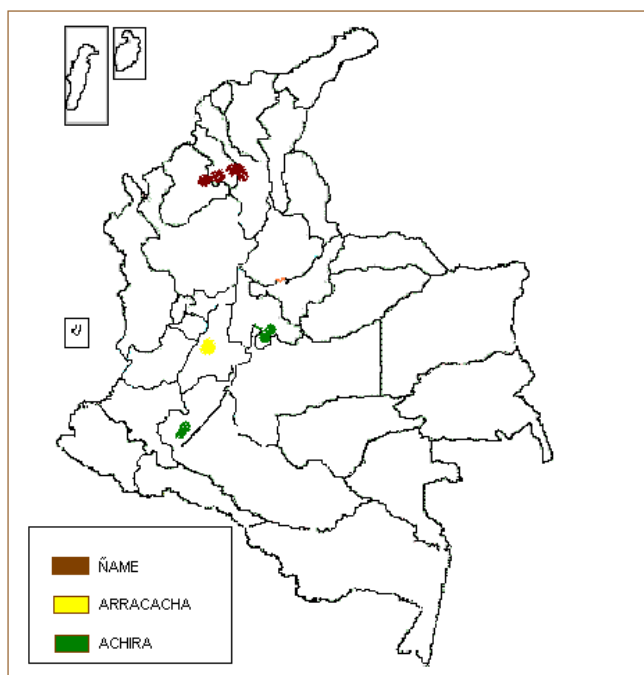


Figura 1. Localización de las principales zonas productoras de achira, arracacha y ñame en Colombia

A continuación se presentan los resultados para cada una de las especies consideradas.

Para la achira los muestreos se realizaron en diferentes localidades del oriente de Cundinamarca y del sur de Huila, cosechando los materiales y clasificándolos en rizomas destinados a la producción de almidón, material para semilla y parte aérea (tallos y hojas).

En el caso de Cundinamarca se muestrearon al momento de la cosecha 18 lotes de cultivo de achira de 100 m² de área, seleccionados aleatoriamente y ubicados en los municipios de Quetame, Fosca y Guayabetal. Se encontró que en promedio se producen 81 toneladas de biomasa fresca por hectárea, correspondiendo el 46% al peso de la parte aérea, el 42 a los rizomas y el 12% al material utilizado como semilla. (Figura 2).

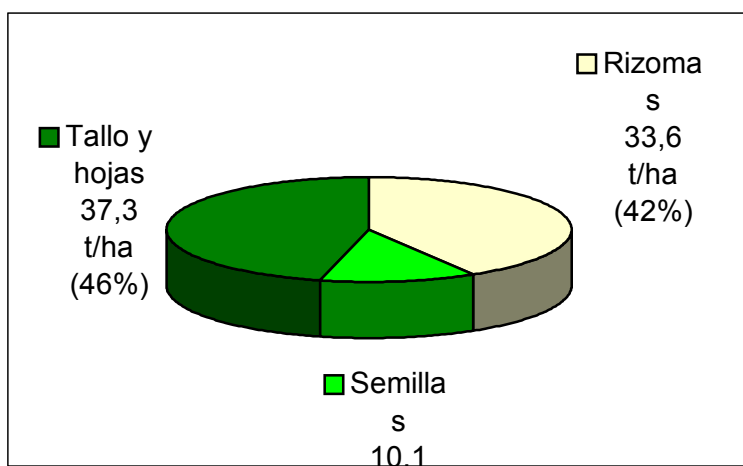


Figura 2. Producción de biomasa en el cultivo de achira en Cundinamarca

En la Tabla 4 se puede observar que la mayor variabilidad (Coeficiente de Variación) se presenta en la producción de semilla, lo cual puede explicarse porque el agricultor selecciona el material a utilizar como semilla, dependiendo del área que piense sembrar en su próximo cultivo y/o de la oportunidad que tenga de vender el material como semilla.

Tabla 4. Distribución de la producción de biomasa del cultivo de achira en Cundinamarca (kg de materia fresca)

| Parte de la planta | Producción kg/ha | Participación | Desv.est kg/ha | Coeficiente de Variación |
|--------------------|------------------|---------------|----------------|--------------------------|
| Rizomas | 33,602 | 41.5% | 6,613 | 19.68% |
| Semillas | 10,106 | 12.5% | 3,170 | 31.37% |
| Tallo y hojas | 37,256 | 46.0% | 3,955 | 10.61% |
| Total | 80,963 | 100.0% | 5,450 | 6.73% |

Fuente: Datos de campo del Ing. Agrónomo Jaime Torres, CORPOICA.

Sin embargo, se debe anotar que la variabilidad es debida a que se muestrearon al azar diferentes lotes, en alturas comprendidas entre los 1.200 y 2.100 metros sobre el nivel del mar, con diversos cultivares (Raizada, Verde, Roja, Morada), la mayoría de las veces mezclados, con diferentes densidades de población (entre 11,360 y 20.000 plantas/ha) y ante todo, manejados bajo diferentes labores culturales. La edad del cultivo al momento de la cosecha varió entre 10 y 12 meses, siendo generalmente menor en los lotes ubicados a menor altura sobre el nivel del mar.

En el caso del cultivo de achira en el sur de Huila se muestrearon aleatoriamente 6 lotes de cosecha de 60 m² de área, ubicados en los municipios de La Plata y San Agustín, entre 1650 y 1750 m.s.n.m. Los cultivares de achira presentes fueron Verde, Morada, Blanca y Nativa, con densidades de población entre 7,077 y 10.000 plantas/ha. La edad al momento de la cosecha varió entre 7 y 10 meses.

Bajo estas condiciones, la producción media de biomasa del cultivo de achira en Huila es de 76 t/ha, correspondiendo la mayor proporción al peso de los tallos y hojas, luego a los rizomas y en menor proporción al material destinado a semilla. (Figura 3).

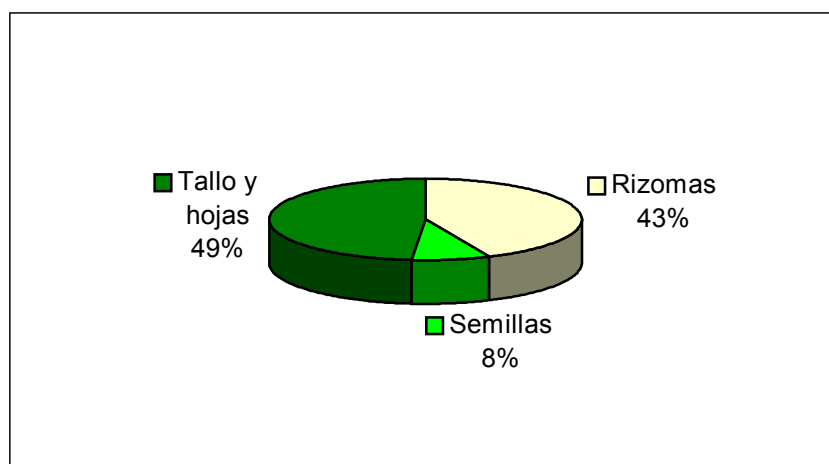


Figura 3. Producción de biomasa en el cultivo de achira en Huila

Se aprecia también una mayor variabilidad de la productividad de biomasa de los cultivos en Huila respecto a la encontrada en Cundinamarca. En términos medios la producción de biomasa por hectárea es menor en Huila que la de Cundinamarca. (Tabla 5).

Tabla 5. Distribución de la producción de biomasa del cultivo de achira en Huila (kg de materia fresca)

| Parte de la planta | Producción kg/ha | Participación | Desv.est kg/ha | Coefficiente de Variación |
|--------------------|------------------|---------------|----------------|---------------------------|
| Rizomas | 32,961 | 43.3% | 8,800 | 26.70% |
| Semillas | 6,106 | 8.0% | 1,818 | 29.78% |
| Tallo y hojas | 37,044 | 48.7% | 17,668 | 47.69% |
| Total | 76,111 | 100.0% | 22,195 | 29.16% |

Fuente: Información de campo del Ing. Agrónomo Guillermo Caicedo D. CORPOICA.

Para determinar la productividad de biomasa del cultivo de arracacha en Cajamarca se muestrearon 12 lotes de 100 m², en alturas comprendidas entre 1850 y 2100 metros sobre el nivel del mar, de arracacha amarilla de los cultivares locales Paliverde, Paliroja y Palirusia. La densidad de población varió entre 10,400 y 14,300 plantas / ha y la edad del cultivo al momento de la cosecha fluctuó entre 10 y 12 meses. La distribución de la producción se presenta en la Figura 4 y la Tabla 6.

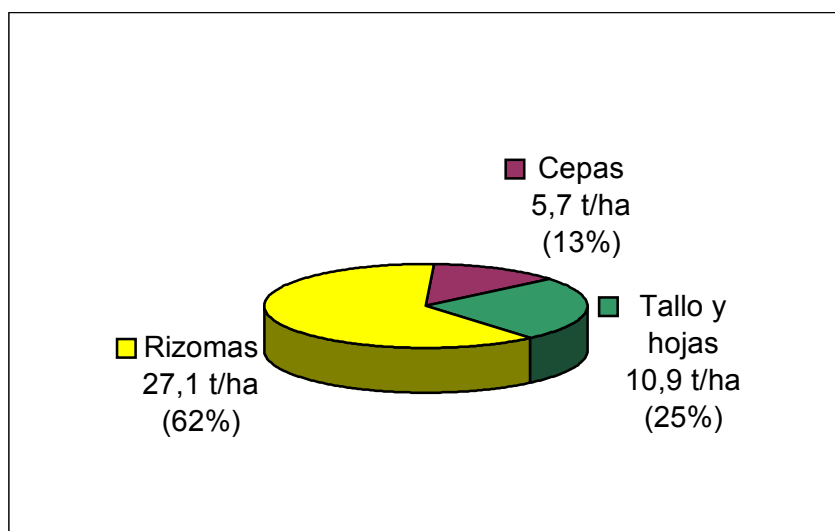


Figura 4. Producción de biomasa en el cultivo de arracacha en Cajamarca, Tolima.

Tabla 6. Distribución de la producción de biomasa del cultivo de arracacha en Cajamarca, Tolima (kg de materia fresca)

| Parte de la planta | Producción kg/ha | Participación | Desv.est kg/ha | Coefficiente de Variación |
|--------------------|------------------|---------------|----------------|---------------------------|
| Rizomas | 27,128 | 62.1% | 10,334 | 38.09% |
| Cepas | 5,673 | 13.0% | 2,162 | 38.12% |
| Tallo y hojas | 10,900 | 24.9% | 389 | 3.57% |
| Total | 43,701 | 100.0% | 12,127 | 27.75% |

Fuente: Información tomada por el Ing. Agrónomo Juan José Rivera V. CORPOICA.

Se observó que la producción de biomasa es de 43.7 toneladas de materia fresca por hectárea y que de ésta el 62% corresponde a los rizomas, el 25% a la parte aérea y el 13% a las cepas.

La productividad presenta una alta variación, especialmente en el caso de rizomas y de cepas. Cabe destacar, sin embargo que la producción promedio de rizomas en este muestreo fue de 27.1 t/ha, bastante superior a la reportada como promedio nacional de 11.6 t/ha, mostrando la gran capacidad productiva que tiene esta región.

En el caso de ñame en la Costa Atlántica, se muestrearon quince lotes cosechados en ñame criollo y otros quince en ñame espino, en las localidades de Carmen y San Juan Nepomuceno (Bolívar) y Chinú (Córdoba). El área de los lotes cosechados fluctuó entre 58 y 160 metros cuadrados. La biomasa cosechada, de acuerdo con las prácticas normales de los agricultores, se dividió en la parte aérea (tallo y hojas), tubérculos comerciales para mercado local, tubérculos de exportación y tubérculos no comercializables por daños sanitarios o mecánicos.

En el caso de Ñame Criollo se alcanza un rendimiento medio de biomasa fresca por hectárea de 12,060 kilogramos y en el de Ñame Espino de 25,207 kg/ha. En ambos casos la mayor proporción de la biomasa corresponde a tubérculos comercializables para el mercado local y de exportación, en suma 87%, para el Criollo y 94%, para el Espino. (Figuras 5 y 6).

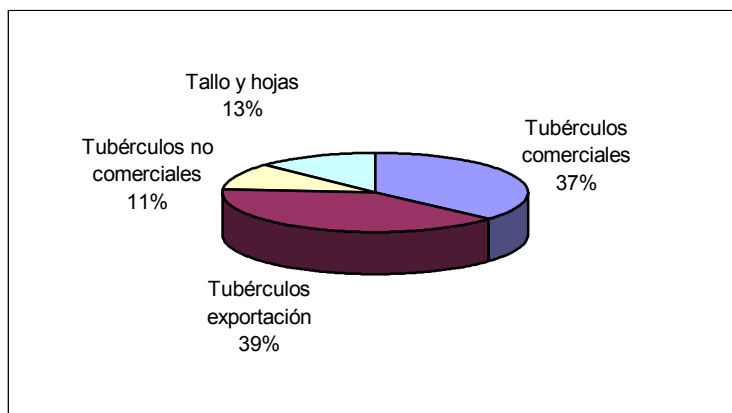


Figura 5. Producción de biomasa en el cultivo de ñame criollo en la Costa Atlántica.

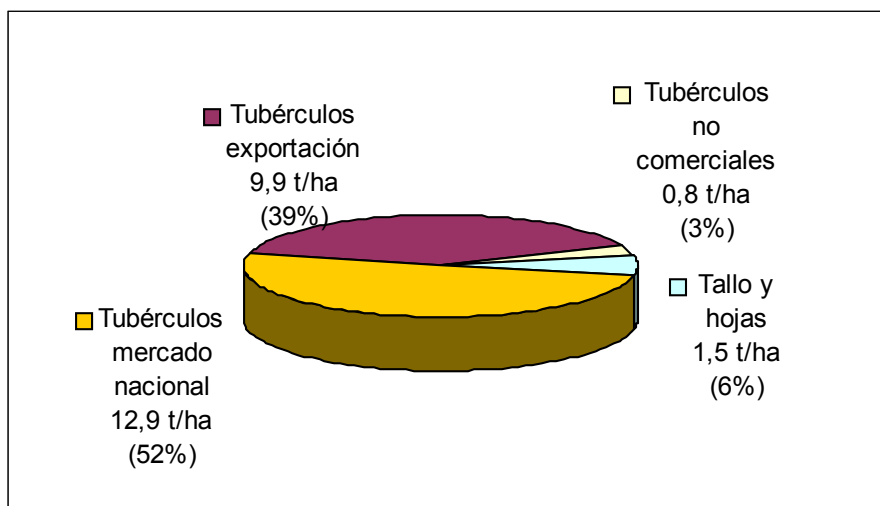


Figura 6. Producción de biomasa en el cultivo de ñame espino en la Costa Atlántica.

En las Tablas 7 y 8 se puede apreciar que hay una mayor variabilidad en los rendimientos del Ñame Espino respecto a los del Criollo. Cabe destacar la alta participación en la producción total de tubérculos tipo exportación, en ambas especies de ñame, los cuales se destinan principalmente al mercado latino de Estados Unidos, siendo el ñame Espino el de mayor aceptación.

Tabla 7. Distribución de la producción de biomasa del cultivo de ñame criollo en la Costa Atlántica (kg de materia fresca)

| Parte de la planta | Producción kg/ha | Participación | Desv.est kg/ha | Coefficiente de Variación |
|---------------------------|------------------|---------------|----------------|---------------------------|
| Tubérculos comerciales | 4,428 | 36.7% | 1,660 | 37.48% |
| Tubérculos exportación | 4,753 | 39.4% | 2,350 | 49.45% |
| Tubérculos no comerciales | 1,331 | 11.0% | 313 | 23.50% |
| Tallo y hojas | 1,548 | 12.8% | 245 | 15.83% |
| Total | 12,060 | 100.0% | 3,941 | 32.68% |

Fuente: Información tomada por el Ing. Agrícola Carlos Sánchez V. Corpoica.

Tabla 8. Distribución de la producción de biomasa del cultivo de ñame espino en la Costa Atlántica (kg de materia fresca)

| Parte de la planta | Producción kg/ha | Participación | Desv.est kg/ha | Coefficiente de Variación |
|---------------------------|------------------|---------------|----------------|---------------------------|
| Tubérculos comerciales | 12,983 | 51.5% | 8,616 | 66.37% |
| Tubérculos exportación | 9,946 | 39.5% | 4,088 | 41.10% |
| Tubérculos no comerciales | 784 | 3.1% | 408 | 52.07% |
| Tallo y hojas | 1,494 | 5.9% | 434 | 29.04% |
| Total | 25,207 | 100.0% | 12,187 | 48.35% |

Fuente: Información tomada por el Ing. Agrícola Carlos Sánchez V. Corpoica.

Se observa también una baja proporción de tubérculos de desecho, no comerciales, esta situación se puede explicar parcialmente porque en los últimos años ha habido cierta escasez de ñame (debido especialmente a los problemas de antracnosis) y esto hace que casi todos los tubérculos que son cosechados tengan la posibilidad de ser comercializados en el mercado local.

6.3. COMPOSICIÓN DE LOS MATERIALES COSECHADOS

Una vez cosechados, los materiales fueron transportados rápidamente y analizados en el laboratorio de nutrición del Centro de Investigaciones de Tibaitatá. Los análisis proximales se realizaron por triplicado a los rizomas de achira, los rizomas de arracacha y los tubérculos de ñame y consistieron en determinar sus contenidos de humedad, almidón, azúcares no reductores, azúcares reductores, fibra, proteína y ceniza.

La Tabla 9 muestra los valores medios de composición de los materiales analizados en términos de materia húmeda y la Tabla 10 la composición en términos de materia seca.

Tabla 9. Composición de las raíces y tubérculos (g/100 g de materia húmeda)

| Especie | Variedad | Agua | Almidón | Azúcares no reductores | Azúcares reductores | Fibra | Proteína | Otros |
|-----------|----------|--------|---------|------------------------|---------------------|-------|----------|-------|
| Achira | Raizuda | 74.000 | 19.760 | 3.876 | 0.163 | 0.083 | 0.086 | 0.323 |
| Achira | Roja | 68.800 | 23.712 | 3.952 | 0.172 | 0.083 | 0.098 | 0.355 |
| Arracacha | Amarilla | 76.400 | 17.936 | 4.408 | 0.302 | 0.151 | 0.084 | 0.209 |
| Ñame | Criollo | 71.900 | 22.340 | 1.590 | 0.002 | 0.003 | 0.155 | 0.601 |
| Ñame | Espino | 62.700 | 28.721 | 0.385 | 0.001 | 0.001 | 0.075 | 0.986 |

Tabla 10. Composición de materia seca de raíces y tubérculos (g/100 g de materia seca)

| Especie | Variedad | Materia seca g/100g | Almidón | totales | Azúcares reductores | Fibra | Proteína | Otros |
|-----------|----------|---------------------|---------|---------|---------------------|-------|----------|-------|
| Achira | Raizuda | 26.0 | 76.0 | 5.1 | 3.2 | 2.6 | 3.3 | 9.8 |
| Achira | Roja | 31.2 | 76.0 | 5.2 | 3.3 | 2.5 | 3.9 | 9.1 |
| Arracacha | Amarilla | 23.6 | 76.0 | 5.8 | 5.2 | 2.9 | 2.9 | 7.2 |
| Ñame | Criollo | 28.1 | 79.5 | 2.0 | 0.1 | 2.5 | 6.2 | 9.7 |
| Ñame | Espino | 37.3 | 77.0 | 0.5 | 0.1 | 1.1 | 6.8 | 14.5 |

Se observó que de los cinco materiales analizados, el ñame Espino presenta el mayor contenido de materia seca, con un promedio de 37.3%, seguido de la Achira Roja con promedio de 31.2%. La arracacha Amarilla presenta los valores más bajos de materia seca, con promedio de 23.6%.

Con respecto al contenido de almidón con base en el peso de la materia fresca, se observó la misma tendencia anterior, con los más altos contenidos de 28.7% para el ñame Espino y de 23.7% para la achira Roja y el menor contenido de almidón en el caso de la arracacha Amarilla con promedio de 17.9%.

A partir del análisis de la materia seca los mayores contenidos de almidón se presentan en el ñame Criollo con 79.5% y en el ñame Espino con 77%. La achira y la arracacha presentan contenidos de almidón muy similares de 76%

Al analizar los otros componentes se encontró que el mayor contenido de azúcares totales y reductores se presenta en la Arracacha Amarilla y los menores en el ñame Espino y en el Criollo. Los más altos contenidos de fibra se presentan en la arracacha y la achira y los menores en el ñame Espino. Con respecto al contenido de proteína se encontró que los más altos valores se presentan en el ñame, especialmente en el Criollo y los más bajos en la arracacha y en la achira Raizuda; similar comportamiento se observó en el contenido de otros compuestos, donde se encuentran en forma agregada, para el caso de este análisis, las grasas, los minerales y las vitaminas.

6.4. MODELOS ANALÍTICOS DE PRODUCTIVIDAD DE HARINAS Y ALMIDONES

Con base en los resultados del muestreo de productividad de biomasa en cada una de las regiones y de composición de las raíces y tubérculos cosechados, se pueden calcular los rendimientos potenciales de campo de las diferentes especies para la producción de harinas y de almidones.

En la Tabla 11 se presenta el modelo analítico de la producción de harinas. Se puede observar que la mayor productividad por unidad de área y unidad de tiempo se presenta en los casos de la achira en Huila y Cundinamarca, con valores de 989 y 939 kilogramos de harina por hectárea y por mes. La ventaja que presenta Huila sobre Cundinamarca puede explicarse en la menor duración del período vegetativo del cultivo de achira, pues en términos de contenido de materia seca y de rendimiento por hectárea es más competitivo el oriente de Cundinamarca.

Tabla 11. Modelo Analítico de productividad de harinas

| Especie | Periodo vegetativo | Productividad en raíces o | Materia seca | Productividad potencial | Productividad potencial |
|---------------------|--------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| | meses | tubérculos kg/ha | % | kg harina/ha | kg harina/ha/mes |
| Achira (Cund/ca) | 11.2 | 33,602 | 31.2 | 10,484 | 939 |
| Achira (Huila) | 8.7 | 32,961 | 26.0 | 8,570 | 989 |
| Arracacha (Tolima) | 11.0 | 27,128 | 23.6 | 6,402 | 582 |
| Ñame criollo (C.A.) | 11.0 | 9,181 | 28.1 | 2,580 | 235 |
| Ñame espino (C.A.) | 11.0 | 22,930 | 37.3 | 8,553 | 778 |

El cultivo del ñame Espino en la Costa Atlántica presenta una productividad potencial relativamente alta (778 kg/ha/mes) para la fabricación de harinas. Su ventaja está determinada básicamente por el alto contenido de materia seca en los tubérculos. La producción de harina de ñame se justifica además por el contenido y calidad de la proteína (Flores y otros, 1985) y por el contenido de tiamina (Rodríguez, 1997).

En el caso del cultivo de la arracacha en el Tolima se observa una productividad de harina relativamente baja (582 kg/ha/mes) determinada por dos factores: su largo período vegetativo y su bajo contenido de materia seca; sin embargo, la producción de harina de arracacha Amarilla se justifica por sus características funcionales y organolépticas, al ser un producto de fácil digestibilidad, que resiste condiciones de refrigeración y de un color amarillo intenso bastante atractivo para utilizar como aditivo natural en diversos alimentos. Además de su alto contenido calórico, en el caso de la arracacha Amarilla se tiene un alto contenido de provitamina A.

Al analizar la productividad potencial de las especies en términos de almidón (Tabla 12), se observa la misma tendencia que en harinas, dado que en casi todos los casos el contenido de almidón representa entre el 76 y el 77% de la materia seca total. La achira presenta una productividad potencial bastante alta en términos de almidón, con valores superiores a 700 kg/ha/mes, sin embargo, para llegar a ella se debe mejorar los sistemas de extracción del almidón, pues actualmente bajo las condiciones tradicionales de cultivo y de proceso se alcanza un rendimiento promedio de 217 kg/ha/mes, es decir, el 30% de la productividad potencial.

Tabla 12. Modelo Analítico de producción de almidones

| Especie | Periodo vegetativo | Productividad en raíces o | Tasa de convers. | Productividad potencial kg | Productividad potencial kg |
|---------------------|--------------------|---------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|
| | meses | Tubérculos kg/ha | % | amidón/ha | almidón/ha/mes |
| Achira (Cund/ca) | 11.2 | 33,602 | 23.7 | 7,968 | 714 |
| Achira (Huila) | 8.7 | 32,961 | 19.8 | 6,513 | 752 |
| Arracacha (Tolima) | 11.0 | 27,128 | 17.9 | 4,866 | 442 |
| Ñame criollo (C.A.) | 11.0 | 9,181 | 22.3 | 2,051 | 186 |
| Ñame espino (C.A.) | 11.0 | 22,930 | 28.7 | 6,586 | 599 |

A excepción del ñame Criollo, que presenta los más bajos valores de productividad (235 kg de harina/ha/mes y 186 kg de almidón/ha/mes) las demás especies de raíces y tubérculos analizadas, bajo las condiciones de producción del país, presentan una productividad potencial de harina y almidón superior a la de cereales comúnmente utilizados con este propósito como el maíz y el trigo.

En la Tabla 13 se puede apreciar una comparación de la productividad de materia seca de diferentes especies de cereales y de raíces y tubérculos.

Tabla 13. Análisis comparativo de la productividad de materia seca de diversas especies de cereales y de raíces y Tubérculos.

| Especie | Rendimiento de campo (kg/ha) | Contenido de materia seca | Productividad (kg materia seca/ha/mes) |
|----------------------------|------------------------------|---------------------------|--|
| Raíces y Tubérculos | | | |
| Achira Raizuda | 33.602 | 31,2% | 936 |
| Arracacha Amarilla | 27.128 | 23,6% | 582 |
| Ñame Espino | 22.930 | 37,3% | 778 |
| Papa | 16.666 | 22,0% | 733 |
| Yuca | 10.411 | 37,5% | 355 |
| Cereales | | | |
| Arroz | 4.813 | 87,0% | 837 |
| Maíz | 3.699 | 88,0% | 651 |
| Sorgo | 3.041 | 89,0% | 541 |
| Cebada | 1.421 | 88,0% | 250 |
| Trigo | 1.855 | 88,0% | 326 |

Calculado con base en los resultados de este estudio, en cifras del Anuario Estadístico del Ministerio de Agricultura (2002) y de las tablas de composición de alimentos colombianos del Instituto de Bienestar Familiar (1992).

6.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS ALMIDONES Y POTENCIALIDADES DE USO

Sobre la importancia del almidón para su aprovechamiento industrial se debe anotar que el almidón es el segundo compuesto que se encuentra en abundancia en la naturaleza, después de la celulosa, además es la reserva de energía de las plantas. La gran diversidad de características y propiedades funcionales de los diferentes tipos de almidón permite su utilización en una amplia gama de industrias como la alimenticia (panificación, coladas, espesante de sopas instantáneas, productos enlatados, fabricación de salsas, productos dietéticos, dulces y gomas, entre otros); en farmacéutica, cosmetológica, textil, de adhesivos, papelería y producción de alcoholes. (Ostertag, 1997).

Algunas de las características de los almidones de diferentes especies amiláceas se presentan en la Tabla 14.

Se puede observar que el almidón de achira presenta una temperatura de gelatinización relativamente baja y el mayor tamaño de gránulo de todos los almidones. De acuerdo con pruebas realizadas por el CIRAD y el CIAT en 1996, el almidón de achira es altamente resistente a las condiciones de esterilización, con cambios bruscos de temperatura, y su comportamiento para este fin es mejor que el de los cereales, lo cual le permite ser utilizado como aditivo en productos que requieren este proceso, como es el caso de los alimentos infantiles.

Tabla 14. Características físico-químicas y morfológicas de algunos almidones.

| Especie | Contenido de amilosa (%) | Temperatura gelatinización (°C) | Viscosidad máxima (u.B) | Forma del gránulo | Diámetro mayor-menor (µm) |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------------|
| Raíces-Tubérculos | | | | | |
| Achira | 23.3 | 61.0 | 570 | Elipsoidal | 45-25 |
| Arracacha | 18.5 | 58.7 | 717 | Elipsoidal | 10-8 |
| Ñame | 31.1 | 83.5 | 560 | Elipsoidal | 18-13 |
| Papa | 25.9 | 61.0 | 2,080 | Elipsoidal | 31-23 |
| Yuca | 21.5 | 63.3 | 482 | Esférica | 12-11 |
| Cereales | | | | | |
| Maíz | 25.4 | 86.5 | 114 | Poliédrica | 15-12 |
| Maíz waxy | <1 | 72.2 | 530 | Elipsoidal | 8-6 |
| Trigo | 18.1 | 88.8 | 57 | Lenticular | 19-13 |
| Sorgo | 21.9 | 88.8 | 56 | Poliédrica | 15-14 |
| Arroz | 18.2 | 86.5 | 45 | Poliédrica | 6-6 |

Fuente: Dufour y Hurtado, 1996. CIRAD-CIAT-CORPOICA

El almidón de arracacha presenta un contenido relativamente bajo de amilosa, la más baja temperatura de gelatinización y un gránulo muy pequeño. De acuerdo con las pruebas realizadas por el CIRAD-CIAT este almidón es resistente a condiciones de congelación hasta -20°C y no presenta sinéresis en medios ácidos, hasta un pH de 2.4 por 4 semanas a 4°C , lo cual le permite ser usado como aditivo natural, de productos que requieren refrigeración o congelación, como cárnicos, lácteos y helados y de productos conservados en medios ácidos como ciertos jugos y encurtidos.

El almidón de ñame presenta el más alto contenido de amilosa y una alta temperatura de gelatinización, En las pruebas realizadas por el CIRAD-CIAT se encontró que el almidón de ñame, al igual que el de achira, presenta una alta resistencia a condiciones de esterilización.

6.6. CONCEPCIÓN DE LOS MODELOS DE PROCESO PROPUESTOS

El proceso de investigación en el proyecto “Concepción de un modelo agroindustrial para la elaboración de harina y almidón a partir de raíces y tubérculos promisorios, con énfasis en los casos de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), achira (*Canna edulis*) y ñame (*Dioscorea sp*)”, específicamente en el desarrollo equipos agroindustriales, adelantó una secuencia que permitía dinamizar el proceso a partir del método científico.

El desarrollo del trabajo fue adelantado consultando a los agricultores, agroindustriales y demás personas interesadas en el proceso, realizando las actividades en campo con los productores, en los laboratorios de procesos e ingeniería del Programa Nacional de Procesos Agroindustriales de Corpoica y en las oficinas del mismo.

La secuencia para el caso del almidón de achira inició con diagnósticos y evaluaciones de las actividades que realizan los productores, tanto en la zona oriente del departamento de Cundinamarca, como en los municipios productores del Huila. El levantamiento de información pretendía caracterizar los productores e identificar los puntos críticos del proceso, todo con el objetivo de obtener parámetros de comparación para el desarrollo de los equipos.

Con respecto a la metodología de diagnóstico y evaluación de los procesos de extracción de almidón de achira con productores, no existía información al respecto en ninguno de los centros de investigación, por tal razón el equipo de investigadores del proyecto formuló un borrador, que posteriormente se fue enriqueciendo en la medida en que se interactuaba con los productores de almidón de achira, con profesionales contratados y con estudiantes en tesis y en pasantía.

En la evaluación de los procesos de obtención del almidón de achira con productores, se realizó un muestreo en Cundinamarca y Huila que recogió información de algunas características socioeconómicas del productor y su familia y del entorno veredal, como número de productores, valor del jornal en la zona; área de la finca y del cultivo, la dedicación a otras actividades productivas. Respecto a la fase de cultivo se tomó información acerca de cultivares utilizados, época de siembra, labores culturales, producción de rizomas, rendimientos por unidad de área y jornales utilizados en el desarrollo del cultivo y en la cosecha. De la fase de proceso de extracción del almidón se tomó información del sitio de procesamiento, equipos, herramientas e implementos utilizados, de las personas que intervienen en el proceso y los costos incurridos; en esta fase se aforó el agua empleada en el proceso, el tiempo empleado para ejecutar cada operación, se pesaron las materias primas y los efluentes del proceso. Por último, se tomaron muestras de rizomas, almidón, afrecho, agua cruda y residual para análisis en el laboratorio.

Los resúmenes de las evaluaciones realizadas en Cundinamarca y en Huila se presentan en las Tablas 15 y 16.

Tabla 15. Resumen de las evaluaciones del proceso de extracción del almidón de achira en el oriente de Cundinamarca.

| VARIABLES | UNIDAD | EMILIANO SANTIAGO | GUILLERMO GUTIERREZ | DANIEL HERRERA | GERMAN RAMOS |
|---|--------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|
| GENERALIDADES | | | | | |
| Municipio | | Fosca | Fosca | Quetame | Quetame |
| Vereda | | La hoya | La hoya | Guacapate | Granadillo |
| Variedades sembradas | | Verde, morada y nativa | Verde, morada y raizuda | Verde, roja y raizuda | Verde |
| Duración de cultivo | Meses | 11 – 12 | 11 - 12 | 9-10 | 12 |
| Altitud del sitio | m.s.n.m. | 2080 | 2090 | 1620 | 1800 |
| Área del cultivo | m2 | 1800 | 1200 | 1522 | 1280 |
| Valor del jornal (incluyendo comidas) | Pesos | 13000 | 13000 | 12000 | 12000 |
| Caudal de la fuente de agua | Lt/s | 0.276 | 0.192 - 0.24 | 0,349 - 0,592 | 0.168-0.202 |
| Cantidad de rizoma arrancado | Kg de rizoma | 730.5 | 565.3 | 2975 | 2300 |
| Cantidad de almidón obtenido | Kg de almidón | 95.33 | 72.4 | 383.67 | 287.76 |
| Contenido de humedad del almidón | % b.h. | 17.33 | 17.33 | 17.33 | 17 |
| Valor del Kg de almidón seco | Pesos | 2000 | 1440 - 1760 | 2000 - 2500 | |
| Relación rizoma/almidón | | 13.05 | 12.81 | 12.90 | 12.51 |
| CORTE, ARRANQUE, ACOPIO | | | | | |
| Corte, arranque, acopio y transporte | Jornales | 5 | 8 | 7 | 8 |
| LAVADO DEL RIZOMA | | | | | |
| Tipo de estructura | | Artesa de madera restregado. | Artesa de madera restregado. | Artesa de madera restregado. | Cambuche de madera |
| Lavado de rizomas | Jornales | 2 | 2 | 2 | |
| Cantidad de rizoma lavados por hora | Kg/Hora | 160 | 160 | 630 - 766 | 766 |
| Cantidad de agua utilizada por Kg de almidón seco | Lt/Kg almidón seco | 33.4 | 33.4 | 12.8 - 15.5 | 6.3 |
| Dimensiones | m | 3 x 3 | | 3 x 3 | |
| RALLADO | | | | | |
| Cantidad de rizoma rallado por hora | Kg/Hora | 1650 - 3000 | 1640 - 1660 | 580 - 1440 | 1800 - 2450 |
| Cantidad de personas rallando | Jornales | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Contenido de humedad del masato | % b.h. | 71.1 | 70.2 | | |

Tabla 15. Continuación.

| VARIABLES | UNIDAD | EMILIANO SANTIAGO | GUILLERMO GUTIERREZ | DANIEL HERRERA | GERMAN RAMOS |
|--|--------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| Valor de la carga rallada | Pesos | 2500 | 2500 | | |
| Motor | | | | | |
| Potencia del motor | H.P. | 16 | 16 | 9 | 16 |
| R.P.M. Trabajo (motor/rallo) | r.p.m. | 1735/1250 | 1735/1250 | 1700/1533 | 1800 |
| Rallo | | | | | |
| Material de fabricación | | Zinc | Zinc | Zinc | Zinc antigua |
| Dimensiones (largo x ancho) | cm | 82 x 29 | 78 x 29 | 84 x 31 | 92 x 31.5 |
| Altura de las púas | mm | 1.2 - 1.35 | 2.2 - 2.85 | 1.2 -2.5 | 1 - 1.25 |
| Diámetro de la púa | mm | 3.65 - 4.25 | 2.5 - 4.1 | 3 - 4 | |
| Número de huecos por pulgada cuadrada | | 10 - 11 | 13 - 14 | 6 - 9 | 4 |
| Cilindro | | | | | |
| Material de fabricación | | Madera | Madera de eucalipto | Pino | Eucalipta |
| Dimensiones (ancho x diámetro) | cm | 29 x 26 | 29 x 25.2 | 31 x 26.8 | 31.5 x 28 |
| Rodamientos | | Bolas 2 in | Bolas 2 in | Bolas 2 in | Chumaceras 2.5 in |
| Distancia eje - piso | cm | 57 | 57 | | |
| Distancia descarga - piso | cm | 38 | 38 | | |
| Tolva | | | | | |
| Material de fabricación | | Madera | Madera | Madera Urapan | Madera |
| Dimensiones superior | cm | 52.5 x 52.5 | 52.5 x 52.5 | 48.7 x 29.5 | 53 x 47 |
| Dimensiones inferiores | cm | 30 x 17 | 30 x 17 | 29,5 x 18 | 37 x 31 |
| Altura | cm | 20 | 20 | 15 | 12.5 |
| Dimensiones del pechero (superior, inferior y ancho) | cm | 42 x 30 x 20 | 42 x 30 x 20 | 39,6 x 29,4 x 15,4 | |
| Burro | | | | | |
| Dimensiones largo y ancho | m | 51 x 51 | 51 x 51 | 1,16 x 0,71 | 0.95 x 0.60 |
| Altura | cm | 57 | 57 | 53 | 55.3 |
| Distancia entre ejes | cm | 58 | 58 | 55.5 | |
| Poleas rallo/motor | cm | 12.3/11.36 | 12.3/11.36 | 12.81/13.65 | 10.2/13 |

Tabla 15. Continuación

| VARIABLES | UNIDAD | EMILIANO SANTIAGO | GUILLERMO GUTIERREZ | DANIEL HERRERA | GERMAN RAMOS |
|---|--------------------|--|---------------------------------------|---|-------------------------|
| Correa | | Tipo v, 1.55 cm | Tipo v, 1.55 cm | Tipo V B-56 | Tipo V 1.6 x 1.2 |
| TAMIZADO | | | | | |
| Estructura utilizada | | Madera, costal y cedazo, sobre artesa madera | Zaranda y cedazo, sobre artesa madera | | Alberca en cemento |
| Tamizado | Jornales | 2 | 2 | 5 | 3 |
| Cantidad de rizoma tamizado por hora | Kg/Hora | 128 - 190 | 75.4 | 288 | 225 |
| Cantidad de agua utilizada por Kg de almidón seco | Lt/Kg almidón seco | 40.4 - 59.2 | 72 | 65.9** - 194* | 32.4** - 136* |
| Contenido de humedad del afrecho | % b.h. | 77.2 - 82.2 | 88.9 | | 87.2 |
| Tamiz | | | | | |
| Dimensiones | m | 1 x 0.7 | | 0.9 x 0.9 | 1.66 x 0.75 |
| LAVADO DEL ALMIDÓN | | | | | |
| Lavado | Jornales | | 2 | 1 | |
| Trabajo en artesa, rebotada hasta adición agua | minutos | | 6.71 - 9.33 | 8,8 - 10,92 | 10-14 |
| Tiempo de sedimentación del almidón | minutos | | 80 - 82.7 | 91,67 - 104 | 91 - 107 |
| Lavado del almidón | Lt/Kg almidón seco | | 24.6 | 10.3*** | 17.3**** |
| Tipo de estructura | | Artesa de madera | | | |
| Material de fabricación | | Madera | Artesas de cedro, pino o chuguacal | artesa de madera | Artesa de pino montañel |
| Volúmenes | lt | 218 - 251 | 80.1 - 240.8 | 372 - 520 | 228 - 325 |
| SECADO DEL ALMIDÓN | | | | | |
| Tiempo de secado | días | 3 | 3 | 2 | 1 |
| Estructura utilizada | | Patios | Patios con plásticos | Patios con plástico | Estructura de secado |
| * Total de agua con agua recirculada. | | ** Cantidad de agua limpia adicionada. | *** Adiciono ácido cítrico. | **** Adiciono ácido cítrico pero en menor cantidad. | |

Tabla 16. Resumen de las evaluaciones del proceso de extracción de almidón de achira en el Huila.

| VARIABLES | UNIDAD | LEONEL GUERRERO | NILO ASTUDILLO | ARQUÍMEDES AROS | JESÚS DURAN |
|---|--------------------|-----------------|----------------|---------------------|-------------|
| GENERALIDADES | | | | | |
| Municipio | | San Agustín | San Agustín | Gigante | La Plata |
| Vereda | | Nueva Zelanda | Santa Mónica | Guadalupe | El recreo |
| Variedades sembradas | | Nativa y otras | Nativa y negra | Bugueña y Natagueña | Verde |
| Duración de cultivo | Meses | 8 | 6 - 14 | 11 | 8-12 |
| Altitud del sitio | m.s.n.m. | 1800 | 1910 | 1780 | 1180 |
| Área del cultivo | m2 | 400 | | | |
| Valor del jornal (incluyendo comidas) | Pesos | 7000 | 11000 | | 13000 |
| Caudal de la fuente de agua | Lt/s | 0.435 | 0.5 | | 1.56-2.38 |
| Cantidad de rizoma arrancado | Kg de rizoma | 750 | 38 | 886.6 | 100 |
| Cantidad de almidón obtenido | Kg de almidón | 110 | 5.89 | 101.5 | 11 |
| Contenido de humedad del almidón | % b.h. | 17 | 16 | 17 | 17 |
| Valor del Kg de almidón seco | Pesos | 2600 | 2400 | | 2400 |
| Relación rizoma/almidón | | 14.67 | 15.50 | 11.45 | 11.00 |
| CORTE, ARRANQUE, ACOPIO | | | | | |
| Corte, arranque, acopio y transporte | Jornales | 4 | 0.25 | | |
| LAVADO DEL RIZOMA | | | | | |
| Tipo de estructura | | | | | |
| Lavado de rizomas | Jornales | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Cantidad de rizoma lavados por hora | Kg/Hora | 422.5 | 124 | 266 | 346.8 |
| Cantidad de agua utilizada por Kg de almidón seco | Lt/Kg almidón seco | 7.5 | 93.9 | 19.7 | 7.4 |
| Dimensiones | | | | | |
| RALLADO | | | | | |
| Cantidad de rizoma rallado por hora | Kg/Hora | 130 - 240 | 326* | 580 | 723 |
| Cantidad de personas rallando | Jornales | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Contenido de humedad del masato | % b.h. | | | | |

Tabla 16. Continuación.

| VARIABLES | UNIDAD | LEONEL GUERRERO | NILO ASTUDILLO | ARQUÍMEDES AROS | JESÚS DURAN |
|--|--------|--------------------|------------------|-----------------|-------------|
| Valor de la carga rallada | Pesos | 7000 | | | |
| Motor | | | | | |
| Potencia del motor | H.P. | 3 | 2 | 2.5 | 5.5 |
| R.P.M. Trabajo (motor/rallo) | r.p.m. | 1750/1000 | 1850/1200 | 450 - 600 | 1600/700 |
| Rallo | | | | | |
| Material de fabricación | | Zinc | Zinc | Zinc | Zinc |
| Dimensiones (largo x ancho) | cm | 80 x 44 | 52 x 35 | 126 x 40 | 107 x 44 |
| Altura de las púas | mm | 2 - 3 | 1.6 - 2.05 | 2 - 3 | 2.5 - 3.7 |
| Diámetro de la púa | mm | 5.3 - 6.5 | 2 | 3.5 - 4.5 | 5.5 - 8.25 |
| Número de huecos por pulgada cuadrada | | | 4 | | 7 |
| Cilindro | | | | | |
| Material de fabricación | | Hierro | Metal más madera | Hierro | Hierro |
| Dimensiones (ancho x diámetro) | cm | 44 -25 | 35 x 15.2 | 40 x 40 | 44 x 34 |
| Rodamientos | | Bolas 1 in | Bolas 1 in | Bolas 1.5 in | |
| Distancia eje - piso | cm | 60 | | | |
| Distancia descarga - piso | cm | | | | |
| Tolva | | | | | |
| Material de fabricación | | Madera | Madera | | |
| Dimensiones superior | cm | 120 x 44 | 60 x 40 x 25 | | |
| Dimensiones inferiores | cm | | | | |
| Altura | cm | | | | |
| Dimensiones del pechero (superior, inferior y ancho) | cm | | 35 x 10 | | |
| Burro | | | | | |
| Dimensiones largo y ancho | m | Alberca de cemento | 75 x 46 | | |
| Altura | cm | | 93 | | |
| Distancia entre ejes | cm | | 52 | | |
| Poleas rallo/motor | cm | | | | |

Tabla 16. Continuación.

| VARIABLES | UNIDAD | LEONEL GUERRERO | NILO ASTUDILLO | ARQUÍMEDES AROS | JESÚS DURAN |
|---|--------------------|---------------------|--|-----------------|-----------------|
| Correa | | | | | |
| TAMIZADO | | | | | |
| Estructura utilizada | | Zinc y cedazo | | | |
| Tamizado | Jornales | | 1 | 1 | 3 |
| Cantidad de rizoma tamizado por hora | Kg/Hora | 177 | 66.5 | 58 | 461.5 |
| Cantidad de agua utilizada por Kg de almidón seco | Lt/Kg almidón seco | 62 | 19.4 | 79.5 | 80 |
| Contenido de humedad del afrecho | % b.h. | | | | |
| Tamiz | | | | | |
| Material de fabricación | | | Caneca plástica y tela de nylon. | Caneca y nylon | |
| Dimensiones | m | 1.2 - 1.2 | | | |
| LAVADO DEL ALMIDÓN | | | | | |
| Lavado | Jornales | 1 | 1 | | 1 |
| Trabajo en artesa, rebotada hasta adición agua | minutos | 5 - 6 | | | |
| Tiempo de sedimentación del almidón | minutos | 45 - 55 | | | |
| Lavado del almidón | Lt/Kg almidón seco | 80 | 18.2 | 6.6 | 72.7 |
| Tipo de estructura | | | | | |
| Material de fabricación | | Ladrillo y baldosín | Plástico | | Caneca plástica |
| Volúmenes | lt | 2784.6 | 18 | | |
| SECADO DEL ALMIDÓN | | | | | |
| Tiempo de secado | días | 2 | 2 | 8 | 2 |
| Estructura utilizada | | Patio y plastico | Patio | Zarzo | patio |
| * Rallado manual: 28.1 Kg rizoma/hora | | | Rallado con guadaña: 76.5 Kg rizoma/hora | | |

Para el caso de la Arracacha y Ñame que no tienen procesos agroindustriales en el país de extracción del almidón y fabricación de la harina, la secuencia de diagnóstico y evaluación se inició a partir del trabajo adelantado por el Programa Nacional de Procesos Agroindustriales, en diversos proyectos adelantados por Corpoica con el CIAT y el CIRAD de Francia, para la valorización de estas especies. (Tablas 17 y 18).

Tabla 17. Características de los procesos de fabricación de almidón y harina de arracacha y comparación con los de yuca.

| Característica del procesamiento de extracción de almidón de arracacha. | Arracacha amarilla | Arracacha Blanca | Arracacha morada | Yuca * |
|--|---------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| Rendimiento obtenido(g/100g materia prima b.h.) | 10.8 | 12.3 | 6.1 | 22.6 |
| Rendimiento teórico (g/100g materia prima b.s.) | 20.0 | 21.8 | 23.0 | 29.5 |
| Tasa de extracción (%) | 49 | 50 | 24 | 76.6 |
| Relación (raíces/ almidón) | 9 | 8 | 16 | 4.4 |
| Relación teórica (raíces/ almidón) | 5 | 5 | 4 | 3 |
| Agua utilizada en el proceso: | | | | |
| m ³ / 1000 t de raíces | 10.9 | 10.2 | 11.4 | 7.1 |
| m ³ / kg de almidón seco | 0.01 | 0.08 | 0.18 | 0.03 |
| Características del proceso de obtención de harina de arracacha. | Arracacha amarilla | Arracacha Blanca | Arracacha morada | Yuca ** |
| Rendimiento obtenido(g/100g materia prima b.h.) | 16.3 | 8.8 | 13.1 | 21.5 |
| Relación (raíces/ harina) | 6 | 11 | 8 | 3.5 |
| Agua utilizada en el proceso: | | | | |
| m ³ / 1000 t de raíces | 0.65 | 0.65 | 0.66 | 1.6 |
| m ³ / kg de harina de primera | 0.004 | 0.007 | 0.005 | 0.006 |

* Fuente Alarcón et Dufour, 1997. Citado en Procesamiento de la Arracacha...

** Fuente Viera (1993). Citado en Procesamiento de la Arracacha...

Tomado del Procesamiento de la Arracacha (Arracacia Xanthorrhiza): estudio de la factibilidad técnica y económica para la producción de almidón y harina, Hurtado J. Et all. 1997.

Tabla 18. Características de los procesos de fabricación de almidón y harina de ñame y comparación con los de yuca.

| Características del procesamiento de extracción del almidón de ñame. | Ñame criollo | Ñame espino | Yuca * |
|---|---------------------|--------------------|----------------|
| Rendimiento obtenido(g/100g materia prima b.h.) | 5.3 | 16.6 | 22.6 |
| Rendimiento teórico (g/100g materia prima b.s.) | 23.5 | 27.5 | 29.5 |
| Tasa de extracción (%) | 22.6 | 60.4 | 76.6 |
| Relación obtenida (raíces/ almidón) | 19 | 6 | 4.4 |
| Relación teórica (raíces/ almidón) | 4.2 | 3.6 | 3.4 |
| Agua utilizada en el proceso: | | | |
| m ³ / 1000 t de raíces | 26.9 | 15.3 | 7.1 |
| m ³ / kg de almidón seco | 0.22 | 0.24 | 0.03 |
| Características del proceso de obtención de harina de ñame | Ñame criollo | Ñame espino | Yuca ** |
| Rendimiento obtenido(g/100g materia prima b.h.) | 13.4 | 24.5 | 21.5 |
| Relación (raíces/harina) | 7 | 4 | 3.5 |
| Agua utilizada en el proceso: | | | |
| m ³ / 1000 t de raíces | 0.69 | 0.67 | 1.6 |
| m ³ / kg de harina de primera | 5.2 | 2.7 | 0.06 |

* Fuente Alarcón et Dufour, 1997. Citado en Procesamiento de la Arracacha...

** Fuente Viera (1993). Citado en Procesamiento de la Arracacha...

Tomado del Procesamiento de dos especies de ñame (Dioscorea alata, D. rotundata): estudio de la factibilidad técnica y económica para la producción de almidón y harina , Hurtado J. Et all. 1997.

Dentro del diagnóstico y evaluación de los procesos de extracción del almidón y obtención de harina de Achira, Arracacha y Ñame, se levantó información de equipos y procesos que se utilizan en diferentes actividades agroindustriales parecidas a las requeridas, con el fin de poder evaluarlas y adaptarlas. Para el lavado de las raíces y tubérculos se observaron las lavadoras de zanahoria y papa y en el caso del rallado se revisaron varios equipos de trituración y licuado.

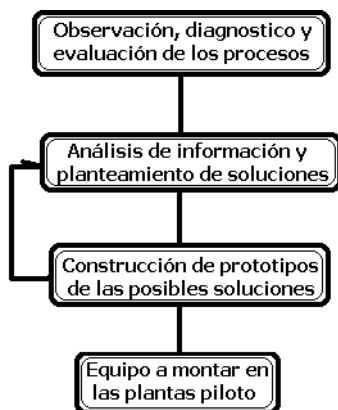


Figura 7. Secuencia lógica para la concepción de los equipos

El siguiente paso en el proceso de concepción de los equipos fue el análisis de la información obtenida en el paso anterior y el planteamiento de alternativas de solución. Esta actividad fue desarrollada con las siguientes premisas:

1. En el caso de la achira, donde se tiene un producto, proceso y equipos identificados por varias comunidades rurales, el trabajo se centró en el aumentar la cantidad de almidón extraído, mejorar la calidad, y reducir costos en la operación.
2. Para los casos de extracción de almidón y obtención de harinas de arracacha y ñame, se buscaba explorar mecanismos que de manera económica, eficiente y no compleja presentaran y permitieran a los productores promover el desarrollo de estos productos.

Es en este punto donde surgen diferentes alternativas para cada uno de los procesos y de las especies, los cuales debían ser adecuados, construidos, probados y evaluados para lograr evolucionar en la concepción y desarrollo de las máquinas.

Continuando con la secuencia, el equipo de investigación, acompañado de un grupo de profesionales consultores, de auxiliares del laboratorio de Ingeniería y de estudiantes de diversas universidades, procedieron a la elaboración de prototipos que permitieran observar y evaluar cada una de las alternativas propuestas en el paso anterior. De los resultados que se iban obteniendo, se volvía al equipo de investigación para focalizar y centrar cada vez más el trabajo.

Cuando se tuvieron definidos los mecanismos, se diseñaron y construyeron varios prototipos de equipos que permitieron, mediante el proceso de las especies, determinar su desempeño y operatividad y calcular las condiciones mínimas con las cuales deberían operar los modelos definitivos. En las tablas 19, 20 y 21 se presentan los rangos de algunas de las características de la achira, la arracacha y el ñame para el diseño de los equipos.

El último paso en la concepción de los equipos fue la construcción y montaje de los modelos en las plantas piloto, donde se evaluaron y pusieron a punto en forma participativa con los productores.

Tabla 19. Rangos de algunas de las características de la achira.

| CARACTERÍSTICA | RANGO | | UNIDADES |
|--|-------|-------|-------------------|
| | Min | Max | |
| Descripción cultivo y cosecha | | | |
| Altura de la plantas | | 52 | cm |
| Distancia entre surcos | | 50 | cm |
| Número de tallos por planta | 44 | 45 | Unidades |
| Peso del follaje | 12.3 | 15.4 | Kg por planta |
| Cantidad de rizomas por planta | 55 | 57 | Unidades |
| Peso de los rizomas | 9.4 | 9.5 | Kg por planta |
| Producción de rizomas | | 30 | Ton/Ha |
| Densidad del rizoma | | 0.363 | g/cm ³ |
| Contenido de humedad del rizoma | 67.3 | 77.49 | % b.h. |
| Materia seca del rizoma | 26 | 31 | g/100g b.h. |
| Contenido de cenizas en el rizoma | | 1.4 | % b.s. |
| Angulo de fricción del rizoma | | 60 | ° |
| Agua empleada en el lavado del rizoma | 0.75 | 14.5 | lt/kg de rizoma |
| Densidad de la masa rallada | | 0.86 | g/cm ³ |
| Agua empleada en el tamizado | 2.1 | 9.22 | lt/kg de rizoma |
| Porcentaje de afrecho | 19.2 | 20 | % m.s. |
| Contenido de humedad del afrecho | 77.2 | 88.9 | % b.h. |
| Contenido de almidón en el afrecho | | 51.76 | % m.s. |
| Agua empleada en el lavado del almidón | 6.6 | 250 | lt/kg de almidón |
| Tiempo de sedimentación y compactación | 90 | 120 | min |
| Porcentaje de mogolla | 1 | 2.3 | % m.s. |
| Contenido de humedad de la mogolla | 60 | 63.2 | % b.h. |
| Contenido de almidón en la mogolla | 17.5 | 76.76 | % m.s. |
| Densidad del almidón húmedo | | 1.177 | % b.h. CH17%bh |
| Producción de almidón | | 5 | Ton/Ha |
| Tamaño de la partícula de almidón | 80 | 150 | micrómetros |
| Contenido de almidón | 70 | 80 | % b.s. |
| Contenido de almidón | 15 | 17 | % b.h. |
| Contenido de humedad en el almidón | | 0.24 | % b.s. |
| Contenido de humedad en el almidón | 16 | 17.33 | % b.h. |
| Contenido de amilosa | 20 | 39 | % almidón |
| Temperatura de gelatinización | 64 | 72 | °C |
| Densidad del almidón seco | 0.65 | 0.682 | g/cm ³ |
| Rendimiento almidón / rizoma practico | 6 | 15.5 | % b.h. CH17%bh |
| Rendimiento almidón / rizoma teórico | 19.8 | 23.7 | % b.h. CH17%bh |
| Rendimiento almidón / rizoma teórico | | 31.2 | % m.s. |

Tabla 20. Rangos de algunas de las características de la arracacha.

| CARACTERÍSTICA | RANGO | | UNIDADES |
|--|-------|-------|-------------------|
| | Min | Max | |
| Densidad del rizoma | 0.507 | 0.511 | g/cm ³ |
| Contenido de humedad del rizoma | 67 | 81 | % b.h. |
| Materia seca del rizoma | 23.6 | 29.3 | g/100g b.h. |
| Contenido de cenizas en el rizoma | | 1.2 | % b.s. |
| Agua empleada en el lavado del rizoma | 1 | 2.9 | lt/kg de rizoma |
| Porcentaje de pérdida en el lavado | 1.3 | 4.2 | % de rizoma |
| Densidad de la masa rallada | | | g/cm ³ |
| Agua empleada en el tamizado | 7 | 9.4 | lt/kg de rizoma |
| Agua empleada en el lavado del almidón | 2 | 3.2 | lt/kg de almidón |
| Tiempo se sedimentación | 180 | 240 | min |
| Contenido de humedad almidón inicio secado | 46.18 | 48.9 | % b.h. |
| Densidad del almidón húmedo | 1.064 | 1.159 | % b.h. CH50%bh |
| Tamaño de la partícula de almidón | 9 | 21 | micrometros |
| Contenido de almidón | 73 | 80 | % b.s. |
| Contenido de almidón | 10 | 25 | % b.h. |
| Contenido de amilosa | 20 | 20 | % almidón |
| Temperatura de gelatinización | 58 | 65 | °C |
| Rendimiento almidón /rizoma practico | 6 | 13.7 | % b.h. CH15%bh |
| Rendimiento almidón /rizoma teórico | 17.9 | 22.9 | % b.h. CH15%bh |
| Rendimiento almidón /rizoma teórico | 20 | 23 | % m.s. |
| Contenido de humedad de la harina | 11.28 | 13.36 | % b.h. |
| Materia seca de la harina | 3.24 | 3.96 | % b.s. |
| Rendimiento harina /rizoma teórico | 8 | 16 | %b.h. |
| Rendimiento harina /rizoma teórico | | 28.4 | % m.s. |
| Rendimiento harina /rizoma practico | 17.1 | 32.5 | % b.h. CH12%bh |
| Densidad de la harina criba 0.8 mm CH:12% bh | 0.432 | 0.577 | g/cm ³ |

Tabla 21. Rangos de algunas de las características del Ñame.

| CARACTERÍSTICA | RANGO | | UNIDADES |
|--|-------|-------|-------------------|
| | Min | Max | |
| Penetración sin cáscara | 10 | 11,35 | Kg-f |
| Densidad del rizoma | 0,452 | 0,539 | g/cm ³ |
| Contenido de humedad del rizoma | 66,9 | 72,4 | % b.h. |
| Materia seca del rizoma | 29 | 37 | g/100g b.h. |
| Agua empleada en el lavado del rizoma | 0 | 0 | lt/kg de rizoma |
| Porcentaje de pérdida en el lavado y cáscara | 8,8 | 35 | % de rizoma |
| Agua empleada en el tamizado | 3 | 9 | lt/kg de rizoma |
| Agua empleada en el lavado del almidón | 4 | 4 | lt/kg de almidón |
| Tiempo de sedimentación | 30 | 240 | min |
| Tamaño de la partícula de almidón | 1 | 70 | micrometros |
| Contenido de almidón | 65 | 89 | % b.s. |
| Contenido de amilosa | 10 | 30 | % almidón |
| Temperatura de gelatinización | 79 | 97 | °C |
| Rendimiento almidón /rizoma practico | 5,3 | 16 | % b.h. CH15%bh |
| Rendimiento almidón /rizoma teórico | 37,3 | 37,3 | % m.s. |
| Rendimiento harina /rizoma practico | 13,4 | 27,5 | % b.h. CH12%bh |

6.7. DESARROLLO DE EQUIPOS PARA LA EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

El proceso de extracción de almidón es similar para la achira, la arracacha y el ñame, se presentan algunos cambios en el lavado de los rizomas ya que en el caso del ñame hay que descortezar; los tiempos de sedimentación se aumentan en arracacha y ñame debido al reducido tamaño de los gránulos de almidón. El proceso de extracción es mostrado en el diagrama de flujo de la Figura 8.

En la Tabla 22 se presentan algunos parámetros de desempeño de los prototipos evaluados en la extracción de almidón.

6.7.1. Lavador de rizomas y tubérculos

El lavado tiene por objetivo retirar elementos extraños que vienen adheridos a los rizomas de achira o arracacha y a los tubérculos de ñame, los cuales pueden afectar la calidad final del almidón.

El equipo mecánico de lavado debía cumplir la función de descortezar los rizomas de arracacha y los tubérculos del ñame, y eliminar la mayor cantidad de suelo que regularmente viene adherida a los rizomas de achira. Como premisas de diseño también se tuvieron las siguientes:

- Utilizar la menor cantidad posible de agua.
- Lavar el mayor número de rizomas o tubérculos por unidad de tiempo
- No dañar las características del material.
- Utilizar la menor potencia.

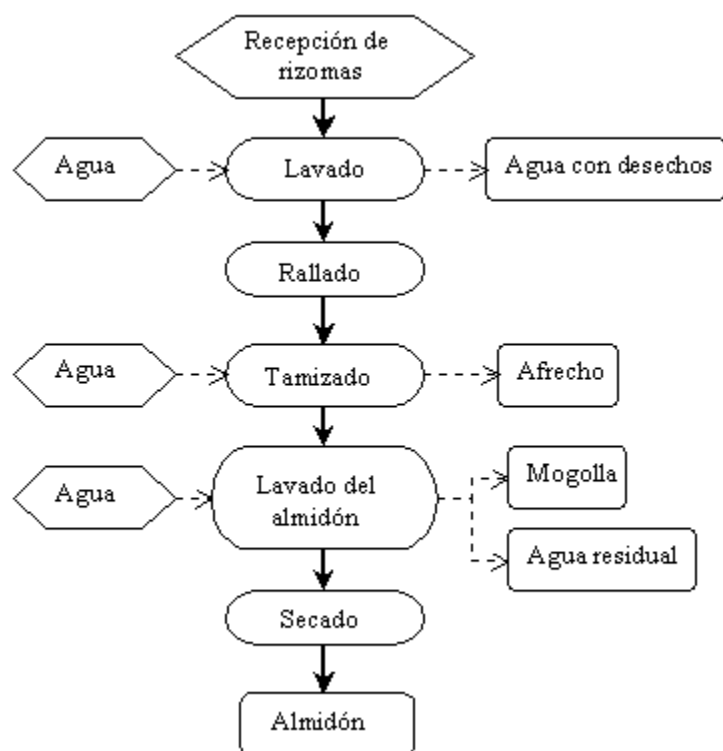


Figura 8. Proceso de extracción de almidón

Tabla 22. Parámetros de algunos prototipos.

| Prototipo | Capacidad del equipo | Consumo de agua | Fuente de potencia | Revoluciones de trabajo |
|--|----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| Lavado de rizomas productores | 80 - 400 Kg/hora | 0,7 - 14 l/Kg. rizoma | | |
| Prototipo cilindro giratorio con ángulos | 36 Kg/hora | 3,3 l/Kg. rizoma | Manual | 35 r.p.m |
| Prototipo cilindro con malla abrasiva | 36 Kg/hora | 3,3 l/Kg. rizoma | Manual | 35 r.p.m |
| Lavador de rizomas Tipo corpoica | 700 Kg/hora | 1 - 1,2 l/Kg rizoma | Motor eléctrico 2 HP | 45 a 50 r.p.m. |
| Rallado de rizoma productores | 28 - 720 Kg/hora | | | |
| Prototipo de ralladora con pechero dispuesto verticalmente | 360 Kg/hora | | Motor a gasolina 10 HP | 600-800 r.p.m. |
| Prototipo de ralladora con pechero 30° y 2400 r.p.m. | 720 Kg/hora | | Motor a gasolina 10 HP | 2400 r.p.m. |
| Ralladora mecánica | 700-1000 Kg/hora | | Motor eléctrico 3 HP | 3600 r.p.m |
| Tamizado por parte de los productores | 58 - 280 Kg/hora | 3 - 21 l/Kg rizoma | | |
| Prototipo de tamiz horizontal | 240 Kg/hora | 4 l/Kg. rizoma | Manual | 35 r.p.m |
| Tamizadora de flujo continuo | 400 Kg/hora | 3 l/Kg. rizoma | Motor eléctrico 2 HP | 45 a 50 r.p.m. |

En este proceso se observaron equipos de lavado que se emplean en otros productos como el caso del lavador de yuca y el de zanahoria. En el de zanahoria se observó que el mecanismo consistía en desplazar el material en un cilindro inclinado al que se le adiciona agua; la gran desventaja es el consumo elevado de agua que requieren estos equipos, siendo esto especialmente una limitante en zonas que sufren de escasez de agua.

6.7.1.1. Prototipo Cilindro giratorio con ángulos

Se partió de un cilindro con ángulos en sus paredes para que por medio de la fricción entre el material a lavar y los ángulos se desprendieran los elementos extraños (Figura 9). Entre las primeras características se buscó mantener el cilindro sumergido para ahorrar agua, y por otro lado cucharas que levantaran el rizoma y lo descargaran en una tolva que permitiera la continuidad del proceso, además estas cucharas o ángulos permitían recoger agua para adicionarla permanentemente al material a ser lavado.

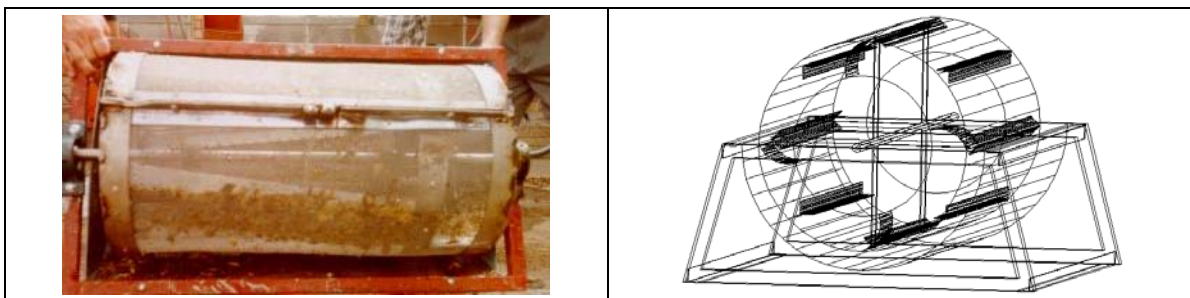


Figura 9. Prototipo de lavador con cilindro giratorio y ángulos.

El diámetro de este primer prototipo fue de 40 cm, los ángulos se construyeron en lámina de acero inoxidable y se colocaron con un pequeño ángulo respecto al eje para producir el desplazamiento. Los problemas que se encontraron en este primer prototipo fueron: el diámetro del cilindro era muy pequeño, ocasionando dificultades para introducir el material; las varillas de soporte del eje al cilindro fueron muy grandes y dificultaban el avance de los rizomas o tubérculos, inclusive provocaban que se devolvieran y se salieran del cilindro; los ángulos muy grandes y por ser hechos con lámina cortaban y aun picaban los rizomas y tubérculos, lo cual implicaba la indeseable extracción del almidón en esta operación; pérdidas de agua por las paletas laterales; como el contorno del cilindro fue forrado en malla metálica de abertura de 5 milímetros no tuvo una salida eficiente de las impurezas de mayor tamaño, lo que cual no permitía una limpieza eficiente del material y dificultaba posteriormente la limpieza de la máquina. El rendimiento de este prototipo era de 36 kilogramos por hora con un consumo de agua de 3.3 litros por kilogramo de rizoma, trabajado en bache.

6.7.1.2. Prototipo Cilindro con malla abrasiva

La alternativa siguiente fue encontrar una malla que tuviera alta rugosidad y perforaciones grandes para recubrir el cilindro. La que mejor se acomodó a estas condiciones fue la malla eslabonada electro soldada en forma de rombos. Al prototipo anterior se le cambió solamente la malla para recubrir el cilindro y se le dejaron sus otras características sin modificación.

Este nuevo prototipo mostró buenos resultados con la arracacha incluso realizando un pelado superficial. Sin embargo para el caso de la achira no había suficiente limpieza en los intersticios, ni fricción importante entre los rizomas.

De este prototipo se concluyó que es recomendable la utilización de mallas abrasivas como cubierta del cilindro para la limpieza y pelado de materiales, como es el caso de los tubérculos del ñame que presentan una corteza gruesa. El desempeño fue de 36 kilogramos por hora con un consumo de agua de 3.3 litros por kilogramo de material lavado, trabajado en bache.

6.7.1.3. Prototipo Cilindro con cepillos estáticos.

Para solucionar la limpieza de los intersticios de los rizomas de achira, al prototipo anterior se le colocaron cepillos soldados al eje, sin embargo, estos cepillos por ser muy cortos no realizaban la limpieza deseada, por otro lado atascaban el material, sin dejar que se desplazara dentro del cilindro. (Figura 10)

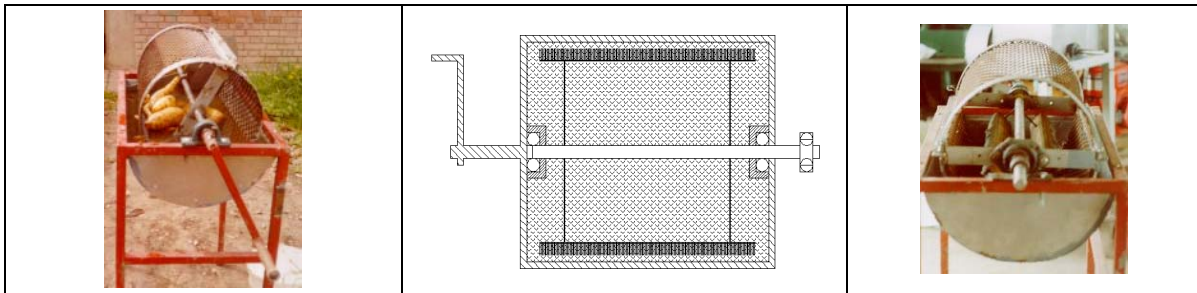


Figura 10. Prototipo lavador con cilindro recubierto en malla abrasiva y con cepillos estáticos.

6.7.1.4. Primer equipo de lavado de rizomas tipo Corpoica

El lavador continuo consiste en una estructura que soporta una malla, que gira a determinado número de revoluciones y cuya rotación es proporcionada por un motor eléctrico. El rizoma es alimentado por una tolva en uno de los extremos y sale limpio por el otro extremo, luego de atravesar el cilindro. El avance del rizoma es motivado por una inclinación del cilindro (Figura 11).

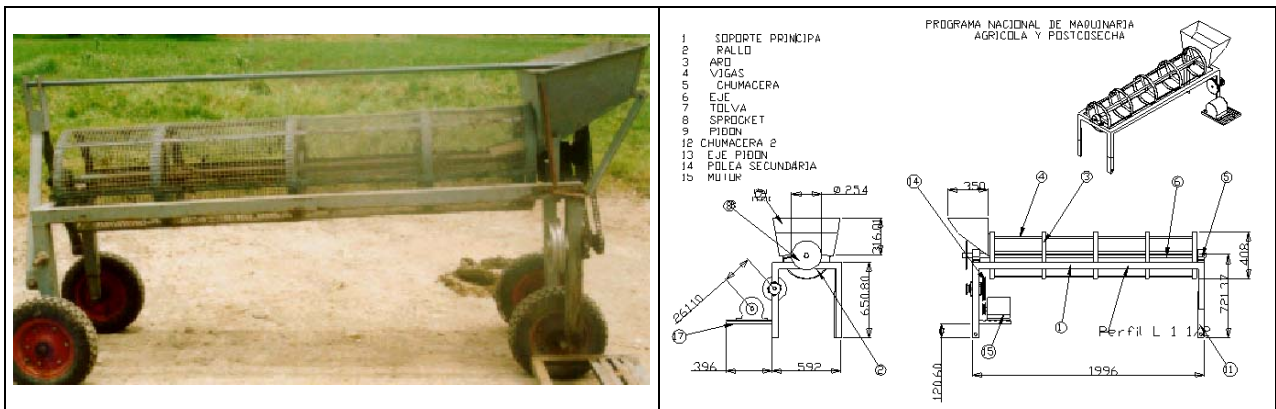


Figura 11. Prototipo del primer lavador de rizomas tipo Corpoica.

El lavador permite retirar elementos indeseables de cualquier material. En el caso de rizomas y tubérculos, dichos elementos corresponden a tierra, arena y piedrecillas. Adicionalmente, en el caso de achira, se favorece la eliminación de raicillas, previa al lavado en sí.

El lavador continuo se vale de dos métodos para lavar: Adición de agua para el reblandecimiento y retiro de la tierra, y por otro lado la sacudida de la tierra del rizoma. En principio, se pretende que el material, por acción abrasiva y de golpe, vaya retirando el material no deseado; con adición de agua se mejora la eliminación de todos estos elementos. Adicionalmente, se produce el corte de las raicillas por el efecto abrasivo de la malla.

Este sistema tiene entre sus principales ventajas:

- Semiautomatización del proceso lo que permite incrementar los tiempos y cantidad de material a procesar.
- Homogeneidad del producto dependiendo del ajuste de las variables involucradas, la homogeneidad del lavado del producto puede garantizarse.

Los siguientes fueron los cambios realizados al lavador para la propuesta definitiva:

- Liberación de la salida del material, se eliminó la chumacera de la descarga y se colocó en su reemplazo un sistema externo de rodadura, el cual sólo soportará cargas radiales.
- Cambio del sistema de transmisión de sprocket a polea, tanto en la primera transmisión como en la segunda. Esto reduce los esfuerzos de vencer la inercia en el arranque, además de ser un sistema muy económico.
- La tolva se amplía porque en la alimentación de rizoma se ha apreciado atoramiento.
- Recorte del eje, esto se hizo ya que no era necesario luego de la eliminación de la chumacera de salida. Esto reduce el peso de la máquina y así mismo, los esfuerzos de mover el tambor.
- La estructura se simplificó de un perfil cuadrado a un perfil en L, reduciéndose el peso de la máquina y la inversión en materia prima.
- Se dotó al lavador de aspersores los cuales han mostrado un óptimo desempeño y un ahorro sustancial del agua empleada.

Dentro de las variables involucradas teníamos el coeficiente de fricción entre rizoma y malla, con la velocidad de giro, la adherencia que sufrirá el material contra las paredes del cilindro, y el golpe que se le debe pinar al material para retirar la tierra. El agua permite el retiro de las impurezas.

La velocidad de rotación tiene varias funciones, junto con la inclinación y las propiedades de fricción entre rizoma y malla, permiten que el material sea levantado y luego dejado caer para la eliminación de tierra.

Con respecto a la inclinación del cilindro de malla, de este ángulo depende, en gran parte, que el rizoma avance con mayor o menor velocidad a través del lavador. Esta variable afecta el tiempo que cada rizoma permanece, y en esa medida, afecta directamente el retiro de tierra y piedras.

Se determinó que la cantidad de material en proceso depende de las dimensiones del cilindro y de los requerimientos de limpieza, pues, sobrecargar el lavador puede causar que no se logre un golpe adecuado y que el agua no realice bien su función, viéndose afectada la limpieza del material.

Se tuvo en cuenta que la velocidad debe procurar un adecuado golpe de los rizomas. Para tal efecto se cargó el cilindro en posición horizontal, con determinadas cantidades de material y se varió la velocidad hasta determinar una sacudida adecuada. Esta velocidad hallada es la óptima a utilizar para cada carga del cilindro. Se partió de un cilindro en malla de dimensiones 1,7 x 0.39 diámetro, con un volumen de 0,203 m³.

Luego se varió el ángulo cada dos grados hasta 10°, permitiendo la salida del material y revisando en cada caso el estado del material obtenido. Se repitió la operación para cada porcentaje de la capacidad volumétrica. El grado de golpe o de sacudida que se necesita se determinó visualmente, requiriendo para esto un criterio entrenado al respecto. La prueba se detenía en el momento en que se obtuvo una limpieza óptima.

En general, entre 24 y 48 RPM del cilindro, se observaron los mejores resultados: una adecuada sacudida, el desprendimiento de las raicillas y la limpieza del material. De los porcentajes de carga ensayados, la de 42.5 kg, arrojó las mejores condiciones combinadas de rendimiento y limpieza. Esta carga equivale al 40.6% de la capacidad del cilindro.

6.7.1.5. Segundo equipo de lavado de rizomas tipo Corpoica

El conjunto de la máquina es un tambor cilíndrico de 2 metros de largo por 75 cm de diámetro, hecho en estructura de acero, recubierto en malla galvanizada ondulada con huecos cuadrados de media pulgada de abertura. El tambor va cubierto con una camisa de lámina galvanizada, para evitar salpicaduras y recoger el agua residual del lavado de los rizomas. Esta máquina es accionada por un motor de 2Hp. La transmisión del movimiento se puede realizar mediante el sistema de polea-piñón o con reductor para que el tambor gire de 45 a 50 rpm. La lavadora está provista de un tubo galvanizado que ingresa dentro del tambor y tiene seis boquillas por donde se suministra el agua a presión para mejorar el lavado de los rizomas.

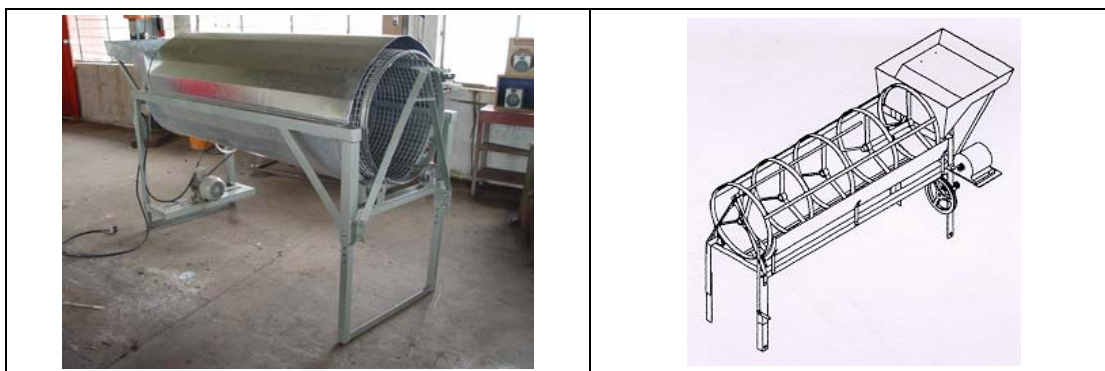


Figura 12. Prototipo del segundo lavador de rizomas tipo Corpoica.

Con esta máquina se ha logrado una capacidad de lavado de 700 kilogramos de rizoma por hora, con un consumo de 1 a 1.2 litros de agua por kilogramo de rizoma lavado.

6.7.2. Rallador de rizomas y tubérculos

En la operación de rallado lo que se busca es romper las estructuras celulares (amiloplastos) para que sea liberado el almidón.

Las premisas en este caso fueron:

- Aumentar la eficiencia de la extracción del almidón, por medio de un mejor corte.
- Disminuir el consumo de energía y el tiempo de rallado.
- Buscar un equipo que sea seguro, de fácil manejo para los operarios y consecución de repuestos.

6.7.2.1. Prototipo rallador con pechero dispuesto verticalmente

Este prototipo partió de los modelos de equipos que tenían los productores, donde se incorporó como elemento de rallado la lámina picada en estallado de cuatro puntas y la disposición de las púas en forma de espina de pescado. Se adicionó una mesa para depositar el material (Figura 13). Los equipos tradicionales no tienen una tolva amplia de alimentación y es necesario tacar o empujar manualmente el material para mejorar la eficiencia, por otro lado, el material rallado generalmente se queda atascado en el interior de la máquina y la limpieza es muy difícil. La velocidad del rallo sin material es de 1000 r.p.m y durante la ejecución del rallado es de 600 a 800, con un rendimiento de 360 kilogramos por hora, sin tacar.

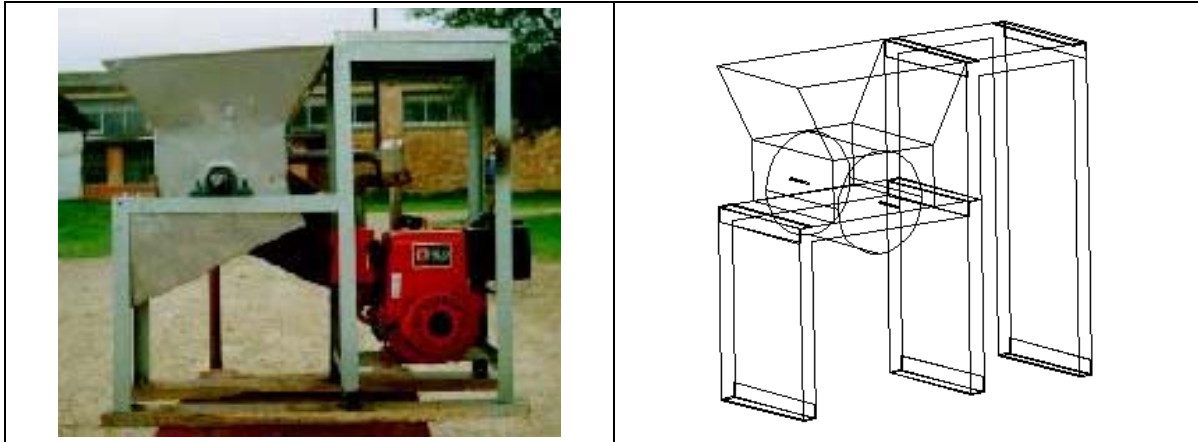


Figura 13. Prototipo rallador con pechero dispuesto verticalmente.

6.7.2.2. Prototipo rallador con pechero inclinado.

A partir de los inconvenientes que presentó el anterior equipo, se desarrollaron nuevos modelos mejorando la capacidad de la tolva, el rallado y la disposición del mismo.

Se trabajaron ángulos de inclinación del pechero de 30, 45 y 60° con respecto a la horizontal, observándose que no hay cambios significativos en el tiempo de rallado sin tacar. Sin embargo, la inclinación regulable del pechero permite un proceso continuo, aumentar el tamaño de la tolva de cargue y facilita el fluido del material en el proceso. (Figura 14).



Figura 14. Prototipo rallador con pechero inclinado.

6.7.2.3. Prototipo rallador con pechero inclinado 30°

Del equipo anterior se le trabajaron diversas cargas y velocidades de trabajo, así como disposiciones del pechero, llegando a un equipo donde se logró un buen ataque del material contra el rallo sin necesidad de tacar, facilitar la limpieza mediante láminas en formas curvadas y conseguir un alto rendimiento del rallado. Sin embargo una deficiencia que presentó este equipo fue el peso de la máquina que no permitía desplazarlo ágilmente. Las pruebas se realizaron a 2400 r.p.m en el rallo, la capacidad de rallado fue de 720 kg de rizoma/hora sin tacar, lo que demostró que se podía aumentar la capacidad de rallado mediante una mayor revolución sin necesidad de empujar manualmente el material, lo cual representa tradicionalmente un problema de seguridad industrial en las plantas ralladoras.

6.7.2.4. Equipo de rallado de rizomas y tubérculos tipo Corpoica

Al tener una características ya definidas, lo que se buscó fue mejorar la parte estructural del equipo para hacerlo más compacto y que ofreciera mejores formas para el transporte.

Este equipo es semicontinuo, recubierto en acero inoxidable donde el pechero es de madera, con cuña curva para aumentar el área de contacto entre el pechero y el rizoma para mejorar el rallado (Figura 15).

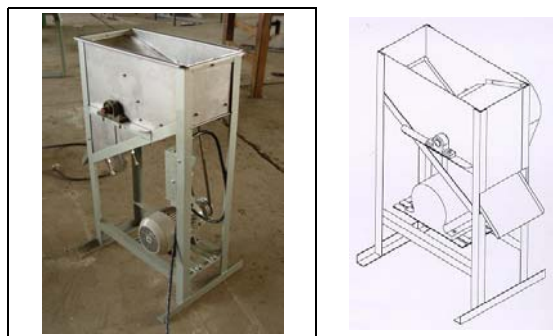


Figura 15. Rallador de rizomas y tubérculos tipo Corpoica.

El mecanismo que actúa como rallador es una estructura metálica que consta de un cilindro metálico de 25 cm de largo por 25 cm de diámetro, recubierto en caucho, en el cual se fija una lámina de acero inoxidable troquelada en forma de espina de pescado, con estallado de las púas en cuatro puntas, lo cual mejora el rasgado de los tejidos celulares para la liberación del almidón (Figura 16). Además tiene una tabla curva, que actúa como pechero y permite una mayor área de contacto y permanencia del rizoma expuesto a la acción de las púas del rallo. Cuenta con una tolva de recibo de rizomas y un canal de descargue de la masa rallada, construidos en acero inoxidable.

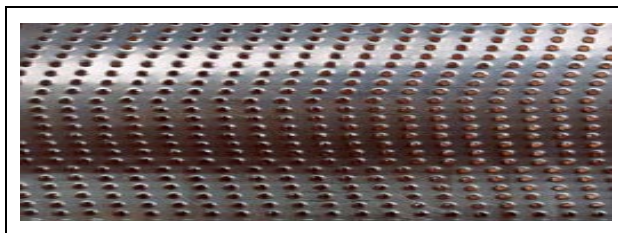


Figura 16. Troquelado del tambor del rallo en acero inoxidable

El rallo puede ser accionado mediante un motor eléctrico de 3 HP o a gasolina de 4 a 5 HP, con una velocidad de 3600 rpm. El sistema de transmisión del movimiento es mediante poleas y correas, reduciendo la velocidad de rotación del cilindro a 2400 rpm, La capacidad de la máquina varía entre 700 y 1000 kilogramos de rizomas rallados por hora.

6.7.3. Tamizadora de almidón

En la operación de tamizado se busca separar el almidón de la fibra. El objetivo es mecanizar el proceso, disminuyendo el consumo de agua y el tiempo de realizar esta operación. El primer trabajo se realizó con paletas intercaladas ubicadas debajo del tamiz para producir una agitación constante y conducir la lechada a un tanque de sedimentación.

Las premisas en esta operación fueron:

- Posibilitar un proceso más continuo.
- Aumentar la productividad del trabajo manual.
- Ahorrar agua en el proceso.
- Mejorar la calidad del almidón.

6.7.3.1. Prototipo Tamiz hexagonal tipo CORPOICA

Este equipo ha tenido un desarrollo más largo por parte del Programa Nacional de Procesos Agroindustriales, ya que su diseño original parte de un proyecto anterior financiado por PRONATTA¹. A partir de este diseño, en el presente Proyecto se evaluó con cada una de las especies y se trabajó en su mejoramiento, en particular para aumentar su capacidad, disminuir el consumo de agua y mejorar su eficiencia.

El equipo mejorado consiste en un cilindro de cerca de 1 m de diámetro por 1,2 m de longitud, formado por una lámina de aluminio perforada con orificios de cerca de 1 cm de diámetro. Dentro de esa lámina se coloca la tela que realiza el colado del almidón. (Figura 17).

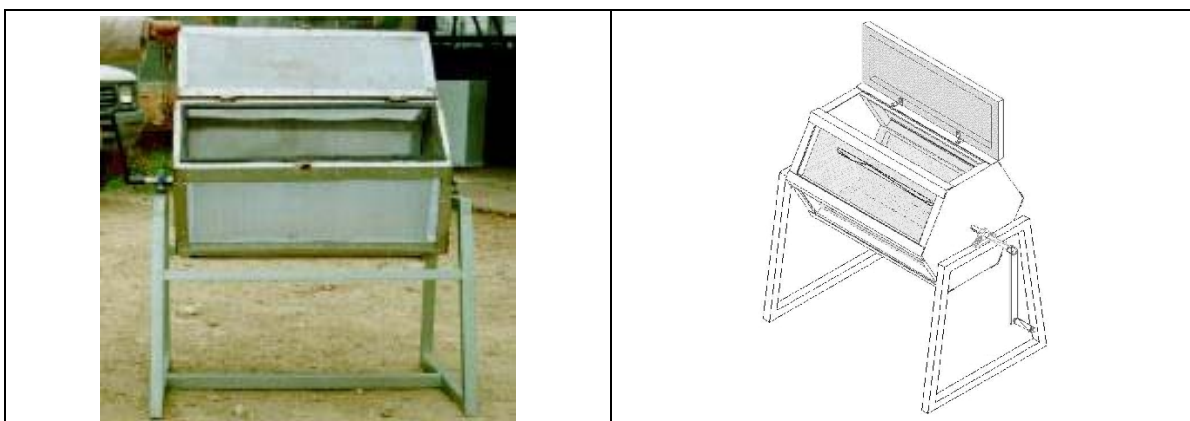


Figura 17. Tamiz hexagonal tipo CORPOICA.

¹ Proyecto “Desarrollo tecnológico para el beneficio de la achira en las zonas de economía campesina del Huila”, adelantado por CORPOICA con la cofinanciación de PRONATTA entre 1996 y 1997.

La masa rallada se carga mediante cucharas de posición escualizable para cargar y plegables en operación. El tamiz gira a unas 20 r/min y la masa rallada se desplaza adherida sobre las paredes del tamiz y cuando pierde su centro de gravedad cae sobre unas paletas internas que rompen el rollo de masa y al golpearla desprenden el almidón del afrecho. En estos tamices se requieren cerca de 6 h-h/t de rizomas.

6.7.3.2. Prototipo Zaranda vibratoria

Una de las posibles soluciones era utilizar un equipo que facilitara la separación del almidón de la fibra, partiendo de un equipo con zaranda horizontal (Figura 18). Este equipo presentó un mal desempeño en la separación de sólidos en húmedo, ya que el material no se desplaza de modo uniforme debido a la fricción originada entre la masa rallada y el tamiz.



Figura 18. Prototipo de tamiz horizontal.

6.7.3.3. Prototipo Tamiz cónico

Otra alternativa planteada era la utilización de estructuras cónicas, que cumplieran la función de separación del material y de desplazamiento del mismo hasta depositar el afrecho en la salida de la máquina, sin embargo el prototipo permitió identificar que no hay buena movilidad del material, además se presenta desbalanceo en la máquina y es difícil la inyección centrada del agua (Figura 19).

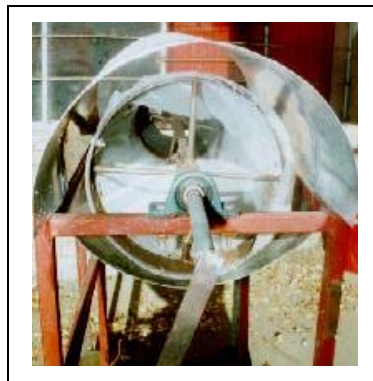


Figura 19. Prototipo de tamiz cónico.

6.7.3.4. Prototipo Tamiz horizontal centrífugo

Teniendo en cuenta que el proceso de tamizado para materiales como la arracacha y el ñame presentaba dificultades, se planteó la alternativa de un tamizador horizontal centrífugo que permitiera por un lado una rápida extracción del almidón y por otro que aprovechara al máximo la cantidad de agua que le era suministrada (Figura 20). En este sentido este equipo ofreció una buena alternativa al respecto, sin embargo el problema era las bajas cantidades de material que se pueden procesar y el sistema de baches que dificultan la operación del mismo.



Figura 20. Prototipo de tamiz horizontal centrífugo.

6.7.3.5. Equipo de tamizado de flujo continuo tipo Corpoica.

Consiste en una estructura metálica, la cual consta de un cilindro en acero inoxidable de 60 cm de diámetro y una longitud de 2 metros, recubierto en tela de super-nylón de 80 huecos por pulgada, externamente soportada en una malla de acero inoxidable de 8 huecos por pulgada. La tela y la malla se fijan al cilindro con 6 aros en acero inoxidable. El cilindro es cubierto con una camisa de acero inoxidable, que evita salpicaduras y recibe la lechada resultante del tamizado. Para cargar la masa rallada cuenta con una tolva en forma de medio cono y construida en acero inoxidable (Figura 21).

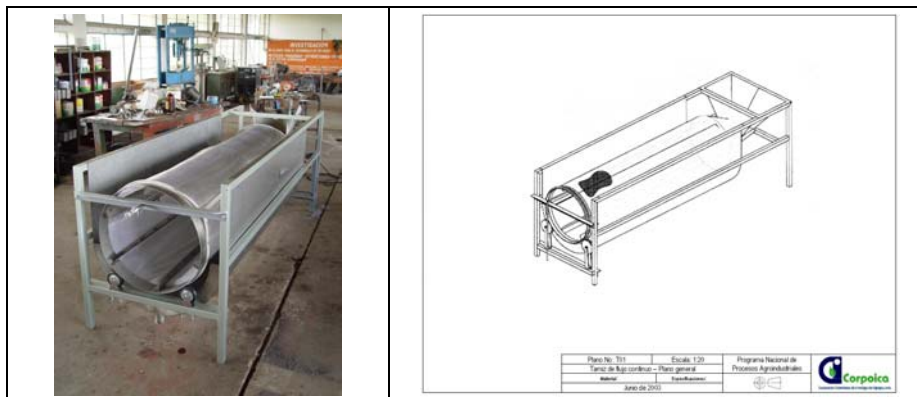


Figura 21. Tamiz de flujo continuo tipo CORPOICA.

El agua es suministrada mediante un tubo de acero inoxidable fijo en la parte superior interna del cilindro, provisto de seis boquillas que arrojan el agua a presión sobre la masa, para facilitar la separación del almidón.

La tamizadora es accionada por un motor de 2 HP. Con sistema de transmisión de p Polea piñón o de reductor para dar una velocidad de rotación de 45 a 50 rpm. La máquina tiene una capacidad de tamizado de 400 kilogramos de rizoma rallado por hora y consume cerca de 3 litros de agua por kilogramo de rizoma.

6.7.4. Lavadora de almidón

En la operación de lavado del almidón se busca básicamente retirar las impurezas que se mantienen adheridas al mismo.

Los retos en esta operación fueron:

- Disminuir el consumo de agua.
- Reducir el tiempo empleado en esta operación.
- Mejorar la calidad del almidón.

Esta operación debe realizarse en el menor tiempo posible, evitando problemas de fermentación y de reacción de sustancias que puedan afectar la calidad del almidón. Dentro de la primera propuesta estuvo la de dejar sedimentar el almidón para retirar el agua, y luego volver a agitar para mezclar con agua limpia, sin embargo se presentaron inconvenientes con mecanismos ya que al endurecerse la masa, se elevaban los requerimientos de potencia.

6.7.4.1. Prototipo agitador horizontal

En el desarrollo de este prototipo se trabajó en una cámara cerrada de agitación, donde el punto de partida estaba en generar turbulencia en el fluido para evitar que éste se sedimentara. La turbulencia fue buena y permitía un proceso continuo de trabajo. Al estar en continua agitación se redujo el número de lavados. Sin embargo llevar este equipo al punto de prototipo presentó problemas en los procesos de manufactura, que en el momento dificultaban su construcción.

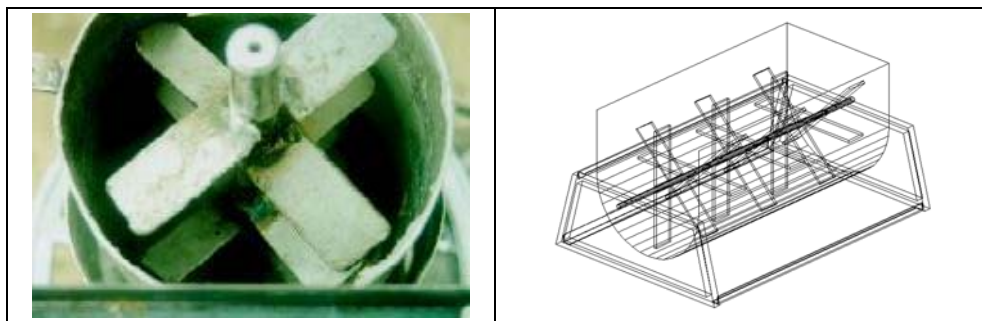


Figura 22. Prototipo para el lavado del almidón.

6.7.4.2. Mejoramiento de artesas de lavado y sedimentación

Las artesas que utilizan tradicionalmente los productores de almidón de achira son de madera, las cuales presentan problemas de proliferación de microorganismos. Buscando ofrecer alternativas al agricultor para que mejore sus procesos de elaboración y la calidad del almidón, se probaron materiales alternativos para la construcción de las artesas.

Una primera alternativa fue construir una artesa de madeplast, el cual es un plástico reciclado que es utilizado para las construcción de comederos de animales. El problema de esta artesa fueron los pegues de cada lámina, donde el pegante desprendía olores que se adherían al almidón, de otro lado, el material de la artesa podía desprender residuos que se mezclaban con el almidón al removerlo con palas u otras herramientas.

Como segunda alternativa se diseñaron artesas en acero inoxidable, las cuales tienen la ventaja de ser construidas en un material permitido para el uso en alimentos, su fácil limpieza y que no favorecen el desarrollo de microorganismos. Las artesas fueron provistas de cuatro rodachines en su base exterior para facilitar su movilización dentro de la planta de procesamiento. (Figura 23).



Figura 23. Artesas para lavado del almidón, en madeplast (izquierda) y en acero inoxidable (derecha).

6.7.5. Secadores de almidón

Después del lavado se realiza la operación de secado, para eliminar parte de la humedad del almidón. El secado del almidón generalmente se realiza a libre exposición, con los rayos del sol, extendiéndolo en patios, paseras de café o sobre plásticos.

Sin embargo, el secado en patios o sitios sin aislar no es recomendable pues el almidón se contamina por el pisoteo de los animales, las partículas de polvo del ambiente y la suciedad de los mismos patios, deteriorando la calidad del almidón. El secado dura de 3 a 4 días y mientras más alta la temperatura y más seco el aire, menor será el tiempo requerido para el secado. El almidón normalmente se comercializa con una humedad del 15% al 17%, sin embargo por deficiencias en los sistemas de secado, se está comercializando con contenidos de humedad comprendidos entre 20% y 25%.

El objetivo en esta operación fue desarrollar sistemas eficientes y de bajo costo que redujeran el tiempo de secado y que contribuyan a mantener la calidad del almidón, sin presencia de impurezas o de otros agentes contaminantes. Con estas premisas se buscó aprovechar la energía solar para calentar el aire por medio de un colector solar y, teniendo en cuenta que en ciertas zonas no se cuenta con electricidad o el acceso a un motor de combustión que permita accionar los ventiladores que hagan circular el aire, se recurrió al secado por convección natural.

6.7.5.1. Secaderos tipo invernadero con ventilación natural

Optar por un secadero tipo invernadero como alternativa para el secado del almidón a nivel de pequeñas plantas presenta varias ventajas no sólo en economía, sino también en versatilidad, adecuación, fácil mantenimiento y reparación, aún en las zonas de escasos recursos tecnológicos. La selección se centró en el examen de las ventajas que uno y otro tipo de invernadero ofrecía.

Para tal efecto se diseñó un invernadero tipo túnel en plástico con estructura en tubo y madera, para una capacidad de 600 kg se dispusieron dos módulos de 5m x 6m de área básica y una altura de 2.5m. (Figura 24).

La estructura de secado consta básicamente de una cámara sobre la cual se dispone una serie de bandejas en tres hileras de arriba hacia abajo; el fondo de las bandejas se cubre con plástico negro, sin orificios, sobre el cual se coloca una capa de 1 a 2 cm de almidón para secar. La estructura del invernadero es construida en listón de 50 x 50mm y en tubería de PVC de una pulgada, la cual es más económica que otros materiales y fácil de trabajar para dar la forma semicilíndrica del túnel. La cubierta en forma de túnel permite una evacuación mas rápida y evita el represamiento de las aguas lluvias sobre el plástico.

El secador también se puede construir en forma de caseta, con una armazón de madera y cubierta de plástico transparente (Figura 24).; los bordes del piso pueden ser de madera y deben estar protegidos con plástico hasta una altura de 20 cm para evitar la entrada de agua de lluvia.



Figura 24. Estructuras de secado tipo invernadero.

Para favorecer la aireación del material, en la cara frontal del invernadero se construye un par de puertas en plástico y en la cara posterior el plástico se maneja en forma de cortina, de tal manera que se pueda plegar para abrir las puertas y cortina durante el día y cerrarlas durante la noche y en los días lluviosos. También, para ayudar al secamiento, se cubre el piso con material de grava, el cual cumple la función de acumular calor durante el día y liberarlo posteriormente al ambiente del invernadero en las horas de la noche.

El invernadero debe ubicarse en un área libre de sombra por árboles o edificaciones y en una dirección que permita la constante irradiación de la luz solar. En este tipo de secadores se logra reducir el tiempo de secado a uno o dos días y se reduce la contaminación del almidón por polvo y otras impurezas. La capacidad de secado en este sistema es de 5 a 10 kilogramos de almidón por metro cuadrado.

6.8. DESARROLLO DE EQUIPOS PARA LA FABRICACIÓN DE HARINAS

La harina es un producto obtenido de la molienda de diferentes productos agrícolas, llevados a contenidos óptimos de humedad para su almacenamiento y conservación. Las operaciones del proceso de fabricación de harina se presentan en la Figura 25.

6.8.1. Lavador de rizomas y tubérculos

La operación de lavado y pelado de los rizomas o tubérculos para la obtención de la harina es igual a la descrita para el caso de la extracción del almidón, en el numeral 6.7.1. y los equipos diseñados para esta operación tienen aplicabilidad en ambos procesos.

6.8.2. Picadora de trozos

En esta operación se busca básicamente fraccionar el material en trozos de un tamaño adecuado para facilitar su posterior secado. En primera instancia se realizaron pruebas con un molino de martillos para picar el material, retirando los martillos y remplazándolos por cuchillas; sin embargo se presentaron problemas debido a la porosidad de la fundición de la carcasa, lo que producía adherencia del material en sus paredes, la abertura de ingreso y descarga del producto no contaban con la amplitud requerida para facilitar el proceso.

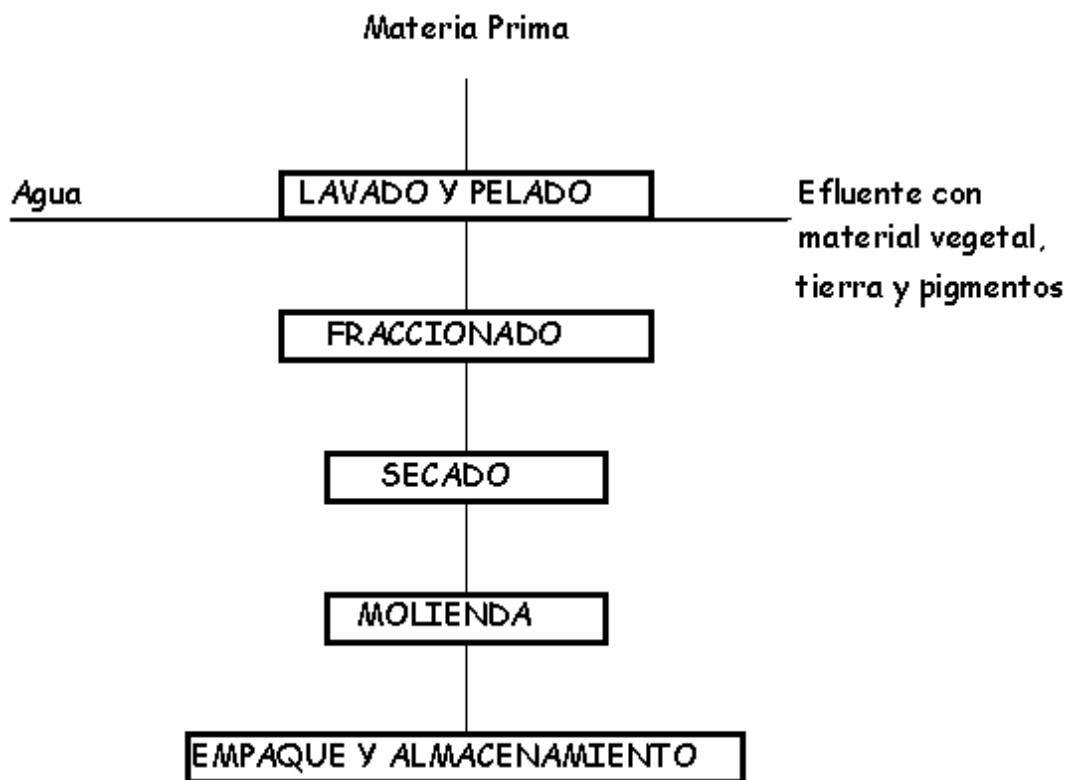


Figura 25. Diagrama de flujo de la fabricación de harina.

6.8.2.1. Primer prototipo de picadora

Se procedió a construir un tambor con diámetro de 60 cm y 10 cm de ancho y una serie de ocho cuchillas ubicadas en su periferia, siendo ambas fijas en la maquina. En el eje se ubicaron de forma radial otro grupo de cuchillas, las cuales giran muy cerca de las fijas. La tolva de recepción del material se construyó con longitud de 40 cm y un ángulo de inclinación de 15°. El material de construcción del tambor y las cuchillas fue lámina cold roller de ¼ de pulgada, la tolva se construyó en lámina de calibre 18 (Figura 26).

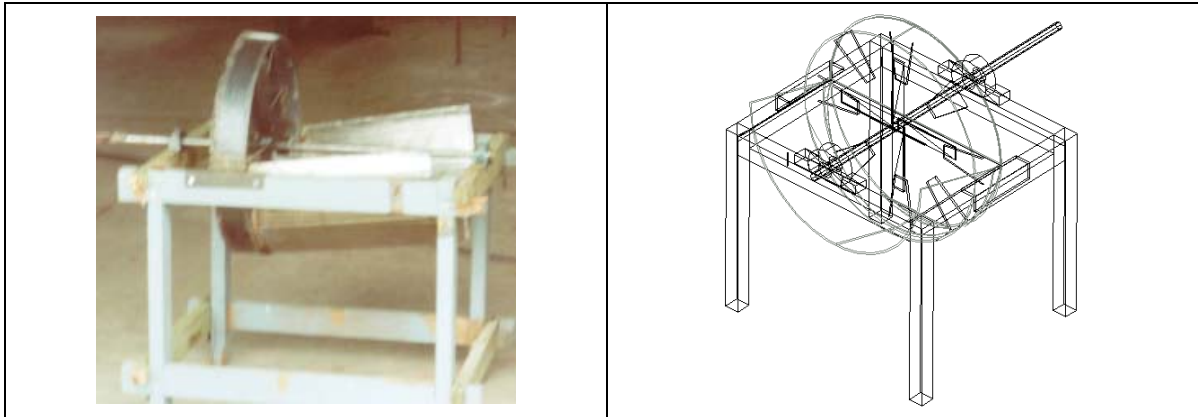


Figura 26. Primer prototipo de picadora de trozos.

La máquina se ensayó utilizando rizomas de arracacha como material de prueba; al realizar ensayos accionando la máquina con manivela no se produjo el suficiente torque para procesar una buena cantidad de material, además los trozos picados resultaron ser muy grandes; al realizar las pruebas con el motor los trozos seguían siendo muy grandes y por otro lado las cuchillas en lugar de cortar levantaban el material expulsándolo de la máquina. El ángulo de las cuchillas giratorias por ser muy amplio resultó contraproducente, ya que no empujaba el material y lo rechazaba, además no permitía que el filo de la cuchilla golpeará el material de forma perpendicular para lograr un corte adecuado.

El mayor inconveniente que se presentó con este prototipo fue que los trozos del material picado eran muy grandes, y no se lograba el suficiente torque para obtener una capacidad de proceso adecuada. Al disminuir el ángulo de las cuchillas, se siguieron presentando los problemas de rebote del material y se decidió optar por otras alternativas de diseño.

6.8.2.2. Picadora de trozos a partir de los diseños del CIAT

Posteriormente se procedió a trabajar con las picadoras tipo Tailandesa y tipo Colombia desarrolladas y mejoradas por el CIAT para la fabricación de harina de yuca. Estos equipos constan básicamente de una estructura de soporte, una tolva de alimentación, un disco giratorio que realiza el corte, el cual dependiendo de su forma le da el nombre de picadora tipo tailandesa o tipo Colombia, y un motor que suministra la fuerza de trabajo por medio de un sistema de poleas y correas (Figura 27). Esta máquina trabaja entre 500 y 600 r.p.m. para procesar de 5 a 8 toneladas por hora.

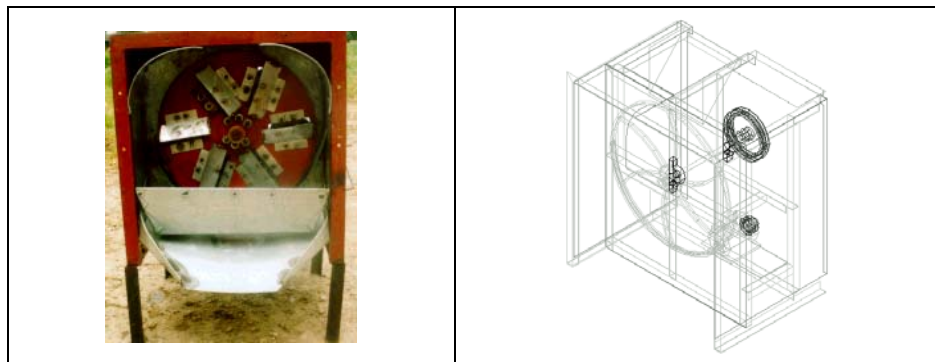


Figura 27. Picadora a partir del diseño del CIAT.

6.8.2.3. Picadora adaptada por Corpoica

Después de observar las bondades de funcionamiento del equipo de picado tipo Colombia, diseñado por el CIAT, se procedió a ajustar el diseño a una menor capacidad de proceso, utilizando acero inoxidable para su construcción, de tal forma que ofreciera propiedades de inocuidad para la fabricación de harinas de arracacha y de ñame con destino al consumo humano (Figura 28).



Figura 28. Picadora adaptada por Corpoica.

El equipo mostró buenas condiciones de funcionamiento, ofreciendo una capacidad de proceso de 500 kilogramos por hora, trabajando con un motor eléctrico de dos caballos de potencia, a una velocidad de 600 r.p.m.

6.8.3. Secadores de trozos

La operación de secado de los trozos para la fabricación de harina es similar a la descrita para el secado de almidón en el numeral 6.8.5., sin embargo se debe tener en cuenta que la eliminación de agua de los trozos es más difícil que la del almidón, debido al mayor tamaño de los trozos. Esta condición hace que sea recomendable proponer algunas variaciones a los secaderos tipo invernadero recomendados para el caso de almidón.

En el caso de secado de trozos es recomendable utilizar como fondo de las bandejas de secado mallas plásticas o de acero inoxidable, las cuales facilitan el flujo vertical del aire entre los trozos del material. Además, para incrementar la circulación de aire dentro del invernadero y acelerar la operación de secado, se pueden colocar uno o dos ventiladores en la cara posterior del invernadero, para introducir aire seco y caliente del ambiente y expulsar el aire húmedo del interior del invernadero.

Bajo estas condiciones se logra disminuir la humedad de los trozos hasta un 12 a 15% en dos o tres días, dependiendo de las condiciones climáticas.

6.8.3.1. Secado artificial

Otra alternativa, aunque de mayor costo y no justificable en condiciones de pequeña escala (capacidad menor de una tonelada de material por día) es la utilización de sistemas de secado artificial.

Los sistemas de secado artificial consisten en quemadores de gas u otro combustible y ventiladores que hacen pasar el aire caliente por unas cámaras donde se encuentra el producto a secar. Cuando se usan equipos artificiales el secado debe realizarse a temperaturas inferiores a 65 °C para evitar la gelatinización del almidón o las harinas.

6.8.4. Equipos para molienda

La operación de molienda tiene por objetivo fraccionar a un tamaño más pequeño los trozos de raíces y tubérculos secos, hasta obtener harina.

En el mercado se encuentran diversos tipos de molinos de martillos y de bolas que pueden ser utilizados en esta operación; sin embargo, para disponer de un equipo adecuado para el procesamiento en pequeña escala y la obtención de harinas aptas para consumo humano, se trabajó en el diseño y construcción de un pequeño molino de martillos, elaborado en acero inoxidable.

En primer lugar se trabajó la molienda de los trozos secos de arracacha y de ñame con un molino de martillos tipo Ocmus, con una criba de 1 mm de abertura (Figura 29). Este molino no tiene los martillos convencionales rectangulares, sino que los martillos son circulares en forma de sierra, donde son 8 las puntas de ataque de cada martillo, aumentando la eficiencia del molido.



Figura 29. Molino de martillos tipo Ocmus.

Para aumentar la eficiencia del proceso de molienda se puede trabajar el material en cribas de diferente tamaño, por un lado empezar con una criba de 5 mm de abertura y posteriormente trabajar con una de 0.8 mm, para no forzar la máquina. Este proceso va acompañado de una tamizadora que permite seleccionar el tamaño de las partículas de harina deseada, pasando el ripio de nuevo por el molino de martillos.

A partir del buen desempeño de este equipo, se diseñó y construyó un equipo de molienda, hecho totalmente en acero inoxidable, de 34 centímetros de ancho, 42 centímetros de alto y 15 cm de espesor, el cual tiene capacidad de moler 150 kilogramos de material por hora en una criba de 3 milímetros de abertura, siendo accionado por un motor de 3 caballos de potencia a 3600 revoluciones por minuto. (Figura 30).

Este molino de martillos consiste en una estructura que gira con un movimiento de rotación y que aloja en su interior los martillos triangulares y el material a molturar. El movimiento de rotación hace que los martillos golpeen contra la criba el material y provoquen una molturación buena del producto.



Figura 30. Molino de martillos.

6.9. ESTABLECIMIENTO DE PLANTAS PILOTO

Después del diseño, construcción y evaluación de equipos para el proceso de obtención de almidón y fabricación de harinas, se realizó el establecimiento de los mecanismos a nivel de plantas piloto. El montaje de las plantas piloto busca implementar el modelo agroindustrial, donde los agricultores modifican o validan la tecnología desarrollada; esta etapa es crucial ya que involucra la parte de operatividad tanto de los equipos como del proceso a nivel semi-comercial..

6.9.1. Planta Piloto de Producción de Almidón de Achira

Para determinar el sitio de establecimiento de la planta piloto para la obtención de almidón de achira se exploraron comunidades de Huila y Cundinamarca, con las cuales se habían realizado las evaluaciones y diagnósticos descritos anteriormente. Se seleccionó al municipio de San Agustín, Huila, por su larga tradición en el cultivo de la achira y en la extracción de su almidón, además se consideró la existencia de un grupo organizado de agricultores denominado “Asociación de productores e industrializadores de achira y guayaba de San Agustín Huila, ASOPREACHIGUS” y el compromiso de la Alcaldía Municipal para el apoyo financiero en el establecimiento de la Planta.

Con estos productores se realizaron actividades de diagnóstico y evaluación de los procesos de extracción del almidón de achira en diferentes lugares del municipio, donde se pudo establecer la existencia de diferentes procedimientos, desde el rallado a mano hasta la utilización de equipos de extracción de almidón de yuca.

Antes del montaje de la planta piloto y a solicitud de los mismos productores, se les capacitó en procesos de panificación del almidón, para la fabricación del bizcocho de achira y otros como galletas, pan y bebidas. También se brindaron charlas técnicas para el mejoramiento de la extracción y la calidad del almidón, la organización de la comunidad para la producción y la comercialización, la estructuración de los costos del proceso y sobre alternativas de solución a problemas productivos y de proceso. (Figura 31).



Figura 31. Reunión y charlas técnicas con el grupo de ASOPREACHIGUS

La siguiente actividad fue buscar con los productores varios lugares factibles para el montaje de la planta piloto, dentro de las alternativas se consideraron las siguientes:

1. La finca de doña Lucila Muñoz, asociada a ASOPREACHIGUS, ubicada a 5 minutos de la cabecera municipal donde CORPOICA desarrolla pruebas de materiales genéticos de achira. Fue descartada por carecer de infraestructura física lo cual elevaba los costos del proyecto.
2. La granja integral del Colegio Nacional Laureano Gómez, ubicada dentro del casco urbano ofrecía las mejores condiciones debido al fácil acceso, la infraestructura física y las características del agua. En este sitio Corpoica, mediante varias visitas evaluó las instalaciones y determinó con algunos miembros de la Asociación, las necesidades de adecuación para el establecimiento de la planta piloto, además se analizaron las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de la fuente de agua que abastece al colegio. Debido a problemas administrativos del Colegio no se pudo concretar esta alternativa.
3. La finca del presidente de ASOPREACHIGUS, don Leonel Guerrero, ubicada en la vereda de Nueva Zelanda a 5 Km de la cabecera municipal y a 10 minutos de la vía principal por carretera destapada. La altitud del sitio es de 1800 m.s.n.m. y cuenta con un caudal de agua de 0.4 l/s. Dentro de las ventajas de este sitio se consideró la existencia de alguna infraestructura de proceso que podía ser utilizada en la planta piloto, además de la experiencia de don Leonel en los procesos de obtención de almidón, así como de su disposición para realizar modificaciones en su predio.

Posteriormente se realizó una reunión con los socios de “ASOPREACHIGUS” para analizar cada una de las alternativas sus ventajas y desventajas, tomándose la decisión de instalar la planta piloto en los terrenos de don Leonel Guerrero.

Después de determinar el sitio, la comunidad, con ayuda logística de la Alcaldía Municipal y la asesoría de técnicos de Corpoica, se comprometió a realizar las obras de adecuación del sitio tanto para el montaje de los equipos como para el montaje del secadero tipo invernadero.

La planta piloto tiene una capacidad de procesar 3 toneladas de rizoma por día, con un rendimiento aproximado de 15% de almidón y un contenido de humedad promedio de 17%. Con estos valores se determinó que la capacidad anual de producción de la planta debe ser de 135 toneladas de almidón, que representa procesar la producción de rizomas de 30 hectáreas aproximadamente, si se toma un rendimiento promedio de 30 toneladas de rizomas de achira por hectárea. En la Figura 32 se aprecia una vista general de los equipos de la Planta Piloto.



Figura 32. Vista general de la Planta Piloto de producción de almidón de achira en San Agustín (Huila) y de los equipos de proceso.

Las características generales de funcionamiento de la Planta son las siguientes:

6.9.1.1. Recepción de los rizomas:

En el cultivo los rizomas son adecuados por los agricultores, seleccionando la semilla y los rizomas a procesar y eliminándoles a éstos las raicillas y algunas escamas. Después el material se empaca en costales o en canastillas, para ser transportados a la Planta Piloto, en vehículos o en cabalgaduras, dependiendo de la distancia.

El sitio cuenta con una entrada principal donde son descargados los rizomas, para luego ingresarlos al proceso de obtención del almidón. Los productores están adecuando la infraestructura para contar con un sitio donde puedan pesar y almacenar los rizomas.

6.9.1.2. Área de la planta de obtención del almidón

Los equipos fueron instalados bajo cubierta plástica y con piso de placa en cemento, con adecuadas condiciones de seguridad para la protección de los equipos. Se instalaron tuberías para el vertimiento de las aguas residuales del proceso, dirigiéndolas hacia los cultivos vecinos, para ser aprovechadas en el riego de los mismos. El agua para la planta piloto proviene del acueducto veredal y es transportada por gravedad.

6.9.1.3. Lavado de rizomas

Para el lavado se dispone de tanques de inmersión recubiertos en baldosín, donde se depositan los rizomas, para aflojar la tierra adherida y así facilitar posteriormente la operación de lavado mecánico. Luego los rizomas se pasan al lavador mecánico horizontal giratorio, descrito anteriormente, para acabar de eliminar la tierra, las raicillas y demás impurezas.

6.9.1.4. Rallado de rizomas

Para esta operación se instaló un rallo mecánico accionado por un motor eléctrico de 3 HP a 1.800 rpm. Este rallo es soportado sobre una estructura metálica y consta de la tolva de cargue, del cilindro de soporte del rallo, el rallo, una estructura de recubrimiento y un sistema de transmisión. El material rallado cae a una artesa hecha en acero inoxidable, donde el material es acumulado mientras pasa al tamiz de flujo continuo.

6.9.1.5. Tamizado del almidón

El masato es transportado por medio de baldes a la tolva de recepción del tamizador de flujo continuo. Este tamizador utiliza un tambor giratorio recubierto con cedazo de superylon. Para la disposición del afrecho se adecuó un sitio dentro de la finca donde se inician procesos de compostaje para obtener un abono orgánico que pueda ser utilizado en las fincas de los productores.

6.9.1.6. Lavado y sedimentación del almidón

Para esta operación se entregaron artesas hechas en acero inoxidable, con capacidades de 400 litros, las cuales cuentan con ruedas para facilitar su desplazamiento en la planta piloto.

6.9.1.7. Secado del almidón

Consiste en un invernadero completamente aislado para evitar la contaminación del almidón con materias extrañas. El invernadero tiene un área de secado de 84 m², construido en madera con cubierta plástica. Dentro del invernadero se colocaron bandejas de madera, que permiten un mejor aprovechamiento del área de secado del almidón. Además se colocaron plásticos negros en el centro y los laterales como acumuladores de calor, y cortinas en la parte frontal y posterior que permiten manejar el flujo de aire y calor dentro del invernadero.

6.9.2. Planta Piloto de Producción de Harina de Arracacha

En la selección del sitio de montaje de la Planta Piloto de producción de harina de arracacha participaron muy activamente los miembros del equipo de investigadores de la regional 6 de Corpoica, con sede en el Centro de Investigaciones Nataima, el cual identificó la comunidad de productores en el municipio de Cajamarca (Tolima).

La Asociación de productores de arracacha de Cajamarca ARACATOL fue la que mostró el mayor interés y disposición para el montaje de la Planta Piloto.

Con esta comunidad se inició la búsqueda del sitio para la instalación de la Planta piloto; dentro de los posibles lugares se considerará en primera instancia al Colegio de Cajamarca, este lugar tenía la ventaja de servir como demostrativo para los estudiantes de bachillerato, pero presentaba dificultades logísticas para permitir el acceso a los productores, así que se decidió instalarla en un predio de alguno de los asociados, en el cual los productores pudieran acceder más fácilmente. Se evaluó la posibilidad de hacer el establecimiento de la planta en la Finca de Don Jorge Matallana, presidente de ARACATOL, ubicada a 20 metros de la vía Panamericana, cerca al peaje de Cajamarca,.

Este sitio fue visitado por los investigadores de CORPOICA para evaluar su viabilidad y se encontró que ofrecía buenas características de flujo de aire. Otro sitio considerado por la comunidad fue la finca de uno de los Asociados, la cual está ubicada a 3 kilómetros de la cabecera municipal en la vía que conduce al corregimiento de Anaima a 1850 m.sn.m., la cual cuenta con buenas condiciones de servicios de energía y de abastecimiento de agua, Además el lugar está próximo a la zona de mayor producción de arracacha de Cajamarca. La comunidad de productores decidió que el montaje se hiciera en este lugar, para una mayor facilidad de su manejo y aprovechamiento por los socios.

En el predio seleccionado por los productores, se instaló un invernadero para el secado de los trozos de arracacha, así como las obras necesarias para la adecuación, y operación de la planta. El montaje de la infraestructura de secado se hizo en colaboración con la comunidad de la Asociación, la cual aportó la mano de obra y la madera necesaria para la construcción del secadero.

El trabajo de construcción con la comunidad partió del trazado del sitio, el descapote y movimiento de tierras, la hechura de los hoyos para levantar los limatones, instalación y pisada de limatones, colocación de cerchas, anclaje de soportes, templado y fijación del plástico e instalación de puertas. La madera fue inmunizada con aceite quemado. De la construcción también hay que anotar que se construyeron cortinas para modificar las condiciones de temperatura dentro del invernadero, así como unos colectores solares dentro del mismo, hechos en plástico negro.

Los equipos entregados a esta comunidad son la lavadora de arracacha que tiene una capacidad de 200 Kg/hora, la picadora con 300 Kg/hora y un molino de martillos de 150 Kilogramos por hora con cribas de 0.8 y 2 mm en acero inoxidable. (Figura 33).



Figura 33. Entrega de la lavadora y picadora de rizomas de arracacha en la Planta Piloto de Cajamarca

El conjunto de los equipos instalados tiene una capacidad de procesar una tonelada de rizoma por día, se trabajó con este valor debido a que esta harina no tiene actualmente mercado nacional y lo que se pretende es empezar las labores de capacitación en los procesos de fabricación y mercadeo del producto, así como productos posibles para su utilización ya que varias empresas estarían dispuestas a probar este producto.

La Planta Piloto para la producción de harinas cuenta con las siguientes áreas:

6.9.2.1. Recepción de los rizomas

La obtención de harina de arracacha, parte de la utilización de las terceras, el musago y la cepa desperdiciada en el cultivo. Este material es apilado y recogido en lonas para ser transportado a la planta piloto.

6.9.2.2. Lavado de rizomas

El lavador se puso en funcionamiento utilizando agua de un nacimiento ubicado a 70 metros arriba de la casa. Los efluentes fueron conducidos al desagüe de la casa.

6.9.2.3. Picado de los rizomas

La versatilidad de las maquinas construidas para la fabricación de harina de arracacha, permite la fácil movilidad y anclaje de los mismos. Este equipo fue acondicionado con un motor conseguido por la Asociación en la Alcaldía Municipal, ofreciendo buena características de picado.

6.9.2.4. Secado de los trozos

En la construcción del invernadero se tuvo en cuenta que brindara una óptima transmisión de la luz y resistencia, utilizando para ello como cubierta plástico poliestruído, con filtro UV, calibre 6. Las dimensiones fueron de 12 m de largo, 7 de ancho y 3.5 de altura máxima, lo cual permite una adecuada ventilación y desplazar cómodamente el material a ser secado. En él se instalaron bandejas para soportar los trozos de arracacha para su secado.



Figura 34. Bandeja de secado de los trozos de arracacha dentro del invernadero.

Adicionalmente a la instalación de la planta piloto, se diseñó un empaque para las pruebas de comercialización de la harina de arracacha, utilizando como material el polipropileno biorientado, el cual por su transparencia, brillo y baja porosidad, permite presentar el producto en forma atractiva, protegiéndolo del intercambio de humedad con el ambiente. Se diseñó una etiqueta autoadhesiva con la información de las características y composición de la harina, sus usos y con la identificación de ARACATOL como empresa productora. (Figura 35).



Figura 35. Empaque y etiqueta de la harina de arracacha

Mediante la realización de dos talleres prácticos, se capacitó a los productores de la región, en su mayoría mujeres, en la elaboración de varios alimentos y bebidas utilizando la harina de arracacha como base. En ese sentido se desarrollaron formulaciones para la elaboración de una crema para consumo en caliente, de una bebida láctea como refrigerio, de dulces y de productos panificados como tortas, galletas y pan (Figura 36). Los productos fueron evaluados sensorialmente a nivel del laboratorio de farinología y mostraron buena aceptación entre los productores y público en general.



Figura 36. Productos panificados elaborados a partir de harina de arracacha

La acogida por parte de los asistentes a estos talleres de capacitación fue bastante alta y se conoció el interés de un grupo de señoras de establecer un proyecto para la elaboración de estos productos a escala comercial.

Por último, cabe anotar que a partir de la instalación de la Planta Piloto para la elaboración de harina de arracacha en Cajamarca, se podrá montar la línea de producción de almidón de arracacha, una vez se avance con la comunidad en la experiencia de comercialización de la harina.

6.9.3. Recomendaciones para la adecuación de una Planta de Producción de harina de Ñame.

Para el establecimiento del modelo demostrativo de la transformación del ñame se trabajó en primera instancia en la experimentación a nivel de laboratorio, para determinar la viabilidad técnica de la elaboración de harina y de almidón.

En el caso de la elaboración de harina se determinó que los mayores rendimientos industriales se pueden obtener al utilizar el ñame espino, *Dioscorea rotundata*, como materia prima, debido a que su contenido medio de materia seca es de 37.3%, significativamente superior al del ñame criollo, *Dioscorea alata*, cuyo promedio es de 28.1%. De acuerdo con las evaluaciones de campo, el ñame criollo también presenta las mejores condiciones de productividad agrícola con un rendimiento que alcanza 23.7 t de tubérculos por hectárea, de los cuales más del 95% es comercializable.

Al realizar las pruebas de taller procesando el ñame espino con los prototipos de máquinas diseñados mediante el Proyecto, los cuales fueron descritos anteriormente en la sección 6.9, se logró obtener una conversión del 26.3% en harina, con un contenido de humedad del 12%. Cabe destacar que en este proceso las mayores pérdidas en peso se presentan por la eliminación de la corteza en la operación de lavado de los tubérculos.

Para escoger la comunidad en los procesos de fabricación de harina de ñame se contó con la participación del equipo de investigación en la Regional 2 de Corpoica, con sede en el Centro de Turipaná en Cereté.

Se realizaron varias visitas a productores para determinar la factibilidad económica de establecer una Planta Piloto para la elaboración de la harina. En primer término se tomó contacto con productores del municipio de Sampués, los cuales tenían experiencia en el procesamiento de la harina de yuca, pero se llegaba a la conclusión que no era viable económicamente en ese momento por los precios elevados del tubérculo, pero que podía ser atractivo siempre y cuando se tuvieran nichos de mercado para los panificados o para otros productos característicos de la región.

Otros productores organizados considerados fueron los integrantes de la Cooperativa de productores de Algarrobo, COPROALGA en Chinú-Córdoba, conformada por 27 productores de yuca y ñame, quienes tienen 12 años de labor como Cooperativa y con experiencia en la producción de harina de yuca, mediante un proyecto desarrollado con apoyo del CIAT.

Se realizaron visitas a las instalaciones de COPROALGA y, con participación de algunos de sus asociados (Figura 37), se valoró el estado actual de la maquinaria y las actividades necesarias para la adecuación de la misma en los procesos de obtención de harina de ñame.

Ellos cuentan con equipos de procesamiento compuesto por dos lavadoras de raíces, una picadora de yuca tipo Colombia, dos molinos, patio de secado, además de una estructura interna para almacenamiento y comercialización de este producto. En la actualidad la infraestructura se utiliza para la producción de yuca seca, con destino a la alimentación animal, con una capacidad de secado de 20 t/semana en un patio de 1.500 metros cuadrados.



Figura 37. Asociados de la Cooperativa de COPROALGA en Chinú, Córdoba y equipo de picado para fabricación de yuca seca

Sin embargo se llegó a la conclusión que ante la situación de buenos precios del ñame en el mercado para consumo en fresco, no era rentable destinarlo a la producción de harina, pues si el kilogramo de ñame se podía vender a \$740 en el mercado, y considerando que se requieren cerca de 3.8 kg de tubérculos de ñame para producir un kilogramo de harina, el costo de solo la materia prima para producir ese kilogramo sería de \$2.814, valor que no resulta competitivo respecto a otro tipo de féculas, harinas y almidones (<\$2000/kg). De este análisis se concluyó que en el caso de ñame, el establecimiento de una Planta de producción de harina solo se justifica, cuando se disponga de materia prima a un precio menor de \$400/kg, o de residuos de tubérculos no comercializables para el mercado en fresco.

Dada la poca viabilidad económica del proceso de ñame en estos momentos, los prototipos de máquinas construidos para la producción de harinas y/o almidón de ñame se mantienen en el Taller de Maquinaria y Postcosecha en Tibaitatá, para la realización de demostraciones a productores y técnicos interesados en el procesamiento de otras especies de raíces y tubérculos como achira, arracacha, papa, yuca y bore (Figura 38).

En el proyecto se desarrollaron una serie de recomendaciones tecnológicas para el montaje de la Planta de procesamiento de ñame, las cuales podrán aplicarse una vez las condiciones de mercado del tubérculo permitan derivar utilidades de su procesamiento.



Figura 38. Conjunto de equipos demostrativos para el procesamiento de raíces y tubérculos, en el Centro de Investigación Tibaitatá.

6.9.3.1. Área de recepción de los tubérculos

La planta de fabricación de harina de ñame debe tener un sitio para recibir, pesar y almacenar los tubérculos mientras se inician las operaciones de procesamiento. Este sitio debe ser seco, protegido del sol y la lluvia mediante un cobertizo y bien ventilado.

Los tubérculos no se deben almacenar por mucho tiempo, (más de dos semanas) pues se puede deteriorar la materia prima, por el ataque de microorganismos y por los procesos de oxidación. Los tubérculos a procesar deben ser seleccionados y separados por los productores en el mismo lote de cosecha, seleccionando para el proceso aquellos tubérculos sanos y sin daños mecánicos. En condiciones de altos precios de ñame y para producción de harina o trozos secos para alimentación animal, se pueden utilizar los tubérculos considerados de tercera o no comercializables, por presentar daños mecánicos o tamaño muy pequeño. En cualquiera de los casos no se deben utilizar tubérculos atacados por microorganismos, como hongos o bacterias, pues estos deterioran la calidad de la harina y pueden originar contaminación posteriormente en la harina.

6.9.3.2. Adecuación, pelado y lavado de los tubérculos

En el caso del procesamiento para la elaboración de la harina de ñame no se considera necesario hacer un lavado por inmersión de los tubérculos en tanque, pues a estos se les debe eliminar la corteza leñosa que los recubre. De acuerdo con los resultados de los ensayos, la utilización de la máquina lavadora de rizomas permite simultáneamente lavar y pelar los tubérculos, pues mediante la abrasión de los tubérculos con la malla que recubre el cilindro lavador la corteza es eliminada.

Cabe decir que para obtener una harina blanca de excelente calidad es necesario lavar y pelar muy bien el ñame. Si el grado de refinamiento no es muy elevado, y se van a utilizar estos materiales para alimentación de animales, no hay necesidad de retirar la cáscara, pero si es necesario lavar muy bien.

Para el lavado de los tubérculos es recomendable tener disponibilidad de agua fresca y limpia. Se estima que para lavar un kilogramo de tubérculos de ñame se requieren cerca de 3.2 litros de agua.

6.9.3.3. Fraccionado de los tubérculos

Esta operación consiste en dividir el tubérculo en fragmentos más pequeños con el fin de facilitar la operación de secado, pues al aumentar el área de contacto de las partículas del material con el aire se disminuye el tiempo de secado.

El fraccionamiento se logra mediante la picadora descrita en la sección 6.9.2, la cual funciona a 600 revoluciones por minuto y permite fraccionar cerca de 500 kilogramos de tubérculos por hora.

Como práctica de mantenimiento, se recomienda lavar la picadora después de realizado cada proceso, eliminando los residuos de material acumulado, ya que la forma del equipo y las condiciones climáticas del sitio, se pueden desarrollar microorganismos, que afectan la calidad del producto.

6.9.3.4. Secado de los trozos de tubérculos:

Para el secado de los trozos se recomienda hacerlo en un sitio aislado, donde el producto no pueda ser contaminado por el paso de animales o por el polvo del ambiente. La utilización del secadero tipo invernadero permite aislar el material durante el secado, resguardarlo de las lluvias y disminuir el tiempo necesario para lograrlo.

Bajo las condiciones de alta temperatura y radiación y baja humedad relativa de la Costa Atlántica, la operación de secado de los trozos de ñame se puede realizar en 2 ó 3 días. Se calcula que para el secado de 1 tonelada se requieren cerca de 100 metros cuadrados de área de secadero. La utilización de bandejas con fondo en malla y de pisos de color negro, contribuyen a mejorar la ventilación y a concentrar mas energía para el secado de los trozos. En esta operación el material entra con una humedad del 68 a 70% y debe salir con 12 a 13% de humedad. Para lograr una mayor eficiencia en el secado, especialmente cuando se trabaja con plantas de capacidad mayor a las 5 toneladas por día se recomienda combinar el sistema de secado solar bajo invernadero con sistemas artificiales que utilizan diversas fuentes de energía para calentar el aire.

6.9.3.5. Molienda de trozos de tubérculos:

La molienda se realiza con el fin de obtener un producto homogéneo en tamaño, que sea digestible y proporcione la calidad solicitada por la industria.

Para la molienda de los trozos se recomienda la utilización de los molinos de martillos o de bola, los cuales son operados a 1,200 revoluciones por minuto. En esta operación los trabajadores deben protegerse con caretas, para evitar respirar el polvo que se genera en la manipulación de la harina.

6.9.3.6. Empaque y almacenamiento de la harina:

Para lograr un tamaño homogéneo de partícula en la harina, se recomienda pasarla por un tamiz de mesh No 60. El material que no pasa esta malla puede ser devuelto a la operación de molienda, cambiándole la criba al molino de martillo.

El empaque de la harina se puede realizar en sacos de polipropileno por 50 kilogramos, cuando se trate de ventas con destino a la industria, o en bolsas transparentes de polipropileno biorientado en presentaciones de 250 gramos, 500 gramos ó de 1 kilogramo, para ventas al menudeo, con destino al uso doméstico.

Los sacos y/o bolsas se deben sellar bien y almacenar en bodegas, con buenas condiciones de ventilación, secas y protegidas de la luz y de la lluvia. No se debe almacenar junto a productos agroquímicos o químicos, ni a productos alimenticios con olores penetrantes pues estos pueden ser transmitidos a la harina.

6.9.3.7. Recomendaciones de construcción de la planta

El piso debe ser firme, en cemento o baldosa, de fácil limpieza, impermeable y no deslizante, suprimiendo grietas o defectos y con pendiente suficiente para drenar el agua de lavado.

La tubería de drenaje debe tener la suficiente capacidad para evacuar rápida y efectivamente el aguas de lavado, contando con sus respectivas rejillas e implementos de filtrado como trampas de grasas y sólidos entre otros.

Las paredes deben ser impermeables de fácil limpieza, con acabados que permitan esta última actividad. Los techos deben ser limpiados en los lugares donde puede haber mayor acumulación de suciedad, condensaciones, alojamiento de microorganismos, con los respectivos mantenimientos en pintura.

Las ventanas deben contar con sus respectivas cenefas y mallas antiinsectos de fácil limpieza y con un buen mantenimiento. Las puertas deben ser amplias para facilitar el acceso y el manejo del producto. El lugar debe ser bien ventilado para evitar la acumulación de polvo, de calor y de malos olores.

Los tanques de agua deben construirse en ladrillo y cemento, recubriéndolos con baldosa para facilitar su limpieza. Se recomienda analizar periódicamente la calidad microbiológica del agua. Se debe contar con instalación eléctrica adecuada para los motores y para el alumbrado, con la respectiva seguridad industrial.

Con respecto a la ubicación e instalación de los equipos se debe seguir la secuencia lógica de las operaciones del proceso, dejando espacios suficientes para la inspección, limpieza y funcionamiento. En la Figura 39 se muestra la distribución recomendada de la Planta de proceso.

Los equipos y utensilios utilizados en el proceso deben ser limpiados y desinfectados diariamente para evitar contaminación durante los siguientes procesos. Se recomienda contar con instrumentos como básculas, balanzas, termómetro e higrómetro y estufa para la medición y registro de las variables del proceso y para tomar muestras periódicas de la calidad del alimento.

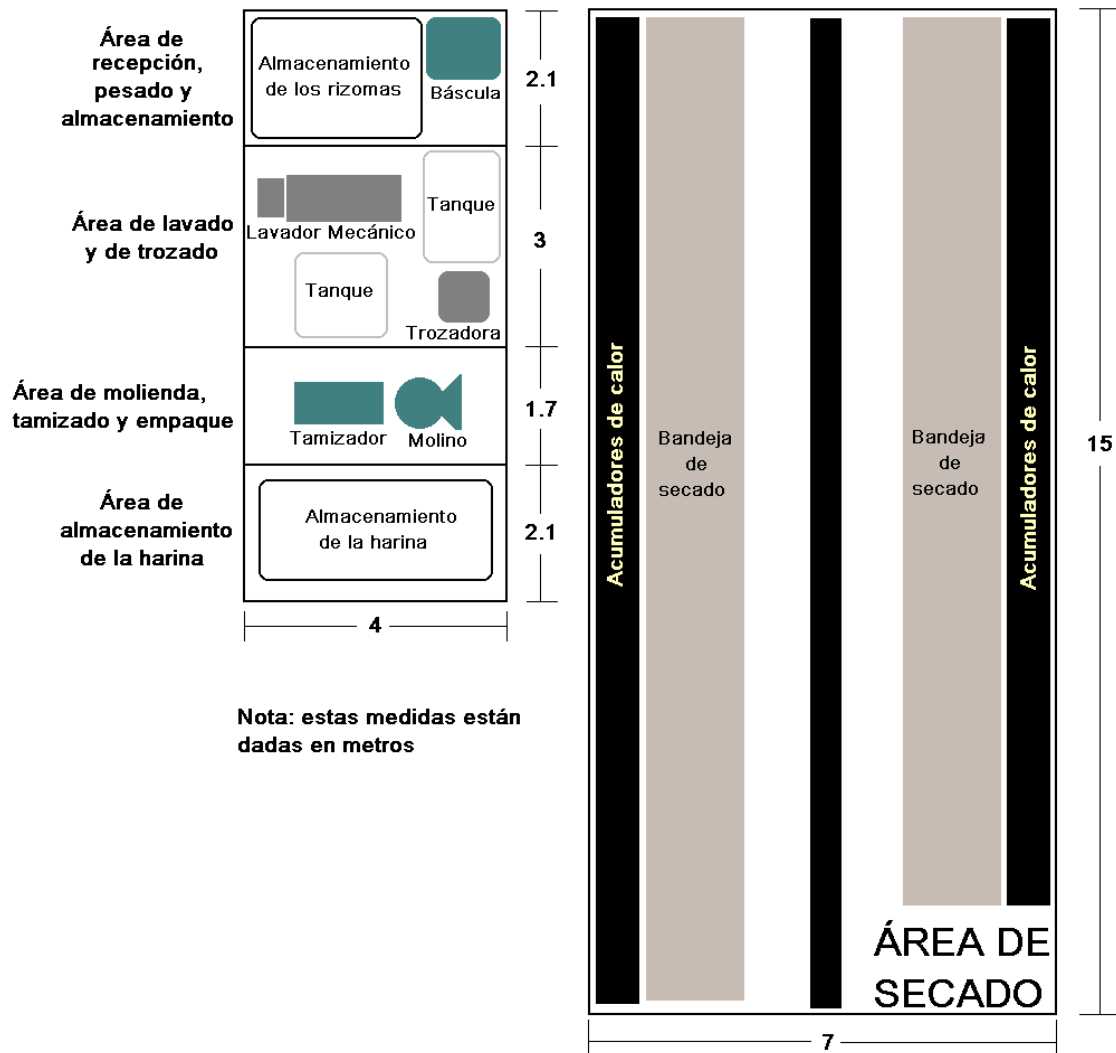


Figura 39. Áreas requeridas para el proceso de fabricación de las harinas

6.10. DESARROLLO DE APLICACIÓN DE COMPUTADOR PARA EL CÁLCULO DE LOS EQUIPOS DE PROCESO

En la etapa final del proyecto se terminó el proceso de diseño de los modelos definitivos de los equipos requeridos en la producción de harinas y almidones a partir de achira, arracacha y ñame y se diseñó una aplicación de computador con una base de datos que permite calcular los materiales y costo de construcción de los equipos. La base de datos dispone de un manual que describe cómo se debe hacer la introducción de datos así como su visualización.

La base de datos se montó sobre un motor sencillo y de frecuente uso, ACCESS 2000. Si bien no es un motor robusto y de alto desempeño, se ajusta a la cantidad y tipo de datos que se manipulan en nuestro proceso. El archivo se denomina MUPTU.mdb y se encuentra en la carpeta CORPOICA en el CD que se anexa a este informe. La base de datos permite acceder de forma sencilla y ágil a la información de las máquinas, como: piezas, costos, planos de despiece, planos de conjunto, planos detallados de las piezas, tipo y producto (Figura 40).

Se levantaron planos de las alternativas seleccionadas para: Lavador de raíces y tubérculos, rallo mecánico, tamiz de flujo continuo, tamiz centrifugo, agitador, picadora, molino de martillos e invernadero. En cuadernillo anexo a este informe se presentan los planos impresos de estos equipos.

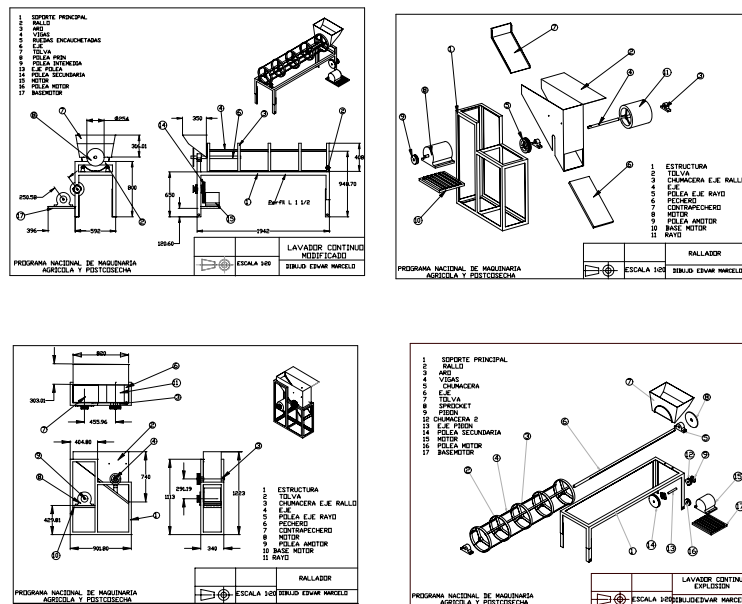


Figura 40. Muestra de planos de algunos de los prototipos diseñados

6.11. POTENCIALIDADES DE USO DE SUBPRODUCTOS

Múltiples son los subproductos que se generan en la cosecha de arracacha, achira y ñame y en la producción de sus harinas y almidones. Debido a las variadas posibilidades este proyecto se dirigió a identificar potenciales de aprovechamiento de estos materiales, especialmente en alimentación animal o en la producción de abonos. A continuación se presentan las principales potencialidades encontradas para los subproductos analizados.

6.11.1. Follaje de achira

La hoja de la achira generalmente se utiliza para envolver preparaciones tradicionales como tamales, quesos y dulces artesanales. En la zona andina colombiana es muy común en épocas de fin de año que la demanda de hojas de achira o “chisgua” se incremente por su uso como envoltura de tamales.

En las regiones productoras de achira, la mayor parte del follaje después de la cosecha de los rizomas se deja en el lotes para su posterior incorporación al suelo en las labores de preparación del terreno para el próximo cultivo. Esporádicamente las hojas son suministradas al ganado en épocas de sequía y baja producción de forraje, pero como lo mencionan los productores, a los animales no les gusta y solo consumen las hojas de achira cuando no hay otro forraje, evidenciándose su baja palatabilidad.

Al realizar el análisis bromatológico al follaje de achira se encontró que presenta altos contenidos de proteína y fibra, una digestibilidad del 46% y un alto valor calórico. Además presenta significativos contenidos de potasio y fósforo (Tabla 23).

Tabla 23. Composición y digestibilidad del follaje de achira.

| Variable | Valor |
|----------------------------|-------|
| Materia seca (%) | 24,08 |
| Proteína cruda (%) | 8,84 |
| Fibra cruda (%) | 24,00 |
| Extracto etéreo (%) | 1,00 |
| FDA (%) | 47,84 |
| FDN (%) | 64,42 |
| Digestibilidad in vivo (%) | 45,96 |
| Potasio (%) | 3,73 |
| Magnesio (%) | 0,41 |
| Calcio (%) | 0,95 |
| Fósforo (%) | 0,40 |
| EB Kcal/g | 3733 |

Análisis realizado por el Laboratorio de Nutrición Animal de Corpoica

De acuerdo con las evaluaciones realizadas en el campo, se producen cerca de 37 toneladas de follaje de achira por hectárea, que equivalen a 8.9 t de materia seca por hectárea. Dada la alta producción de forraje y su composición nutricional, se recomienda adelantar estudios sobre la mezcla con melaza y compuestos protéicos para mejorar su palatabilidad y valor nutricional, con el fin de aprovecharlo en la alimentación de los animales de la finca.

6.11.2. Afrecho de achira

El afrecho es la fibra obtenida como residuo del proceso de extracción del almidón; durante el tamizado de la masa rallada, después de haber sido extraído el almidón, se genera aproximadamente 0,2 kg de afrecho húmedo / kg de rizoma procesado (entre 17,6 y 36,7 g de afrecho seco por kg de rizoma).

Actualmente, el afrecho es dispuesto sobre la superficie del suelo, sirviendo de sustrato para el siguiente cultivo, en este estado, el afrecho no sirve como abono orgánico dado los bajos niveles de minerales que contiene, pero actúa como mejorador de la estructura del suelo, sobretodo en suelos pesados, con alto contenido de arcilla, ya que aumenta su porosidad y aireación.

De acuerdo con los resultados mostrados en los análisis de laboratorio (Tabla 24), los altos contenidos de fibra cruda en el afrecho (36,5%), la digestibilidad “in situ” de la materia orgánica (57,01%) y el contenido de proteína cruda (3,6%), hace del afrecho un medio propicio para la cría de lombrices rojas californianas y la producción de humus.

Para la utilización del afrecho, se recomienda eliminar la mayor cantidad de agua mediante prensado y nunca dejarlo húmedo y amontonado cerca a las plantas de proceso, pues constituye una fuente de contaminación que genera malos olores y favorece la proliferación de moscas.

Tabla 24. Análisis de composición y digestibilidad del afrecho de achira

| Análisis | | Sigla | Cantidad |
|--------------------|---|-------|----------|
| Proximal | Materia seca | MS | 8,75% |
| | Proteína Cruda | PC | 3,60% |
| | Extracto Etéreo (Grasa) | EE | 0,31% |
| | Fibra cruda | FC | 36,50% |
| Van Soest | Fibra en Detergente Ácido | FDA | 34,96% |
| Pruebas Biológicas | Digestibilidad in situ de la Materia Seca | DIVMS | 57,01% |
| Minerales | Calcio | Ca | 0,55% |
| | Fósforo | P | 0,122% |
| | Magnesio | Mg | 0,265% |
| | Potasio | K | 0,7738% |

Análisis del Laboratorio de Nutrición Animal de Corpoica

6.11.3. Mogolla de achira

La mogolla es una mezcla de almidón muy pequeño con fibrillas que pasan el orificio del tamiz. Una alternativa es el repase de ésta, por un tamiz de hueco más pequeño para recuperar el almidón. El resto sirve para el engorde de animales de la finca. Una alternativa utilizada que merece la pena ser evaluada, es la utilizada en yuca donde mezclan la mancha y el afrecho como única fuente de energía para alimentación de cerdos. Esta mezcla es rica en términos calóricos si se tiene en cuenta que mas del 50% del peso de la mogolla corresponde a almidón. El limitante para su utilización es que se generan bajos excedentes de mogolla en el proceso y éstos generalmente se aprovechan para fabricar una especie de colación de color oscuro y textura crocante, que es consumida por el productor y su familia.

6.11.4. Cepas de arracacha

Las cepas se utilizan para la alimentación de cerdos, gallinas y ganado vacuno. Se pueden cocinar y mezclar con otros productos sobrantes de la finca como plátano, yuca, etc., lo cual constituye un excelente preparado para engordar cerdos.

Las cepas presentan una composición muy similar a los rizomas de arracacha, con bajos contenidos de proteína, pero con alto valor calórico. En el caso de la variedad Amarilla se presenta un alto contenido de carotenoides, como precursores de vitamina A. (Tabla 25).

Tabla 25. Composición de las cepas de arracacha (en 100 gramos de materia fresca)

| Compuesto | Unidad | Cepa de arracacha amarilla | Cepa de arracacha morada |
|---------------|------------|----------------------------|--------------------------|
| Agua | Gramos | 72.6 | 72.0 |
| Materia seca | Gramos | 27.4 | 28.0 |
| Carbohidratos | Gramos | 24.1 | 24.8 |
| Proteína | Gramos | 0.9 | 1.0 |
| Grasa | Gramos | 0.1 | 0.1 |
| Fibra | Gramos | 1.1 | 0.9 |
| Cenizas | Gramos | 1.2 | 1.2 |
| Minerales | | | |
| Calcio | miligramos | 28 | 25 |
| Fósforo | miligramos | 70 | 70 |
| Hierro | miligramos | 1.1 | 0.4 |
| | | | |
| Calorías | unidades | 100 | 104 |

De acuerdo con un estudio realizado por Segura y otros (1997) en Cajamarca, Tolima, la dieta diaria compuesta de 1.2 kg de materia seca de chachafruto (*Eritrina edulis*), 3.0 kg de materia seca de cepas de arracacha y pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) a voluntad en vacas Holstein mestizas, permite disminuir los costos de producción de leche, mantener el buen estado corporal de los animales y disminuir la incidencia de chiza en el cultivo de la arracacha.

Las evaluaciones de campo permiten calcular que en promedio se producen 17 toneladas por hectárea de cepas y rizomas no comercializables por daños mecánicos y de chiza, los cuales representan cerca de 4.7 toneladas de materia seca por hectárea. Este material, altamente perecedero, podría ser conservado mediante trozado y posterior secado, utilizando los equipos diseñados en este proyecto, para ser aprovechado en sistemas de alimentación animal en la región. Sin embargo es necesario realizar estudios más profundos sobre las dietas más indicadas para cada especie animal de interés.

6.11.5. Tubérculos no comercializables de ñame

En la actualidad, dados los altos precios del ñame en el mercado, la mayor parte de los tubérculos cosechados son comercializados y solo se consideran como excedentes de cosecha los tubérculos que presentan daños por microorganismos y los tubérculos muy pequeños.

La composición de los tubérculos no comercializables se presenta en la Tabla 26. En general este material tiene un menor contenido de materia seca y un valor nutricional más bajo que el de los tubérculos comercializables.

Según Chedly y Lee (1997), el uso del ñame como forraje crudo está limitado por la presencia de alcaloides amargos junto con taninos y saponinas, por lo que debe cocinarse antes de alimentar animales monogástricos o terneros. Sus subproductos incluyen raíces, recortes, hojas y tallos. Estos últimos son un forraje muy apreciado para los bovinos y pueden ser ensilados junto con los otros alimentos ya mencionados.

De acuerdo con las evaluaciones realizadas en campo, por hectárea se producen entre 0.8 y 1.3 toneladas de ñame no comercializable, lo cual equivale a cerca de 0.16 a 0.21 toneladas de materia seca por hectárea, cantidad que resulta muy baja para llevar programas comerciales de alimentación animal.

A pesar de lo anterior, es necesario tener en cuenta que el ñame además de presentar un alto contenido de carbohidratos, contiene apreciables cantidades de aminoácidos esenciales, de calcio, fósforo y niacina, lo cual hace interesante su estudio como componente de dietas balanceadas para alimentación humana y animal.

Tabla 26. Composición de tubérculos no comercializables de ñame (en 100 gramos de materia fresca)

| Compuesto | Unidad | Valor |
|---------------|------------|-------|
| Agua | Gramos | 79.4 |
| Materia seca | Gramos | 20.6 |
| Carbohidratos | Gramos | 18.0 |
| Proteína | Gramos | 1.4 |
| Grasa | Gramos | 0.2 |
| Fibra | Gramos | 1.2 |
| Cenizas | Gramos | 1.0 |
| Minerales | | |
| Calcio | miligramos | 40 |
| Fósforo | miligramos | 58 |
| Hierro | miligramos | 2 |
| | | |
| Calorías | unidades | 78 |

6.11.6. Afrechos de arracacha y de ñame

Estos materiales fueron obtenidos como subproducto de las pruebas experimentales de extracción de almidón a nivel del laboratorio de farinología de Corpoica, en el Centro de Investigación Tibaitatá. Su composición se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27. Composición y digestibilidad de los afrechos de arracacha y ñame.

| Variable | Afrecho de arracacha | Afrecho de ñame |
|----------------------------|----------------------|-----------------|
| Materia seca (%) | 85,91 | 89,63 |
| Proteína cruda (%) | 2,46 | 4,27 |
| Fibra cruda (%) | 24,38 | 27,02 |
| Ceniza (%) | 1,89 | 1,29 |
| Extracto etreo (%) | 0,26 | 0,57 |
| Digestibilidad in vivo (%) | 95,28 | 89,90 |
| Potasio (%) | 0,35 | 0,30 |
| Magnesio (%) | 0,06 | 0,05 |
| Calcio (%) | 0,35 | 0,16 |
| Fósforo (%) | 0,19 | 0,09 |

Análisis del Laboratorio de Nutrición Animal de Corpoica

Como se puede observar los dos materiales, son alimentos energéticos potenciales por su bajo contenido de proteína; el contenido de fibra permite pensar en la evaluación de niveles de inclusión y balanceo de raciones para sistemas de alimentación porcina y de rumiantes (bovinos, ovejas, caprinos etc); sin embargo se aprecia que los contenidos de fibra de los dos afrechos son relativamente para su utilización en alimentación de porcinos, pero buenos para la alimentación de rumiantes.

La digestibilidad es una variable de gran importancia para la evaluación de materiales en alimentación animal; se observa que los afrechos de arracacha y de ñame, presentan una digestibilidad in vitro bastante alta, condición muy favorable para desarrollar el proceso de evaluación biológica, con animales, en estudios posteriores.

De acuerdo con los resultados de los experimentos, la disponibilidad aparente de materia seca de estos materiales es de 1,10 t/ha para el caso del afrecho de arracacha y de 0,99 t/ha para el afrecho de ñame.

Dada la disponibilidad y las características de composición y digestibilidad de estos materiales vale la pena establecer la factibilidad técnica y económica de aprovecharlos en procesos de compostaje, para el mejoramiento de los suelos y la nutrición de los cultivos.

6.12. MANEJO DEL AGUA Y EFLUENTES DEL PROCESO.

En este aparte se hace un análisis sobre las condiciones más adecuadas de calidad del agua requerida en el proceso de fabricación de las harinas y almidones, sobre las características de las aguas residuales y se brindan recomendaciones para su manejo. El análisis hace énfasis en el caso de la extracción del almidón de achira, en el cual se tuvo la posibilidad de evaluar las operaciones tradicionales de proceso.

6.12.1. Requerimientos de agua en los procesos

En los procesos propuestos de fabricación de harinas y almidones a partir de la achira, la arracacha y el ñame se tiene como común denominador la necesidad de utilizar agua de buena calidad, para obtener productos inocuos y aptos para el consumo humano.

En la extracción de los almidones los requerimientos de agua son mayores que en el caso de la elaboración de las harinas, pues en el proceso del almidón el agua es utilizada en las operaciones de lavado de la materia prima (raíces o tubérculos), para eliminar la tierra y demás impurezas adheridas; en el tamizado, para la separación del almidón del afrecho y en el lavado del almidón, para eliminar impurezas y lograr un color muy blanco; en tanto que en la fabricación de las harinas solo se requiere el agua en la operación inicial de lavado de la materia prima.

Bajo las condiciones tradicionales de producción de almidón de achira en el oriente de Cundinamarca y sur del Huila, los requerimientos de agua son en promedio de 113 litros por kilogramo de almidón obtenido, siendo utilizada cerca de la mitad de esta cantidad en la operación de tamizado (Tabla 28).

Al analizar las evaluaciones de proceso de cada región (Tablas 29 y 30), se observa que el consumo de agua en Huila es en promedio de 146 l/kg de almidón, en tanto que en Cundinamarca, es de 86 l/kg. Esta situación se explica por la mayor abundancia de agua en el Huila y a que en esta región se procesan cantidades de rizoma más pequeñas que en Cundinamarca.

Tabla 28. Consumo de agua en la extracción del almidón de achira en Cundinamarca y Huila (litros/kg)

| Operación | Promedio | Desviación Estandar | Coefficiente deVariación | Participación |
|----------------------|---------------|---------------------|--------------------------|---------------|
| Lavado de rizomas | 26.92 | 34.12 | 126.7% | 23.9% |
| Tamizado | 57.56 | 21.14 | 36.7% | 51.0% |
| Lavado de almidón | 28.30 | 27.89 | 98.5% | 25.1% |
| Consumo total | 112.78 | 40.82 | 36.2% | 100.0% |

Información de 9 evaluaciones de proceso.

Tabla 29. Consumo de agua en la extracción del almidón de achira en Cundinamarca (litros/kg)

| Operación | Promedio | Desviación Estandar | Coefficiente deVariación | Participación |
|----------------------|--------------|---------------------|--------------------------|---------------|
| Lavado de rizomas | 18.42 | 9.91 | 53.8% | 21.3% |
| Tamizado | 52.56 | 17.74 | 33.8% | 60.8% |
| Lavado de almidón | 15.44 | 6.68 | 43.3% | 17.9% |
| Consumo total | 86.42 | 29.07 | 33.6% | 100.0% |

Información de 5 evaluaciones de proceso.

Tabla 30. Consumo de agua en la extracción del almidón de achira en Huila (litros/kg)

| Operación | Promedio | Desviación Estandar | Coefficiente deVariación | Participación |
|----------------------|---------------|---------------------|--------------------------|---------------|
| Lavado de rizomas | 37.55 | 51.99 | 138.4% | 25.8% |
| Tamizado | 63.80 | 26.04 | 40.8% | 43.8% |
| Lavado de almidón | 44.38 | 37.34 | 84.2% | 30.5% |
| Consumo total | 145.73 | 26.69 | 18.3% | 100.0% |

Información de 4 evaluaciones de proceso.

Se observa también que el mayor consumo en ambas regiones se presenta en la operación de tamizado y que en todas las operaciones del proceso los consumos de agua son más altos en Huila, respecto a Cundinamarca. Cabe destacarse también que generalmente el almidón obtenido en el Huila presenta un color más blanco y un menor contenido de impurezas.

La variabilidad en la cantidad de agua consumida en las operaciones del proceso de producción del almidón es mayor en Huila, pero al considerar el agua consumida en el proceso en su conjunto, la variabilidad es mayor en la región de oriente de Cundinamarca. Esta situación parece indicar que la cantidad del agua utilizada depende de factores como la disponibilidad del agua y del grado de impurezas presentes en los rizomas y en el almidón.

6.13.2. Calidad del agua utilizada en el proceso

En este estudio se analizaron los criterios organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos de la calidad del agua cruda utilizada en el proceso de extracción del almidón de achira y se les comparó con los parámetros establecidos en las normas técnicas de calidad del agua potable² (Tabla 31).

Tabla 31. Criterios de calidad de agua potable

| Criterio | Valor admisible | Unidad |
|---------------------------------|-----------------|--------------------------|
| <i>Organolépticos y físicos</i> | | |
| Color verdadero | 15 | UPC |
| Olor y sabor | Aceptable | |
| Turbiedad | 5 | NTU |
| Sólidos Totales | 500 | mg/l |
| Conductividad | 50 – 1.000 | μS/cm |
| Sustancias Flotantes | Ausente | |
| <i>Químicos</i> | | |
| PH | 6,5 – 9,0 | Unidades |
| Grasas y aceites | Ausente | |
| Acidez | 50 | mg CaCO ₃ /lt |
| Alcalinidad Total | 100 | mg CaCO ₃ /l |
| Dureza Total | 160 | mg CaCO ₃ /l |
| Hierro Total | 0,3 | mg Fe /l |
| <i>Microbiológicos</i> | | |
| Escherichia Coli | Negativa | |
| Coliformes Totales | < 2 | NMP/100 ml |

Fuente: Decreto 475 de 1998.

Para analizar la calidad del agua utilizada en procesos comerciales de producción del almidón, se realizaron muestreos en tres sitios del Oriente de Cundinamarca:

- 1º) Municipio de Fosca, vereda la Hoya,
- 2º) Municipio de Quetame, vereda Guacapate y
- 3º) Municipio de Quetame, vereda Granadillo.

En la Tabla 32 se presentan los resultados de los muestreos del agua cruda utilizada en el proceso de extracción del almidón de achira.

² Artículos 7, 8, 10 y 25, Decreto 475 de 1998 , normas técnicas de calidad del agua potable.

Tabla 32. Características del agua cruda utilizada en el proceso de extracción del almidón de achira en tres sitios del oriente de Cundinamarca .

| Criterios | Sitio 1 | | Sitio 2 | | Sitio 3 | | Und |
|---------------------------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|-----------|
| | <i>In situ</i> | <i>Lab.</i> | <i>In situ</i> | <i>Lab.</i> | <i>In situ</i> | <i>Lab.</i> | |
| <i>Fisicoquímicos</i> | | | | | | | |
| PH | 6.5 | 7.4 | 6.72 | 6 | | 7.15 | Und |
| Temperatura | 14 | | 21.4 | | | | ° C |
| <i>Organolépticos y físicos</i> | | | | | | | |
| Caudal | Volumen | 26.5 | 26.5 | 26.5 | | | Lit. |
| | Tiempo | 137 | 48 | 158 | | | Seg. |
| Olor y sabor | <i>Aceptable</i> | | <i>Aceptable</i> | | <i>Aceptable</i> | | |
| Conductividad | 48.9 | | 26.3 | | 126.8 | | mS/cm |
| Sustancias Flotantes | <i>Ausente</i> | | <i>Ausente</i> | | <i>Ausente</i> | | |
| <i>Químicos</i> | | | | | | | |
| Grasas y aceites | <i>Ausente</i> | | <i>Ausente</i> | | <i>Ausente</i> | | |
| Acidez | 2.2 | | 9.3 | | 2.76 | | mg/lt |
| Alcalinidad Total | 3 | | 2.9 | | 52.5 | | mg/lt |
| Dureza Total | 0 | | 0 | | 90.07 | | mg/lt |
| Almidón | 0 | | 0 | | 0 | | ° Brix |
| <i>Microbiológicos</i> | | | | | | | |
| Escherichia Coli | <i>Negativa</i> | | <i>Negativa</i> | | <i>Negativa</i> | | |
| Coliformes Totales | < 3.0 | | 240 | | 2400 | | NMP/100ml |

6.12.1.1. Factores organolépticos y físicos:

- Olor, color y sabor: estos parámetros organolépticos son aceptables; no se presenta olores, colores ni sabores distintos a los propios del agua potable.
- Sustancias flotantes: en ninguno de los sitios muestreados existe presencia de sustancias flotantes en las aguas empleadas para la extracción del almidón.
- Conductividad: La conductividad del agua cruda empleada para el proceso, presenta valores que permiten clasificar esta agua como potable de acuerdo con la norma (50 a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y como aguas lluvias (valores entre 48,9 y 26,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

6.12.1.2. Factores Químicos:

- pH: los valores de potencial de hidrógeno en las aguas crudas caracterizadas se encuentran entre el rango admisible del agua potable (6,5 – 9).
- Grasas y aceites: en ninguno de los sitios muestreados existe presencia de grasas y aceites en las aguas empleadas para la extracción del almidón.
- Acidez, Alcalinidad Total y Dureza Total: estos parámetros químicos del agua cruda caracterizada, cumple con los admisibles por la norma de agua potable.

6.12.1.3. Factores Microbiológicos:

- Escherichia Coli: En las aguas crudas caracterizadas no hay presencia de esta bacteria.
- Coliformes totales: En ninguno de los sitios muestreados el valor máximo admisible para la presencia de esta bacteria en las aguas se cumple (<2 NMP/100 ml), se presentan valores entre 3,0 y 2.400 NMP/100 ml.

De acuerdo con lo anterior, se aprecia que a excepción de los valores microbiológicos de Coliformes totales, el agua cruda empleada para la extracción del almidón de achira, podría ser clasificada como agua potable. Sin embargo, para hacer de esto un hecho es necesario realizar el proceso de desinfección adecuado.

6.12.2. Agua residual del lavado de rizomas de achira

En el proceso de elaboración del almidón de achira el agua es utilizada en primera instancia en la operación de lavado de los rizomas; en la Tabla 33 se presentan los resultados de caracterización del agua residual de esta operación en los tres sitios muestreados.

Tabla 33. Características del agua residual del lavado de rizomas en el proceso de extracción del almidón de achira en tres sitios del oriente de Cundinamarca .

| Criterios | Sitio 1 | | Sitio 2 | | Sitio 3 | | Und |
|---------------------------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|--------|
| | <i>In situ</i> | <i>Lab.</i> | <i>In situ</i> | <i>Lab.</i> | <i>In situ</i> | <i>Lab.</i> | |
| <i>Fisicoquímicos</i> | | | | | | | |
| PH | 6.7 | 6.6 | 6.95 | 6.7 | | | Und |
| Temperatura | | | 21.2 | | | | ° C |
| <i>Organolépticos y físicos</i> | | | | | | | |
| Caudal | Volumen | 26.5 | 26.5 | 26.5 | 26.5 | | Lit. |
| | Tiempo | 138 | 44.8 | 158 | | | Seg. |
| Volumen agua | 5,580 (1h 33') | | 1120 | | 12600 | | Seg. |
| Olor y sabor | <i>Aceptable</i> | | <i>Aceptable</i> | | <i>Aceptable</i> | | |
| Turbiedad | 177 | | 29.7 | | | | NTU |
| Sólidos Totales | 3397.8 | | 3161.1 | | | | mg/lt |
| Sólidos Suspendidos | 2180 | | 226 | | | | mg/lt |
| Sólidos Disueltos | | | | | | | |
| Sólidos Sedimentables | 10 | | 13 | | | | ml/lt |
| Sustancias Flotantes | <i>Presente</i> | | <i>Presente</i> | | <i>Presente</i> | | |
| <i>Químicos</i> | | | | | | | |
| Grasas y aceites | <i>Ausente</i> | | <i>Ausente</i> | | <i>Ausente</i> | | |
| Almidón | 0 | | 0 | | | | ° Brix |

6.12.2.1. Factores organolépticos y físicos:

- Olor y sabor: estos parámetros son aceptables, teniendo en cuenta que el agua contiene tierra proveniente del lavado de los rizomas.
- Turbiedad: la turbidez en el agua es una medida de la nubosidad. Es causada por la presencia de la materia en suspensión la cual dispersa y absorbe la luz. En las muestras caracterizadas se encuentran valores comprendidos entre 29,7 y 177,0 NTU.
- Sólidos totales: los sólidos totales de una muestra de agua / agua residual es todo el residuo que queda después de secar la muestra 105 °C hasta peso constante. Los valores encontrados en estas aguas oscilan entre 3.161,1 y 3.397,8 mg/l.
- Sólidos suspendidos: son partículas discretas que se pueden medir al filtrar una muestra a través de un papel fino. Los valores encontrados en estas aguas oscilan entre 226,0 y 2.181,0 mg/l.
- Sólidos sedimentables: son aquellos removidos en un procedimiento estándar de sedimentación con el uso de un cilindro de 1 litro (Cono Imhoff), en el que se vierte la muestra de agua y se deja sedimentar durante un período de 1 hora. Los valores encontrados en estas aguas oscilan entre 10,0 y 13,0 mg/l.
- Sustancias flotantes: Las sustancias flotantes presentes provienen de las raíces y escamas de los rizomas, que se desprenden en el momento del lavado.

6.12.2.2. Factores Químicos:

- pH: los valores de potencial de hidrógeno en las aguas residuales provenientes del lavado de los rizomas, se encuentran dentro del rango admisible del agua potable.
- Grasas y aceites: en ninguno de los sitios muestreados existe presencia de grasas y aceites en las aguas residuales del lavado de los rizomas.

De acuerdo con lo anterior, se aprecia que los parámetros en los cuales se debe enfocar el tratamiento del agua residual del lavado de rizomas son la turbiedad y los sólidos presentes en el agua.

6.12.3. Agua residual del tamizado y lavado del almidón de achira

En la operación de tamizado se agrega agua a la masa rallada para lograr la separación del almidón y el afrecho. Como resultado de esta operación se obtiene una lechada, la cual consiste en una mezcla de agua y almidón en suspensión. Posteriormente para realizar la operación de lavado la lechada es distribuida en diferentes recipientes (tanques, artesas, canecas o baldes), allí se deja sedimentar el almidón y una vez sedimentado, al cabo de una hora aproximadamente, se le retira el agua y nuevamente se le agrega agua, se agita y se deja sedimentar; esta operación es repetida 3 a 7 veces hasta eliminar la mancha originada por la oxidación del almidón y lograr de esta forma un color muy blanco de éste.

6.12.3.1. Factores organolépticos y físicos:

- Color verdadero: la coloración en esta agua residuales proviene de la pigmentación del tejido vegetal, que al rallar el rizoma acompaña al almidón durante las etapas del proceso sin cambiarle sus características. Los resultados de ésta caracterización presenta valores entre 1.250 y 3.500 UPC.

- Olor y sabor: estas aguas residuales compuestas no presentan olor alguno diferente al propio del agua cruda, su sabor no fue evaluado.
- Turbiedad: En las muestras caracterizadas encontramos valores comprendidos entre 12,1 y 72,8 NTU.
- Sólidos Totales: Los valores encontrados oscilan entre 763,7 y 3.471,0 mg/l.
- Sólidos suspendidos: Los valores oscilan entre 317,0 y 1.125,3 mg/l.
- Sólidos sedimentables: Los valores encontrados varían entre < 1 y 1.
- Sustancias flotantes: En estas aguas residuales no existe su presencia.

6.12.3.2. Factores químicos:

- pH. Los valores para los sitios de muestreo donde se emplea ácido cítrico para el lavado del almidón, presentan valores entre 5,34 y 5,4, en los otros sitios de muestreo los valores están dentro del rango máximo admisible.
- Grasas y aceites: en ninguno de los sitios muestreados existe presencia de grasas y aceites en las aguas residuales del tamizado y del lavado del almidón.
- Hierro total: los valores de contenido de hierro total en las muestras de agua se encuentran entre 0,8 y 8 mg Fe /l, la presencia de trazas de hierro confirma su aparición como catalizador de la oxidación fenólica del rizoma, siendo el valor máximo admisible 0,3 mg Fe /l.

6.12.3.3. Indicadores de contaminación biológica:

El grado de contaminación biológica del agua puede ser establecida mediante la determinación de parámetros como la Demanda Biológica de Oxígeno, DBO, la Demanda Química de Oxígeno, DQO, y el Oxígeno Disuelto, OD. En la Tabla 34 se presentan los valores de referencia para catalogar la calidad del agua.

Tabla 34. Valores de referencia para establecer la calidad del agua, de acuerdo con los indicadores de contaminación biológica.

| Parámetro | Calidad de la Fuente | | | |
|------------------|----------------------|----------------|-------------------|-----------------------|
| | <i>Aceptable</i> | <i>Regular</i> | <i>Deficiente</i> | <i>Muy deficiente</i> |
| DBO ₅ | 1 - 3 | 3 - 4 | 4 - 6 | > 6 |
| DQO | 2 | | | |
| OD | > 4 | > 4 | > 4 | < 4 |

La Demanda Biológica de Oxígeno es la cantidad de oxígeno disuelto consumido en una muestra de agua por los microorganismos cuando se descompone la materia orgánica a 20 °C en un período de 5 días. Mide sin dificultad el carbono orgánico biodegradable. Las aguas limpias tienen valores de la DBO₅ menores de 1 mg/l, se considera que una DBO₅ con valores mayores de 7 mg/l para su potabilización requiere un tratamiento especial (coagulación, floculación, sedimentación, filtración y un proceso de eliminación de sustancias orgánicas específicas), la DBO en las aguas residuales municipales oscila entre 150 y 1000 mg/l.

La Demanda Química de Oxígeno mide el carbono orgánico total, con la excepción de ciertos aromáticos tales como el benceno el cual no es oxidado en la reacción. El ensayo determina la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente las sustancias orgánicas en el agua o agua residual.

El Oxígeno Disuelto es un elemento muy importante en el control de la calidad del agua. Su presencia es esencial para mantener las formas superiores de vida biológica y el efecto de una descarga de desechos en un río se determina principalmente por el balance de oxígeno del sistema. Desafortunadamente el oxígeno es poco soluble en agua. Las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas con OD, pero la demanda de oxígeno de los desechos orgánicos puede consumirlo rápidamente. Los peces no existirían en aguas con valores de OD por debajo de 2 mg/l. Las aguas saturadas de oxígeno tienen un sabor agradable y las aguas con deficiencia de OD son insípidas; por esta razón, si es necesario, las aguas para beber se airean para que tengan un OD máximo.

De acuerdo con los resultados, las aguas residuales del proceso de extracción del almidón de achira presentan un rango de DBO entre 256.0 y 1,312 mg O₂/l. De igual manera los valores de DQO se encuentran en un rango entre 992 y 34,489 mg O₂/l y el OD entre 0 y 0.25 mg O₂/l. Los valores de indicación de contaminación biológica se encuentran bastante elevados, como se puede observar al comparar los resultados con los datos de la Tabla 34.

6.12.4. Recomendaciones de manejo del agua para el proceso y de las aguas residuales

Como se anotó anteriormente, el proceso de extracción del almidón requiere de grandes volúmenes de agua fresca. Para muchas unidades productivas rurales de almidón de achira la disponibilidad de agua fresca de buena calidad es un problema creciente debido a la expansión doméstica, la demanda agrícola e industrial de agua. Además el agua consumida en la producción del almidón frecuentemente es descargada a quebradas adyacentes, sin un mínimo tratamiento, lo cual puede generar problemas de contaminación y limitaciones de uso para consumo de los pobladores que habitan en las partes más bajas.

De acuerdo con los resultados de la caracterización, es necesario considerar la introducción de tecnologías orientadas a la reducción del consumo de agua en la producción del almidón, el mejoramiento de su calidad y el adecuado manejo de las aguas de residuo.

6.12.4.1. Alternativas para el mejoramiento del agua de proceso

Es recomendable en la mayoría de los casos realizar la desinfección del agua de proceso, sometiéndola a un tratamiento de cloración con el fin de eliminar los Coliformes totales, presentes en estas, de tal manera que se cumpla con lo estipulado en el Decreto 475 de 1.998 sobre agua apta para consumo humano y para preparación de alimentos.

Para la desinfección de las aguas crudas empleadas para la extracción del almidón de achira se recomienda la cloración, empleando compuestos como el hipoclorito de sodio, el hipoclorito de calcio o la cal clorada.

El hipoclorito de sodio (NaClO) es de fácil manejo, no es tóxico a menos que sea ingerido, de fácil transporte, no requiere de equipos sofisticados para su aplicación. Tiene la desventaja de tener poca estabilidad, tiene una baja concentración de cloro activo (entre 2.5 y 15%, la concentración más común 10%).

El hipoclorito de calcio (Ca(ClO)₂) es de fácil manipulación y transporte y tiene una alta solubilidad, no es tóxico a menos que sea ingerido, no requiere de equipos complejos para su dosificación. Este producto tiene un mayor costo y sufre alteraciones una vez abierto el recipiente.

La cal clorada tiene la ventaja de fácil manejo, no es tóxica, de fácil transporte, buena solubilidad en el agua, no requiere equipos sofisticados para su dosificación. Genera residuos calcáreos, baja estabilidad, debe ser almacenado lejos del calor y la luz solar. Para su aplicación debe contarse con un depósito para la preparación de la solución.

El cloro debe aplicarse en un tanque donde se provea una mezcla óptima y asegure un tiempo suficiente de contacto. El período de contacto en la cámara de cloración no debe ser menor de 30 minutos. La dosis debe ser adecuada para producir una concentración residual de cloro en el efluente de la planta medido por un método estándar, de manera que reduzca la concentración de coliformes viables y sea consistente con los valores especificados para el agua potable. En cualquiera de los casos la concentración de cloro residual en el sistema de distribución debe estar entre 0.2 mg/l y 1.0 mg/l, según lo fijado por el Decreto 475 del 98.

6.12.4.2. Alternativas para disminución del consumo de agua de proceso y el manejo del agua residual

Una de las alternativas para minimizar el consumo de agua durante el proceso de extracción de almidón es la recirculación del agua residual del último lavado de almidón para reutilizarla en el lavado de rizomas, ya que como se observa en los resultados obtenidos, su calidad es aceptable para aprovecharla en esta primera operación del proceso.

Otra alternativa es el tratamiento del agua de lavado de rizomas para poder recircularla y utilizarla nuevamente en la operación de lavado de rizomas o para verterla a fuentes naturales como quebradas o ríos. Para esto se debe realizar un tratamiento primario, el cual consiste en eliminar la mayor cantidad de los sólidos flotantes y sedimentables.

El tratamiento consiste en hacer pasar el agua por un tanque o un desarenador, donde son retiradas las partículas más densas, las cuales se separan mediante precipitación. El agua procedente del lavado de los rizomas se conduce hasta un tanque provisto en su entrada de unas rejillas que impiden el paso de residuos de gran tamaño y de material flotante. Posteriormente el agua es dejada en reposo hasta que las partículas de tierra y los materiales de mayor densidad que el agua se precipiten en el fondo del tanque. Para lograr una mayor velocidad de sedimentación se recomienda que los tanques tengan fondo en forma de cuña o en "V", lo cual también facilita su posterior vaciado y limpieza. Para poderla reutilizar en la operación de lavado de los rizomas se debe subir mediante una motobomba o ariete.

En procesos de tratamiento más complejos, el agua residual, que aun contiene partículas suspendidas, se pasa por un filtro el cual retiene el material liviano y de densidad menor o similar a la del agua, elimina la turbiedad y contribuye a la desinfección. El filtro consiste en un tanque con un lecho filtrante compuesto por un material granular, inerte, durable y limpio. Normalmente se puede usar arena exenta de arcilla y libre de materia orgánica. El diámetro recomendado para la arena es del orden de 0.15 mm a 0.35 mm, con un coeficiente de uniformidad entre 2 y 4. En la práctica es muy importante asegurar la limpieza del material, antes de ser colocado. El medio o capa de soporte debe estar constituido por grava. Las piedras deben ser duras y redondeadas, libres de limo, arena y materia orgánica; en caso de no ser así, debe lavarse cuidadosamente para asegurar su limpieza. El agua así filtrada puede ser utilizada incluso para las labores posteriores de tamizado y lavado del almidón.

El análisis de las aguas residuales de tamizado y lavado del almidón mostró que éstas generalmente pueden contener niveles relativamente altos de hierro, sin embargo el tratamiento para la desferrización resultaría bastante costoso y dispendioso, no siendo viable económicamente para realizarlo en las rallerías rurales de achira de pequeña escala.

Una de las alternativas de uso del agua residual del procesamiento es aprovecharla para regar diversos cultivos, como la misma achira. Experiencias de este manejo han sido realizadas en Perú donde han regado maíz o algunos frutales como el tomate de árbol, sin embargo debe tenerse en cuenta que algunos cultivos pueden ser sensibles a los contenidos de hierro.

De acuerdo con lo descrito en el presente aparte, las recomendaciones de manejo de agua se pueden sintetizar de la siguiente manera:

- el agua cruda antes de ser utilizada en el proceso necesita un tratamiento de desinfección mediante cloración,
- el agua residual proveniente del lavado de los rizomas necesita una remoción de los sólidos procedentes de las partículas de suelo mediante sedimentación y eventualmente mediante filtración,
- el agua residual proveniente del tamizado y lavado del almidón debe someterse a un proceso de desferrización, sin embargo, por el alto costo que esto implica, se recomienda aprovecharla para regar los cultivos próximos, evitando regar siempre en un mismo sitio para no generar acumulaciones de hierro que eventualmente podrían afectar el desarrollo de las plantas.

En la Figura 41 se presenta un esquema del sistema de reciclado y recirculación recomendado

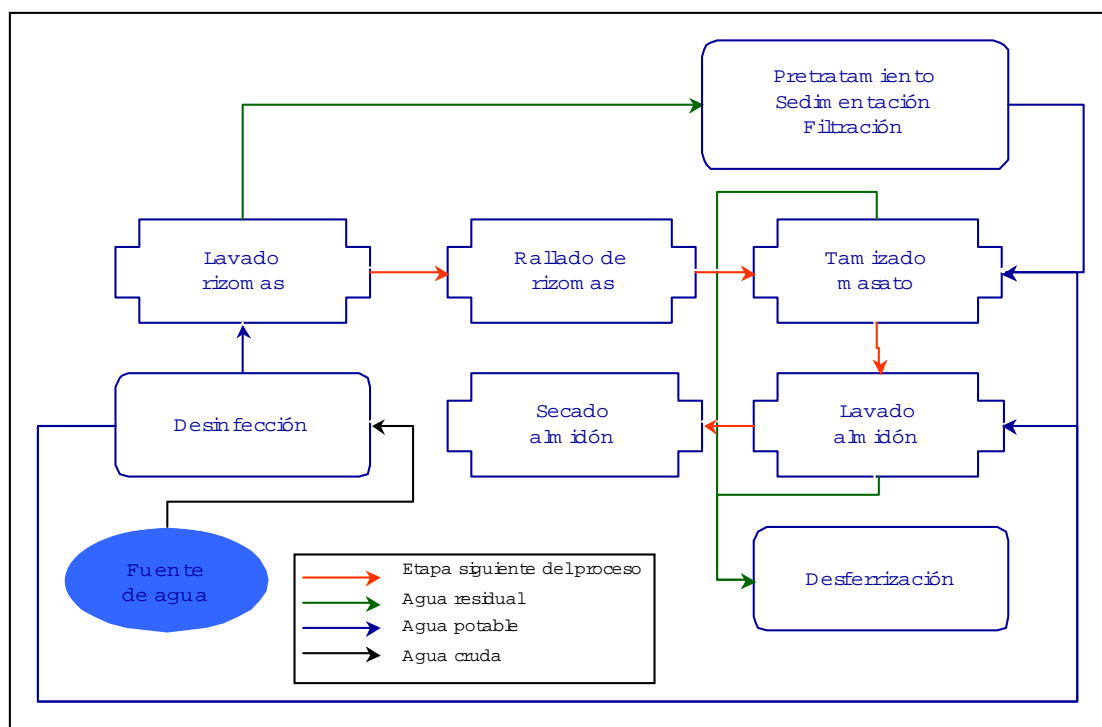


Figura 41. Sistema de reciclado y recirculación de las aguas residuales

6.13. RENDIMIENTOS DE PROCESO ALCANZADOS.

Una de las metas de ejecución de este proyecto era lograr el incremento de las tasas de conversión de las materias primas en almidón y harina. A continuación se hace un análisis de la eficiencia alcanzada en cada uno de los procesos evaluados a nivel de Planta de pruebas en Tibaitatá, utilizando los equipos diseñados.

6.13.1. Extracción de almidón de achira

En la producción del almidón de achira se alcanzó una tasa media de extracción de 15.2 kg de almidón por 100 kg de rizoma, con una humedad de 17.1%. Este valor es equivalente a 11.9 kg de almidón, sin ningún contenido de humedad. En la figura 42 se presenta el balance de masa del proceso de extracción del almidón de achira.

Al comparar el valor de almidón seco respecto al contenido de almidón (de composición) de los rizomas que en promedio es de 19.7 kg/ 100 kg de rizoma, se puede calcular que las pérdidas de almidón en el proceso son de 7.8 kg / 100 kg de rizoma y que el nivel de eficiencia en la extracción de almidón fue del 60.4%. Esto quiere decir que del total del almidón de composición de los rizomas se extrae el sesenta por ciento.

Las mayores pérdidas se presentan en la operación de tamizado, pues la mayor parte del almidón se queda en el afrecho. Sin embargo, las pérdidas se pueden originar en la fase de rallado, pues no se logra desmenuzar suficientemente el material y buena parte del almidón no es liberado y queda atrapado en la estructura celular de los trozos de rizoma. Futuros trabajos de investigación deberán ensayar con mayor profundidad los sistemas de licuado de los rizomas, para lograr una mayor liberación de almidón.

6.13.2. Extracción de almidón de arracacha

En la producción del almidón de arracacha se alcanzó una tasa media de extracción de 13.8 kg de almidón por 100 kg de rizoma, con una humedad de 15.2%. Este valor es equivalente a 11.9 kg de almidón con cero contenido de humedad. En la figura 43 se presenta el balance de materia del proceso.

Al comparar el valor de almidón seco respecto al contenido de almidón de composición de los rizomas, que en promedio fue de 20.4 kg/ 100 kg de rizoma, se puede calcular que las pérdidas de almidón en el proceso son de 9.3 kg / 100 kg de rizoma y que el nivel de eficiencia en la extracción de almidón es del 54.4%.

Las mayores pérdidas se presentan en las operaciones de tamizado y de lavado, pues la mayor parte del almidón perdido se queda en el afrecho y en el agua de lavado. Vale anotar que la sedimentación del almidón es muy lenta, pudiéndose demorar hasta 36 horas, para lograr una compactación en el fondo del recipiente. Futuros trabajos de investigación deberán ensayar con mayor profundidad los sistemas de sedimentación del almidón.

6.13.3. Extracción de almidón de ñame

En la producción del almidón de ñame espino se alcanzó una tasa media de extracción de 15.9 kg de almidón por 100 kg de tubérculos, con una humedad de 15.0%. Este valor es equivalente a 12.8 kg de almidón con cero contenido de humedad. En la figura 44 se presenta el balance de materia del proceso.

Al comparar el valor obtenido en almidón completamente seco respecto al contenido de almidón de composición de los tubérculos, que en promedio fue de 25.4 kg/ 100 kg de tubérculos, se puede calcular que las pérdidas de almidón en el proceso son de 12.6 kg / 100 kg de tubérculos y que el nivel de eficiencia en la extracción de almidón es del 50.4%.

Las mayores pérdidas se presentan en las operaciones de tamizado y de lavado, pues la mayor parte del almidón perdido se queda en el afrecho y en el agua de lavado. Vale anotar que la

sedimentación del almidón es lenta, pudiéndose demorar hasta 24 horas, para lograr una compactación en el fondo del recipiente. En este caso los futuros trabajos de investigación deberán ensayar con sistemas de licuado de los tubérculos y mejorar los sistemas de sedimentación del almidón.

6.13.4. Elaboración de harina de arracacha

En el proceso de elaboración de la harina de arracacha se alcanzó una tasa media de conversión de 25.2 kg de harina por 100 kg de rizoma, con un contenido de humedad en la harina del 12%. Este valor es equivalente a 22.2 kg de harina con cero contenido de agua. En la figura 45 se presenta el balance de materia del proceso.

En este caso la eficiencia de conversión es del 77.6%, teniéndose pérdidas principalmente en la fase de lavado de rizomas, donde hay desprendimiento de la cutícula o “muzago” que recubre los rizomas y en la fase de molienda de algún material grueso o “ripio” que es separado al tamizar la harina.

En este caso las pérdidas se pueden disminuir fácilmente si se hace repase de estos materiales por el molino hasta lograr el tamaño de gránulo deseado.

6.13.5. Elaboración de harina de ñame

En el proceso de elaboración de la harina de ñame espino se alcanzó una tasa media de conversión de 26.3 kg de harina por 100 kg de tubérculos, con un contenido de humedad en la harina del 12.2%. Este valor es equivalente a 23.1 kg de harina con cero contenido de agua. En la figura 46 se presenta el balance de materia del proceso.

En este caso la eficiencia de conversión es del 76.2%, teniéndose pérdidas principalmente en la fase de lavado de tubérculos, por la eliminación de la corteza que los recubre y en la fase de molienda de algún material grueso o “ripio” que es separado al tamizar la harina.

También en este caso las pérdidas se pueden disminuir fácilmente si se hace repase de estos materiales por el molino hasta lograr el tamaño de gránulo deseado. Además la corteza puede ser aprovechada cuando se trate de harinas con destino a la alimentación animal.

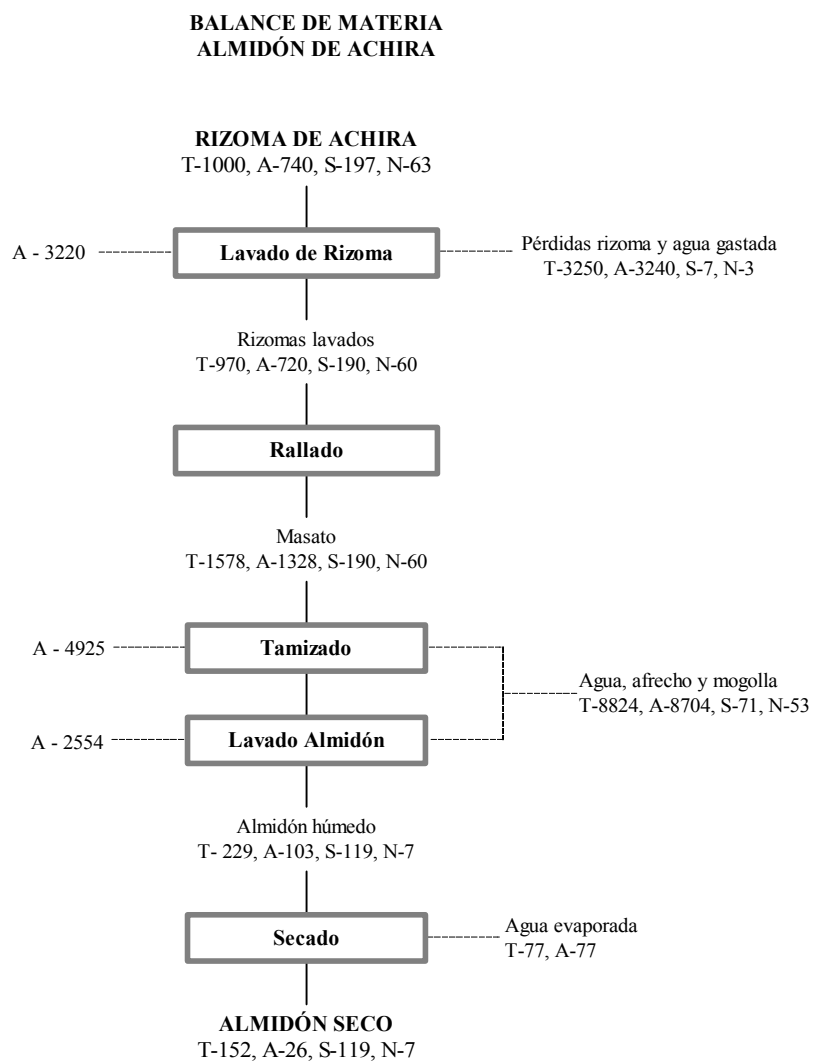


Figura 42. Balance de masa del proceso de almidón de achira, basado en 1000 kg de rizomas.
(T= masa total del flujo, A= agua, S= almidón, N= compuestos no amiláceos).

**BALANCE DE MATERIA
ALMIDÓN DE ARRACHACHA**

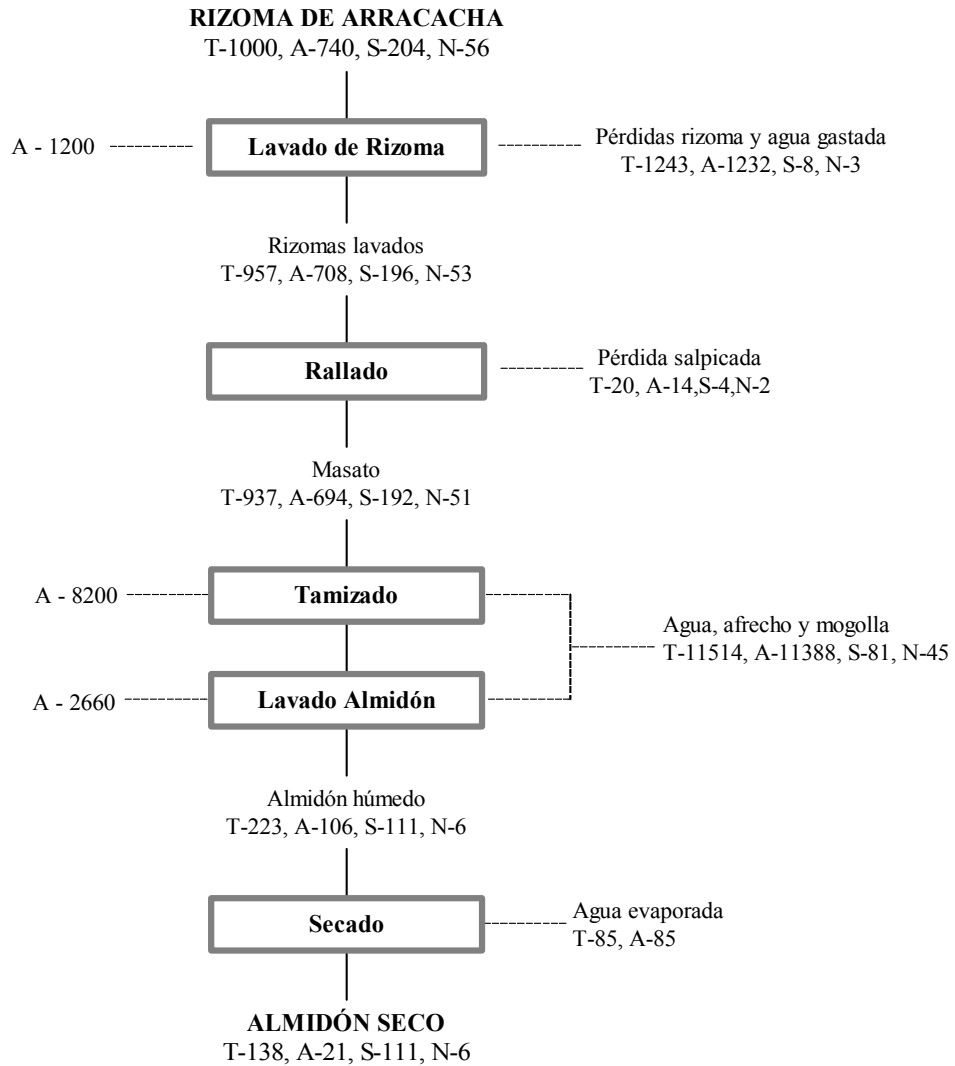


Figura 43. Balance de masa del proceso de almidón de arracacha, basado en 1000 kg de rizomas.
(T= masa total del flujo, A= agua, S= almidón, N= compuestos no amiláceos).

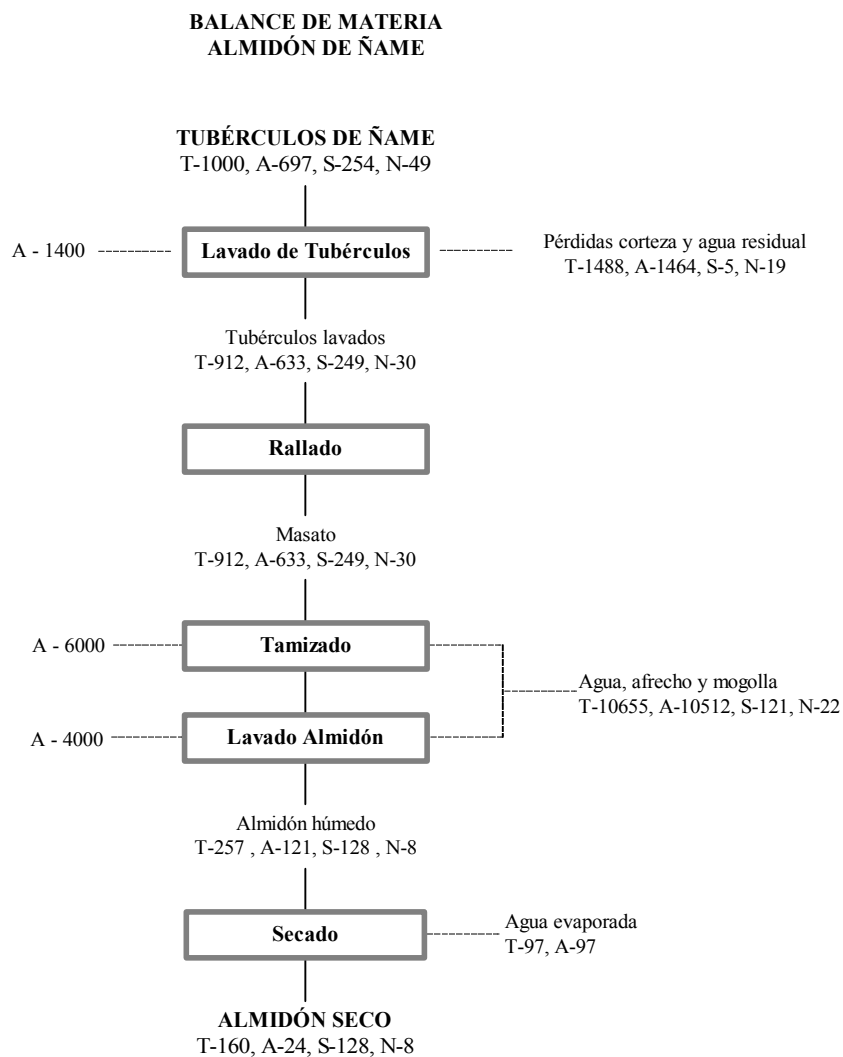


Figura 44. Balance de masa del proceso de almidón de ñame basado en 1000 kg de tubérculos.
(T= masa total del flujo, A= agua, S= almidón, N= compuestos no amiláceos).

**BALANCE DE MATERIA
HARINA DE ARRACHACHA**

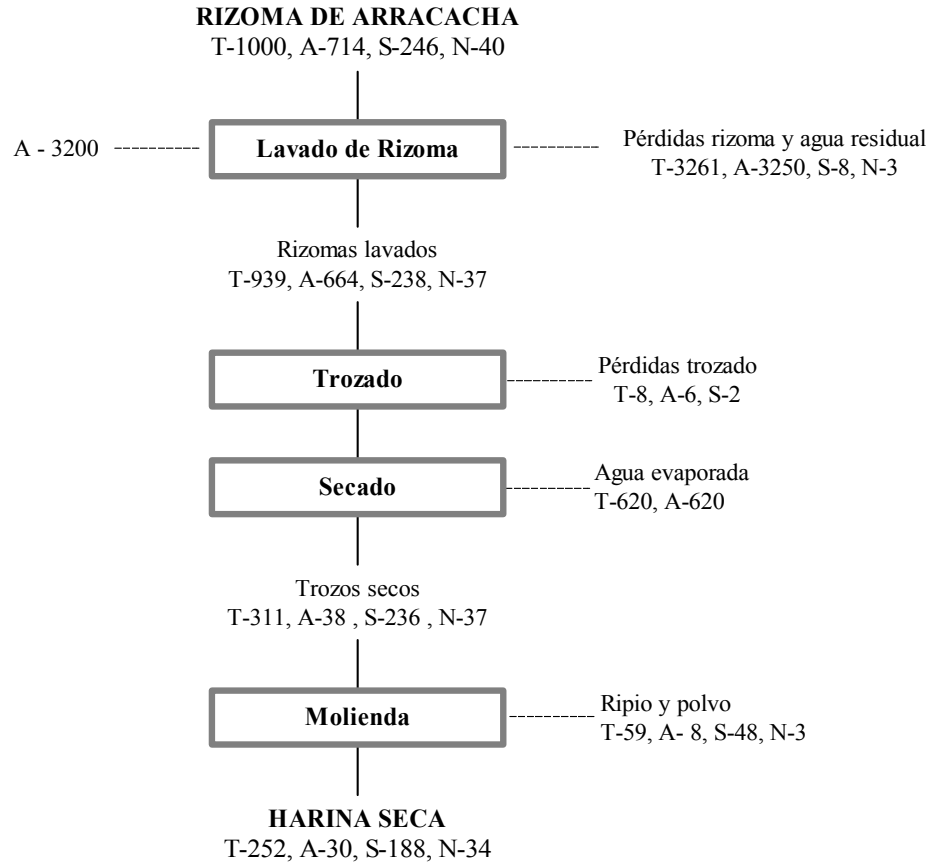


Figura 45. Balance de masa del proceso de harina de arracacha, basado en 1000 Kg. de rizomas.
(T= masa total del flujo, A= agua, S= almidón, N= compuestos no amiláceos).

**BALANCE DE MATERIA
HARINA DE ÑAME**

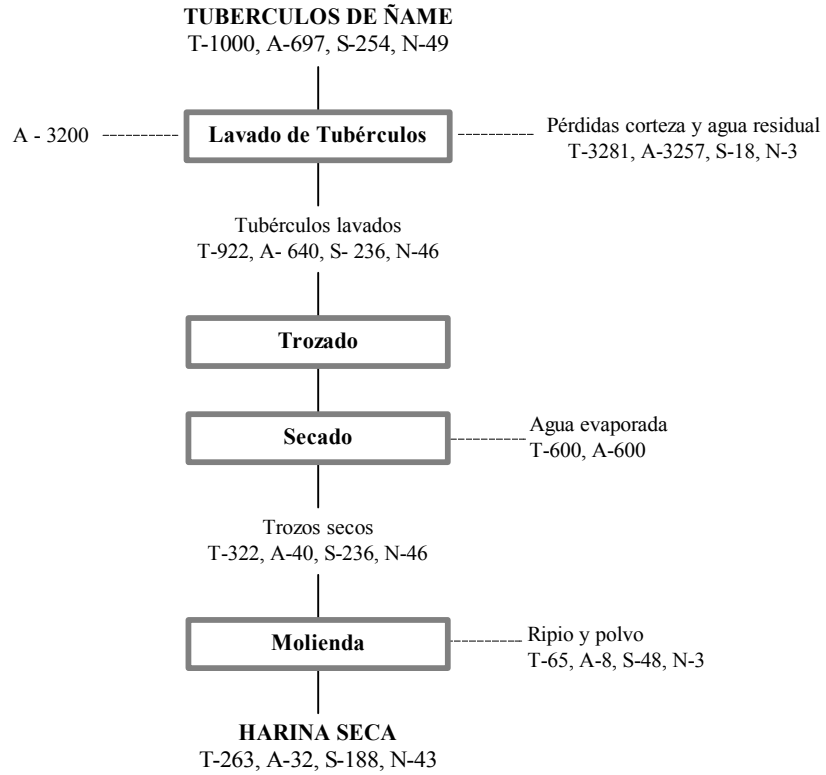


Figura 46. Balance de masa del proceso de harina de ñame, basado en 1000 kg de tubérculos.
(T= masa total del flujo, A= agua, S= almidón, N= compuestos no amiláceos).

7. ANÁLISIS ECONOMICO E IMPACTOS DE LA TECNOLOGÍA

El conjunto de prácticas recomendadas en la opción tecnológica propuesta para la producción de harinas y almidones a través de este proyecto, conlleva varios impactos en las dimensiones técnica, económica, social, ambiental e institucional.

7.1. IMPACTO TÉCNICO DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN DE ACHIRA

El análisis de la tecnología de producción del almidón de achira parte de la determinación de los cambios en la eficiencia de la recomendación tecnológica respecto a los parámetros evaluados en la producción tradicional del almidón en las regiones de oriente de Cundinamarca y de sur de Huila.

En la Tabla 35 se presentan los principales parámetros técnicos de producción para cada una de las regiones, el valor medio ponderado de las dos regiones, el valor obtenido con la tecnología recomendada y la variación porcentual de la tecnología recomendada respecto de la media ponderada o tecnología tradicional.

Cabe anotar que la media ponderada de la tecnología recomendada resulta de promediar los resultados de las 9 evaluaciones realizadas en las regiones productoras de Cundinamarca y Huila.

Tabla 35. Parámetros técnicos de la producción de almidón de achira en Cundinamarca y Huila respecto a la tecnología recomendada

| Concepto | Tecnología tradicional | | | Tecnología recomendada | Variación |
|--|------------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|
| | Cundinamarca | Huila | Media | | |
| Capacidad (kg rizoma día) | 1,184 | 444 | 855 | 3,000 | 250.9% |
| Capacidad (kg rizoma/h) | 148 | 55 | 107 | 375 | 250.9% |
| Conversión de rizomas en almidón | 12.6% | 12.0% | 12.4% | 15.2% | 22.1% |
| Rizomas por tonelada de almidón (t) | 7.95 | 8.33 | 8.03 | 6.58 | -18.1% |
| Producción de almidón (kg/día) | 149 | 53 | 106 | 456 | 328.5% |
| Producción de almidón (kg/h) | 19 | 7 | 13 | 57 | 328.5% |
| Requerimiento de trabajo (h-h/t) | 328 | 309 | 320 | 70 | -78.1% |
| Productividad trabajo (kg almidón/h-h) | 3.05 | 3.23 | 3.13 | 14.25 | 355.6% |
| Productividad de la tierra (kg rizoma/ha) | 20,000 | 22,000 | 20,500 | 20,500 | 0.0% |
| Productividad de la tierra (kg almidón/ha) | 2,517 | 2,640 | 2,552 | 3,116 | 22.1% |
| Días de trabajo al año | 120 | 120 | 120 | 120 | 0.0% |
| Producción anual en kg | 17,878 | 6,388 | 12,770 | 54,720 | 328.5% |
| Producción en 5 años en kg. | 89,388 | 31,938 | 63,852 | 273,600 | 328.5% |
| Area beneficiada (ha/año) | 7 | 2 | 5 | 18 | 250.9% |
| Ingreso neto anual (\$) | 5,750,116 | 2,340,647 | 4,199,676 | 35,501,429 | 745.3% |

Aumento en la capacidad de procesamiento: En primer término se observa que la recomendación tecnológica permite aumentar la capacidad de procesamiento de rizomas en más del 250%, al pasar de un valor medio de 107 kilogramos de rizoma por hora a 375 kg/h. Este cambio se origina básicamente en la introducción de operaciones mecánicas para el lavado de rizomas y el tamizado del almidón, labores que tradicionalmente se realizan en forma manual en ambas regiones. El aumento en la capacidad de procesamiento mediante la mecanización de operaciones, responde a una necesidad manifestada por los productores en términos de reducir el tiempo de trabajo necesario y el esfuerzo requerido tradicionalmente para la separación del almidón. Respondiendo a esa inquietud, los equipos para la Planta Piloto de San Agustín se diseñaron para una capacidad media de proceso de 3.000 kg de rizoma por día de trabajo de 8 horas.

Incremento de la tasa de extracción de almidón: Otro cambio importante provocado por la tecnología recomendada es el aumento en la eficiencia de extracción del almidón, al pasar de 12.4% la conversión de rizomas a almidón a un valor de 15.2%. Esto significa que los productores pueden obtener un 22% más de almidón a partir de la misma cantidad de rizomas, o lo que es equivalente, pueden ahorrar un 18% de materia prima para producir la misma cantidad de almidón. El aumento en la eficiencia de extracción se origina básicamente en el mejoramiento del rallo mecánico que permite trozar más adecuadamente los rizomas para la liberación del almidón y del sistema mecánico de tamizado que permite recuperar más cantidad de almidón de la masa rallada.

Aumento de la capacidad de producción de almidón: Por el efecto combinado del aumento en la capacidad de procesamiento de rizomas y de la eficiencia en la extracción del almidón, los productores pueden aumentar la producción diaria de almidón en más de 4 veces, al pasar de 106 kg de almidón por día de 8 horas a 456 kg/día. El cambio en la escala diaria de producción permite un mejor manejo de los tiempos disponibles para el trabajo, pues en períodos de cosecha del rizoma, como en Cundinamarca donde la producción es muy estacional, se pueden procesar más rápidamente los rizomas, adelantándose al período de lluvias, las cuales ocasionan que se baje el contenido de almidón de los rizomas aún sin cosechar

Incremento en productividad del trabajo: La introducción de operaciones mecánicas implica un incremento en la productividad de los operarios. Así, en el caso del proceso tradicional de extracción del almidón de achira la productividad media del trabajo es de 3,1 kg de almidón por hora-hombre (h-h), con la tecnología propuesta se logran 14,2 kg/h-h. El aumento en la productividad del trabajo también puede ser interpretado como una disminución del requerimiento de mano de obra por unidad de producto elaborado; vista de esta forma, la tecnología recomendada permite reducir hasta en 78% los requerimientos de trabajo en el proceso, sin embargo, es de esperar que ante las condiciones actuales de demanda insatisfecha por almidón de achira, el efecto neto de la tecnología tienda a aumentar la producción y el número de trabajadores vinculados a esta agroindustria.

Incremento en productividad de la tierra: Al considerar que el mismo cultivador de la achira es el que la procesa, el incremento en la tasa de extracción del almidón implica para el cultivador un incremento de la producción de almidón por unidad de área cosechada, al pasar de 2,5 t/ha en promedio, a 3,1 t/ha.

7.2. IMPACTO ECONÓMICO DE LA TECNOLOGÍA RECOMENDADA EN ALMIDÓN DE ACHIRA

Para determinar los impactos económicos de la opción tecnológica propuesta se estableció el costo de la inversión requerida y los costos de producción del almidón. En la Tabla 36 se presentan los costos de inversión en las máquinas e infraestructura recomendadas, valoradas a precios de abril de 2003.

Tabla 36. Costo de la inversión requerida para la introducción de la tecnología recomendada en la producción del almidón de achira

| Concepto | Valor (\$) |
|--|-------------------|
| Lavadora con motor de 2 HP a 1200 rpm | 3,000,000 |
| Ralladora con motor de 3 HP a 3600 rpm | 2,550,000 |
| Tamiz con motor de 2HP a 1200 rpm | 5,000,000 |
| Artesas 3 en acero inoxidable | 1,350,000 |
| Secadero con cubierta plástica, 100 m2 | 2,000,000 |
| Total equipos | 13,900,000 |
| Adecuación de infraestructura | 7,000,000 |
| Inversión Total | 20,900,000 |

Nota: inversión valorada a precios de abril de 2003

El valor total de la inversión para una planta de proceso con capacidad de 3 toneladas de rizoma al día es cercano a veintin millones de pesos, de los cuales cerca del 66% corresponde al valor de los equipos y el resto al costo de adecuación de la infraestructura para su montaje. Cabe resaltar que todos los equipos son construidos en acero inoxidable en las partes que entran en contacto con el almidón, dando así cumplimiento a las normas vigentes para la producción de alimentos.

En la Tabla 37 se presentan los costos comparativos de extracción del almidón de achira, bajo las condiciones tradicionales de producción y utilizando la tecnología recomendada.

Tabla 37. Costos comparativos de producción de almidón de achira (\$/t de almidón)

| Concepto | Tecnología tradicional | | | Tecnología recomendada | Variación |
|---|------------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|
| | Cundinamarca | Huila | Total | | |
| Costo de materia prima | 613,680 | 599,382 | 620,356 | 508,013 | -18.1% |
| Costo de transporte de la materia prima | 31,790 | 33,338 | 32,135 | 157,895 | 391.3% |
| Costo de mano de obra | 492,210 | 463,763 | 479,567 | 105,263 | -78.1% |
| Empaque de almidón | 2,400 | 4,800 | 3,467 | 5,000 | 44.2% |
| Transporte de almidón | 8,000 | 24,000 | 15,111 | 15,111 | 0.0% |
| Energía | | | | 28,000 | |
| Costo de otros insumos | 2,124 | 3,099 | 2,557 | 2,557 | 0.0% |
| Costo servicio alquiler | 127,158 | 104,182 | 116,947 | | -100.0% |
| Costo de mantenimiento | | | | 18,500 | |
| Costo de administración | | | | 60,000 | |
| Costo de amortización de capital | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 50,877 | 4987.7% |
| Costo total | 1,278,362 | 1,233,564 | 1,271,140 | 951,217 | -25.2% |
| Valor de la producción | 1,600,000 | 1,600,000 | 1,600,000 | 1,600,000 | 0.0% |
| Utilidad neta | 321,638 | 366,436 | 328,860 | 648,783 | 97.3% |
| Relación beneficio/costo | 25.2% | 29.7% | 25.9% | 68.2% | 163.6% |
| Valor de la inversión | | | | 20,900,000 | |

Reducción de costos: El conjunto de recomendaciones tecnológicas permite reducir el costo de producción del almidón de achira en 25,2%, pasando de \$1.271/kg a \$951/kg. La disminución del costo unitario de producción en la tecnología recomendada se explica básicamente por el aumento en la productividad del trabajo y por el aumento en la tasa de extracción de almidón de los rizomas. Cabe anotar también que al manejar una mayor escala productiva a nivel de Planta Piloto algunos costos se incrementan como el transporte de rizomas hasta el sitio de proceso, los costos de administración, de mantenimiento de los equipos y de amortización del capital invertido.

Aumento de la utilidad neta: Suponiendo el mismo precio de venta del almidón producido bajo las condiciones tradicionales y del obtenido mediante la recomendación tecnológica, la reducción de costos de la recomendación tecnológica permite un incremento del 97% en la utilidad neta por cada kilogramo de almidón vendido, al pasar de \$329/kg a \$649/kg.

Incremento en productividad del capital: la relación beneficio/costo en la producción de almidón de achira se mejora al pasar de 25,9%, en promedio, a 68,2%.

Mejoramiento de la calidad: La implementación de recomendaciones de buenas prácticas de manufactura permite obtener un almidón con una adecuada calidad microbiológica, de color blanco y libre de impurezas. Esta calidad puede ser pagada con un precio superior hasta en un 25%. (de \$1.600/kg de almidón a \$2.000/kg). El mejoramiento de la calidad contribuye también a mejorar la competitividad y al posicionamiento del producto en el mercado.

7.3. IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LA PRODUCCIÓN DE HARINAS DE ARRACACHA Y ÑAME

En los casos de producción de harinas de arracacha y ñame no se tienen referentes comerciales de comparación, pues la tecnología desarrollada mediante el presente proyecto constituye una innovación que brinda alternativas de transformación para la valorización de la producción primaria de estas especies a nivel de agroindustria rural.

En la Tabla 38 se presenta un estimativo de la inversión requerida para el establecimiento de una Planta con capacidad de procesar una tonelada de arracacha al día. Se observa que el mayor costo está representado por la construcción de la infraestructura. Esta inversión puede ser menor en el caso de que se puedan adecuar construcciones ya existentes.

La Tabla 39 presenta los costos de producción de una tonelada de harina de arracacha. Se observa que la materia prima es la que tiene mayor participación dentro de la estructura de costos, sin embargo, como anteriormente se anotaba, la harina se puede producir a partir de los raíces no comercializables o de las cepas, en cuyo caso el costo de la materia prima corresponderá al costo de la recogida y el transporte desde el lote del cultivo hasta la planta de procesamiento. Sin embargo, para efectos del ejemplo, se ha tomado un valor de materia prima de \$200 por kilogramo, que corresponde a los precios bajos de la arracacha, de \$25.000 por carga de 125 kilogramos.

El costo de mano de obra se ha calculado considerando que el proceso puede ser manejado por cuatro personas, laborando ocho horas por día, durante cinco días a la semana y dedicándose dos trabajadores a las labores de recepción, lavado, trozado y molienda de la materia prima, y otros dos al manejo del material en el secado y a la clasificación, empaque y almacenamiento de la harina. El número de operarios puede disminuir a tres, de acuerdo con la habilidad que se gane en el manejo del proceso.

Los gastos de agua y energía eléctrica son estimados y pueden variar de acuerdo con la región. El costo del empaque se ha calculado para bolsas de polietileno biorientado, debidamente impresas con la información del producto y con presentación de 500 gramos de harina por unidad. Se ha estimado también un costo de transporte de \$30 por kilogramo de harina hasta el sitio de venta.

Tabla 38. Inversión requerida para el establecimiento de una Planta de elaboración de harina de arracacha con capacidad de 1 tonelada de raíces por día.

| Concepto | Costo (\$) |
|--------------------------------------|-------------------|
| Equipos | |
| Lavadora con motor eléctrico de 2 HP | 2,000,000 |
| Picadora con motor eléctrico de 2HP | 2,500,000 |
| Molino con motor eléctrico de 3 HP | 2,700,000 |
| Tamizadora manual | 200,000 |
| Selladora | 300,000 |
| Báscula de 100 kg | 100,000 |
| Balanza gramera | 200,000 |
| Total de equipos | 8,000,000 |
| Infraestructura | |
| Invernadero 105 m2 | 2,000,000 |
| Construcción de 50 m2 | 12,000,000 |
| Instalaciones y otros servicios | 3,000,000 |
| Total de Infraestructura | 17,000,000 |
| Total de la inversión | 25,000,000 |

Los costos de mantenimiento se han calculado como el 15% anual del valor total de los equipos y dividiendo este valor entre 57.5 toneladas de harina que se producirían al año. Los costos de depreciación se han calculado considerando una vida útil de 5 años para los equipos y de 10 años para las construcciones, con un valor de salvamento del 20% del valor inicial de la inversión y dividiendo el valor resultante entre las 57.5 toneladas que se producen anualmente. El costo del interés de la inversión se ha calculado como el 25% anual del valor total de la inversión, dividido entre la producción anual.

Tabla 39. Costo estimado de elaboración de una tonelada de harina integral de arracacha.

| Concepto | Cantidad | Unidad | Valor unidad | Valor total |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
| Costo de elaboración | | | | |
| Materia prima | 4,000 | kg | 200 | 800,000 |
| Transporte de la materia prima | 4,000 | kg | 12 | 48,000 |
| Mano de obra | 128 | horas | 2,000 | 256,000 |
| Energía | 533 | kw-hora | 210 | 112,000 |
| Agua | 10,180 | litros | 2.5 | 25,450 |
| Empaque | 2,000 | bolsas*500 g | 50 | 100,000 |
| Transporte harina | 1,000 | kg | 30 | 30,000 |
| Mantenimiento equipos | 1 | | 20,870 | 20,870 |
| Depreciación | 1 | | 45,913 | 45,913 |
| Interés del capital invertido | 1 | | 108,696 | 108,696 |
| Costo Total | 1,000 | kg | 1,547 | 1,546,928 |

Considerando los anteriores conceptos, se estima un costo total de producción de \$1,547 por kilogramo de harina. Al no considerarse sino el gasto de recogida y transporte del material para el proceso, el costo de producción de la harina es menor a \$800 por kilogramo. Se estima que el costo de producción de trozos secos de arracacha para alimentación animal puede estar entre \$220 a \$250/kg, pues en este caso, solo se tienen que realizar las operaciones de recogida, transporte, trozado y secado del material para su conservación.

El cálculo de la utilidad a obtener del proceso productivo depende del precio de venta de la harina en el mercado. Dado que no se conocen precios para este producto pero si su costo de producción, se puede estimar un precio que remunere adecuadamente la actividad productiva. Sin embargo en la fijación del precio de venta debe tenerse en cuenta que sea competitivo respecto al precio de otros productos de características similares, como féculas, harinas y/o almidones.

Desde el punto de vista de la remuneración al productor, se espera que el precio de venta le deje como mínimo un margen equivalente al 20 ó 30% de los costos incurridos en la producción. De esta forma, el precio de venta del productor estaría aproximadamente entre \$1850 y \$2000/kg de harina, dejándole una utilidad de \$303 a \$453/kg.

En el caso de harina de ñame espino, el procesamiento solo se justifica con precios de tubérculo por debajo de \$400 por kilogramo. En este caso, el costo de inversión en una planta con capacidad de procesamiento de 1 tonelada de tubérculos al día, es muy similar a la presentados para la Planta de arracacha, es decir 25 millones de pesos.(Tabla 40)

Tabla 40. Inversión requerida para el establecimiento de una Planta de elaboración de harina de ñame con capacidad de 1 tonelada de raíces por día.

| Concepto | Costo (\$) |
|--------------------------------------|-------------------|
| Equipos | |
| Lavadora con motor eléctrico de 2 HP | 2,000,000 |
| Picadora con motor eléctrico de 2HP | 2,500,000 |
| Molino con motor eléctrico de 3 HP | 2,700,000 |
| Tamizadora manual | 200,000 |
| Selladora | 300,000 |
| Báscula de 100 kg | 100,000 |
| Balanza gramera | 200,000 |
| Total de equipos | 8,000,000 |
| Infraestructura | |
| Invernadero 105 m2 | 2,000,000 |
| Construcción de 50 m2 | 12,000,000 |
| Instalaciones y otros servicios | 3,000,000 |
| Total de Infraestructura | 17,000,000 |
| Total de la inversión | 25,000,000 |

El costo de producción de una tonelada de harina de ñame espino, considerando un precio de \$200 por kilogramo de tubérculos no comercializables es de \$1.483.704 (Tabla 41). En este caso al considerar una ganancia del 30% para el productor, el precio de la harina sería de \$1.929/kg, lo cual le brindaría posibilidades de competir en el mercado con otras harinas y almidones.

Tabla 41. Costo estimado de elaboración de una tonelada de harina integral de ñame espino.

| Concepto | Cantidad | Unidad | Valor unidad | Valor total |
|--------------------------------|----------|--------------|--------------|------------------|
| Costo de elaboración | | | | |
| Materia prima | 3.802 | kg | 200 | 760.400 |
| Transporte de la materia prima | 3.802 | kg | 12 | 45.624 |
| Mano de obra | 122 | horas | 2.000 | 244.000 |
| Energía | 507 | kw-hora | 210 | 106.470 |
| Agua | 12.167 | litros | 3 | 30.418 |
| Empaque | 2.000 | bolsas*500 g | 50 | 100.000 |
| Transporte harina | 1.000 | kg | 30 | 30.000 |
| Mantenimiento equipos | 1 | | 19.837 | 19.837 |
| Depreciación | 1 | | 43.640 | 43.640 |
| Interés del capital invertido | 1 | | 103.315 | 103.315 |
| Costo Total | 1 | kg | | 1.483.704 |

Generación de valor agregado: En los casos de arracacha y ñame, la opción tecnológica propuesta brinda a los cultivadores la posibilidad de valorizar su producción mediante la elaboración de harinas y/o almidones. La harina de arracacha elaborada a partir de cepas y de rizomas no comercializables, permite una producción adicional de \$520.000/ha, en tanto que la producción de harina de ñame a partir de tubérculos no comercializables permite una producción adicional de \$235.000/ha.

7.4. IMPACTOS SOCIALES DEL PROYECTO

Capacitación: A través del proyecto se capacitó a cerca de 120 productores, 12 técnicos y 11 estudiantes sobre temas de tecnología para la valorización de especies promisorias de raíces y tubérculos.

Organización: Se fortalecieron dos grupos de productores, en dos diferentes regiones del país, mediante el establecimiento de sistemas de agroindustria rural, para el procesamiento de achira y arracacha.

Cooperación: Se logró integrar a otras instituciones como asociaciones de productores, alcaldías y Umatas para el establecimiento de los sistemas de proceso y las actividades de capacitación.

Posibilidad de encadenamiento con otros eslabones: En el caso de almidón de achira se establecieron contactos con panificadores e industriales interesados en la producción de almidón de buena calidad, los cuales podrán materializarse a través de los proyectos financiados por PADEMÉR que actualmente ejecuta CORPOICA en Cundinamarca, Huila y Tolima.

En el caso de las harinas de arracacha y ñame el proyecto propicia el encadenamiento de los productores campesinos con productores artesanales de panificados, dulces y alimentos típicos. Además el proyecto ha abierto la posibilidad de encadenamiento con la industria alimenticia de mediana y gran escala, para la utilización de las harinas y almidones como insumos en la elaboración de sus productos (snacks, panificados, sopas

7.5. IMPACTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO

Disminución de contaminación: Se establecieron recomendaciones para el aprovechamiento de los subproductos de cosecha (follaje y cepas) y de proceso (afrecho) para su utilización como abono o en alimentación animal. De igual forma se establecieron recomendaciones para el manejo de aguas residuales del proceso.

Reducción de requerimientos de agua: En el caso del proceso del almidón de achira la opción tecnológica permite reducir en 34% el consumo de agua, pasando de 112 litros por kilogramo de almidón a menos de 75 l/kg.

Tabla 42. Consumo de agua en la extracción del almidón de achira (litros/kg almidón)

| Parámetro | Antes | Ahora | Ahorro | Ahorro |
|---------------------------------|--------------|-------------|-------------|------------|
| Lavado de rizomas | 26.9 | 21.2 | 5.7 | 21% |
| Rallado de rizomas | 0 | 4 | -4 | |
| Tamizado del almidón | 57.6 | 32.4 | 25.2 | 44% |
| Lavado del almidón | 28.3 | 16.8 | 11.5 | 41% |
| Consumo total de proceso | 112.8 | 74.4 | 38.4 | 34% |

Conservación de la biodiversidad: El proyecto en su conjunto constituye una propuesta tecnológica para la conservación de especies autóctonas, de importancia regional o local, mediante el desarrollo de alternativas para su valorización económica.

7.6. IMPACTOS ORGANIZACIONALES E INSTITUCIONALES

Integración de productores: Los productores se integraron al proyecto mediante las actividades de evaluación de los procesos, la identificación de la problemática, el planteamiento de soluciones y su participación e interés en el establecimiento de los sistemas de procesamiento.

Integración de otras instituciones: Para la ejecución de las actividades de capacitación se contó con el apoyo de las Umatas para la convocatoria de los productores y la organización de los eventos. En el establecimiento de las Plantas Piloto se logró el aporte de las alcaldías para la adecuación de la infraestructura y servicios y de las asociaciones de productores en San Agustín y Cajamarca, los terrenos, mano de obra propia y algunos materiales locales para la construcción y adecuación de la infraestructura.

Consecución de nuevos recursos financieros: Durante la ejecución del proyecto CORPOICA formuló dos nuevos proyectos a PADEMÉR, los cuales fueron aprobados y están en ejecución para el fortalecimiento de los microempresarios de la achira en Cundinamarca y Huila-Tolima, y los cuales permiten difundir los resultados del proyecto PRONATTA. Se logró el financiamiento de ONUDI para la caracterización de la minicadena agroindustrial de la achira en Colombia y para la compilación de la tecnología disponible en el procesamiento de achira. Por último se formuló un proyecto para continuar con el desarrollo de tecnología de proceso de arracacha, achira y jícama, el cual actualmente está en consideración de FONTAGRO.

Conformación de un equipo interdisciplinario: Para realizar las actividades de investigación y transferencia de la tecnología se conformó un equipo profesional con investigadores de CORPOICA y consultores externos, del cual hacen parte 3 ingenieros agrónomos, 4 ingenieros agrícolas, 1 ingeniero mecánico, 1 ingeniera química, 1 licenciada en química, 1 ingeniera ambiental, 1 zootecnista, 1 tecnóloga en alimentos y 1 economista agrario. Además se integraron estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad Distrital, de ingeniería química de la U. De América e ingeniería de alimentos de la U. De la Salle. Este equipo continuará trabajando en la formulación y ejecución de proyectos relacionados con el tema de la agroindustria rural.

Desarrollo de metodología para agroindustria rural: Durante la ejecución del proyecto se ha logrado sistematizar la experiencia investigativa, para la evaluación de la problemática en campo, la experimentación en laboratorio, el diseño y rediseño de equipos y la evaluación de su desempeño. Esta metodología podrá ser replicada en otros casos de desarrollo y ajuste de tecnologías mecánicas y de proceso para otras agroindustrias rurales.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE NUEVAS AREAS DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA

La producción de harina y almidones a partir de las especies de raíces y tubérculos investigados en el presente proyecto, constituyen alternativas factibles desde el punto de vista técnico que se han podido materializar comercialmente en los casos de almidón de Achira y harina de Arracacha. En el caso de la harina del Ñame Espino su viabilidad económica depende fuertemente del precio del tubérculo en el mercado.

Las máquinas diseñadas permiten a los productores aumentar su capacidad de producción y incrementar la eficiencia de extracción de almidón y de fabricación de harinas, lo cual en últimas mejora su competitividad en el mercado, al reducir significativamente los costos de producción. Desde el punto de vista de la calidad, la formulación del conjunto de recomendaciones de manufactura, permite a los productores de almidón de achira mejorar las características de composición, de calidad microbiológica y de presentación del producto; igualmente en el caso de las harinas de Arracacha y Ñame se ofrecen recomendaciones para obtener un producto de calidad para el consumo humano y para el consumo de animales, en forma de trozos secos.

Desde el punto de vista ambiental, la opción tecnológica desarrollada permite una significativa reducción de los requerimientos de agua para el procesamiento de la achira y ofrece alternativas para el aprovechamiento económico de los subproductos del cultivo y del proceso, como también recomendaciones para el adecuado manejo del agua utilizada en el proceso y de los efluentes resultantes.

Sin embargo, quedan aun muchos aspectos técnicos por resolver, pues si bien mediante este proyecto se ha logrado aumentar las tasas de extracción de almidón de achira, aun queda un buen porcentaje de almidón que puede ser recuperable utilizando métodos más sofisticados de extracción, sin embargo su viabilidad de aplicación debe ser evaluada estableciendo el costo de la tecnología versus la eficiencia lograda.

En el caso de la utilización de subproductos para la alimentación animal es necesario realizar estudios in vivo con diferentes especies, evaluando su digestibilidad y asimilación efectiva, lo cual permitirá brindar conclusiones acerca de su viabilidad económica para su implementación a nivel de las unidades campesinas. En el caso de los afrechos resultantes del proceso de extracción de los almidones, es necesario evaluar otras alternativas de uso como por ejemplo la elaboración de papel tipo artesanal, la fabricación de cartones y su uso como sustrato para la producción de hongos o de abonos orgánicos.

Desde el punto de vista comercial, se requiere continuar con los procesos de contacto con la industria especialmente para las harinas y almidones de Arracacha y Ñame. Para esto será necesario la participación activa de los productores en forma asociada para negociar con los posibles compradores. De hecho las comunidades que han participado en este proyecto tienen grandes expectativas sobre este aspecto y están dispuestas a participar en procesos conjuntos con entidades de apoyo para lograr posicionar estos nuevos productos en el mercado.

Particularmente el grupo de señoras productoras de Arracacha en Cajamarca organizadas en Aracatol, mostró un gran interés en desarrollar proyectos productivos de alimentos elaborados a partir de la harina integral de Arracacha. Se considera pertinente la estructuración de un proyecto en este sentido para lograr su cofinanciamiento.

De igual manera, con la comunidad de San Agustín se puede desarrollar un proyecto productivo en torno a la valorización de los subproductos del proceso de la achira, como por ejemplo la evaluación del uso del follaje en alimentación de bovinos y porcinos y del afrecho en la producción de papel artesanal.

En el caso del Ñame se puede aprovechar la existencia de plantas de secado de yuca en la región de la Costa Atlántica para la producción de Ñame seco o de harinas integrales en épocas en que los precios del Ñame estén deprimidos.

Por último, el proyecto ha desarrollado una metodología de investigación y transferencia tecnológica, con la participación de los actores beneficiarios, que puede ser replicada para la valorización de otras especies de raíces y tubérculos promisorios, como es el caso del bore, la malanga y la batata, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN M. y DUFOUR D. 1998. Almidón agrio de yuca en Colombia: producción y recomendaciones. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali - Colombia; Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Département d'amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique Montpellier, Francia. 35 p.
- ALARCÓN M. y DUFOUR D. 2001. Almidón agrio de yuca en Colombia: Planta procesadora: Descripción y planos de equipos. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali - Colombia; Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Département d'amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique Montpellier, Francia. 35 p.
- ARIAS S.; GARCÍA H.; GÉLVEZ D.; PULIDO J. 1998. Caracterización fisicoquímica y determinación de parámetros de calidad del almidón de achira. En: CORPOICA Almidón de Achira: Producción y usos en panificación industrial. Programa Nacional de Maquinaria y Poscosecha de Corpoica. Bogotá- Colombia. p. 51-61.
- AVELLA E. y GAONA F. 1996. Desarrollo Tecnológico para la Obtención del Almidón de Achira (Tesis). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá – Colombia. 279 p.
- CAICEDO, L. y TORRES F. 1996. Diseño y calculo de una planta móvil para la extracción y secado de almidón de achira para productos Ramo S.A. (Tesis). Fundación Universidad América. Bogotá – Colombia. 752 p.
- CERVERA, J. 1994. Montaje y operación de una planta de secado mixto de Yuca. Buen Pastor, Fundación de fomento agropecuario, Medellín – Colombia. 40 p.
- CORPOICA 1998. Almidón de Achira: Producción y usos en panificación industrial. Programa Nacional de Maquinaria y Poscosecha de Corpoica. Bogotá- Colombia. 112 p.
- CORPOICA - ONUDI 2001. Análisis socioeconómico y técnico de la minicadena agroindustrial de la achira. Bogotá - Colombia. 95 p.
- CORPOICA - ONUDI 2001. Establecimiento de recomendaciones tecnológicas preliminares para el mejoramiento de la extracción del almidón de achira a nivel de pequeñas agroindustrias rurales. Bogotá - Colombia. 50 p.
- CORPOICA - ONUDI 2001. Manual técnico del proceso de extracción del almidón de achira. Bogotá - Colombia. 54 p.
- CORTES S. 1997. Conservación de la arracacha amarilla (*Arracacia xanthorrhiza*) por congelación, empacado al vacío, enlatado y encerado. Universidad de la Salle. 122 p.
- GALINDO O. y RODRIGUEZ Y. 2000. Elaboración de pasta tipo Spaguetti mediante sustitución de almidón de achira a la sémola de trigo (Tesis). Universidad de la Salle. Bogotá – Colombia. 119 p.
- GALINDO, M. 2000. Optimización del proceso de obtención del almidón de sagú (*canna indica*), como estrategia sostenible en el desarrollo de actividades de agroindustria rural en diversas zonas de economía campesina colombianas (Tesis). Universidad Antonio Nariño, Bogotá – Colombia. 125 p.

- GALINDO M.; SOTO J.; CALDERINI E. 2002. Evaluación económica y financiera del proceso de extracción del almidón de achira con adopción de tecnologías apropiadas (Tesis). Universidad de los Andes. Bogotá - Colombia. 112 p.
- GAMBA H. y VILLANUEVA F. 1998. Paquete de capacitación de manejo post-cosecha y comercialización de la arracacha. Serie de paquetes de capacitación sobre manejo postcosecha de frutas y hortalizas. NRI – SENA – DFID. 279 p.
- GARCÍA H. y CAMACHO J. 1999. Desarrollo tecnológico para el beneficio de la achira en las zonas de economía campesina del Huila. CORPOICA. Bogotá – Colombia. 84 p.
- GELVES, D. y PULIDO J. 1998. Caracterización físico - química y establecimiento de parámetros de calidad, para el almidón de achira (*Canna Edulis Ker*) (Tesis). CORPOICA - Universidad de la Salle. Bogotá – Colombia. 128 p.
- HURTADO, J. 1997. Valorización de las amiláceas “no-cereales” cultivadas en los países andinos: Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de sus almidones y de la resistencia a diferentes tratamiento estresantes (Tesis). Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá - Colombia. 164 p.
- HURTADO J.; RODRÍGUEZ G.; DUFOUR D. 1997. Procesamiento de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*): Estudio de factibilidad técnica y económica para la producción de almidón y harina y de sus propiedades fisicoquímicas. En Seminario técnico sobre raíces y tubérculos autóctonos. Ibagué - Colombia. 26 p.
- HURTADO, J.; RODRÍGUEZ G.; DUFOUR D. 1997. Procesamiento de ñame (*Dioscorea alata*, D. .rotundata) Estudio de la factibilidad técnica y económica para la producción de almidón y harina y de sus propiedades fisicoquímicas. Seminario técnico sobre raíces y tubérculos autóctonos; Fotocopiado. 24 p.
- ICONTEC. 1989. Norma Técnica Colombiana No 3228, Industrias alimentarias: Almidón de Achira. Bogotá – Colombia.
- MONTAÑEZ, C. Y SALGUERO M. 1999. Estandarización de la formulación del bizcocho, bizcochuelo y galleta elaborados a partir del almidón de Achira (*Canna Edulis Ker*) (Tesis). Universidad de la Salle. Bogotá – Colombia. 116 p.
- PEÑA B. y PARDO C. 1999. Estudio de tecnología aplicada para la conservación de arracacha (*arracia xanthorrhiza*) por medio del secado y caracterización de su harina. Corpoica y Universidad de la Salle. Bogotá – Colombia.
- PIYACHOMKWAN K.; CHOTINEERANAT S.; KIJKHUNASATIAN C.; TONWITOWAT R.; PRAMMANEE S.; OATES C.; SRIROTH K. 2002. Edible canna (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. *Industrial Crops and Products* an International Journal. www.elsevier.com/locate/indcrop, 11p.
- RAMÍREZ, E. 1997. Remoción de impurezas presentes en la obtención del almidón de achira. (Tesis). Universidad de América. Bogotá - Colombia. 130 p.
- REY H. y VANEGAS E. 2000. Obtención de una bebida láctea con almidón de achira y pulpa de fruta (Mora, Guayaba). Universidad de la Salle. Bogotá - Colombia. 96 p.
- RODRÍGUEZ, G. 1998. Análisis económico del cultivo de achira y de la obtención de su almidón en los departamentos de Cundinamarca y Huila. En: CORPOICA. Almidón de Achira: Producción y usos en panificación industrial. Programa Nacional de Maquinaria y Poscosecha de Corpoica. Bogotá- Colombia. 37 p.

RODRÍGUEZ, G. 1999. Aspectos Generales de Algunas Especies Promisorias de Raíces y Tubérculos en Colombia (Arracacha, Achira, Ulluco, Ibia, Cubio Y Ñame). CORPOICA. Fotocopiado. Bogotá- Colombia. 36 p.

SÁNCHEZ C. y HERNÁNDEZ L. 1999. Descripción de Aspectos Productivos de Poscosecha y de Comercialización del Ñame en Córdoba, Sucre Y Bolívar. CORPOICA y Universidad de Sucre. Fotocopiado. 15 p.

WHEATLEY C.; SCOTT G.; BEST R.; WIERSEMA S. 1997. Métodos para agregar valor a raíces y tubérculos alimenticios, manual para el desarrollo de productos. CIAT. Cali – Colombia. 187 p.