

PROYECTO **MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL**

—
**PRODUCCIÓN,
PROCESAMIENTO, USOS
Y COMERCIALIZACIÓN
DE MANDIOCA**

CUADERNO TECNOLÓGICO N° 22

Autores:

**Johanna Aristizábal
y Fernando Calle**

Consultores expertos de la **Corporación
CLAYUCA**, Colombia, provistos en el marco
del contrato con Eptisa de España

Noviembre de 2015



INTI



Unión Europea



PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL



Unión Europea

Delegación de la Comisión Europea en Argentina
Ayacucho 1537
Ciudad de Buenos Aires
Teléfono (54-11) 4805-3759
Fax (54-11) 4801-1594



INTI



Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490
Fax (54 11) 4752 5919

www.ue-inti.gob.ar

CONTACTO

Información y Visibilidad: Lic. Gabriela Sánchez
gabriela@inti.gob.ar

PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

—
**PRODUCCIÓN,
PROCESAMIENTO, USOS
Y COMERCIALIZACIÓN
DE MANDIOCA**

CUADERNO TECNOLÓGICO N° 22

Autores:
**Johanna Aristizábal
y Fernando Calle**

Consultores expertos de la **Corporación CLAYUCA**,
Colombia, provistos en el marco del contrato con
Eptisa de España

Noviembre de 2015



INTI



Unión Europea

| | |
|--|-----------|
| 1. PRESENTACIÓN | 5 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 7 |
| 3. LA MANDIOCA | 9 |
| 3.1 Morfología de la mandioca..... | 10 |
| 3.2 Deterioro fisiológico y microbiano..... | 11 |
| 3.3 Factores que inciden en el deterioro de las raíces..... | 12 |
| 3.4 Liberación de ácido cianhídrico en mandioca..... | 13 |
| 4. VARIEDADES | 15 |
| 5. FENOLOGÍA DEL CULTIVO | 17 |
| 5.1 Fenología de la raíz..... | 17 |
| 5.1.1 Fase de enraizamiento..... | 17 |
| 5.1.2 Fase de tuberización..... | 18 |
| 5.1.3 Fase de engrosamiento..... | 18 |
| 5.1.4 Fase de acumulación..... | 18 |
| 5.2 Fenología de la parte aérea..... | 18 |
| 5.2.1 Fase de establecimiento..... | 19 |
| 5.2.2 Fase de máxima actividad fisiológica..... | 19 |
| 5.2.3 Fase de maduración..... | 19 |
| 6. PRÁCTICAS AGRONÓMICAS | 20 |
| 6.1 Material de siembra (calidad y bancos de semilla)..... | 20 |
| 6.2 Preparación del suelo..... | 21 |
| 6.3 Siembra..... | 22 |
| 6.4 Fertilización y diagnóstico de la fertilidad de los suelos..... | 23 |
| 6.5 Control de malezas..... | 23 |
| 6.6 Manejo integrado de plagas (MIP)..... | 24 |
| 6.7 Manejo integrado de enfermedades..... | 25 |
| 6.8 Cosecha manual y mecanizada..... | 28 |
| 6.9 Cultivos asociados y rotación de cultivos..... | 29 |
| 7. PRODUCCIÓN Y COMERCIO INTERNACIONAL DE LA MANDIOCA | 31 |
| 7.1 Producción, área sembrada y rendimiento mundial de mandioca..... | 31 |
| 7.2 Producción de mandioca en Argentina..... | 33 |
| 7.3 Comercio internacional de mandioca..... | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 8. PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA MANDIOCA SEGÚN SU USO | 38 |
| 8.1 Estimación del contenido de materia seca..... | 39 |
| 8.2 Determinación del volumen específico..... | 41 |
| 8.3 Evaluación de la calidad culinaria..... | 42 |
| 9. TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN DE MANDIOCA | 44 |
| 9.1 Bolsas de polietileno..... | 44 |
| 9.2 Parafinado..... | 45 |
| 9.3 Refrigeración..... | 46 |
| 9.4 Congelación..... | 46 |
| 10. TECNOLOGÍAS DE PROCESAMIENTO DE MANDIOCA | 48 |
| 10.1 Precocción..... | 48 |
| 10.2 Fritura..... | 49 |
| 10.3 Horneado..... | 50 |
| 11. PRODUCCIÓN DE FÉCULA DE MANDIOCA | 52 |
| 11.1 Requisitos de calidad de la fécula de mandioca..... | 55 |
| 11.2 Usos de la fécula de mandioca..... | 57 |
| 12. PRODUCCIÓN DE HARINA DE MANDIOCA | 60 |
| 12.1 Requisitos de calidad de harina de mandioca..... | 60 |
| 12.2 Usos de la harina de mandioca..... | 61 |
| 13. PROCESAMIENTO DE MANDIOCA PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL | 63 |
| 13.1 Requisitos de calidad de la mandioca seca para consumo animal..... | 65 |
| 13.2 Manejo de raíces y follaje en forma fresca..... | 66 |
| 13.3 Secado de raíces y follaje de mandioca..... | 66 |
| 13.4 Ensilaje de raíces y follaje de mandioca..... | 67 |
| 13.5 Uso de subproductos de la extracción de fécula de mandioca en la alimentación animal..... | 69 |
| 13.6 Elaboración de bloques nutricionales..... | 69 |
| 13.7 Elaboración de productos de fermentación microbiana..... | 70 |
| 14. BIBLIOGRAFÍA | 71 |

1. PRESENTACIÓN

La Unión Europea y el INTI firmaron un convenio de financiación destinado a mejorar la competitividad de las miPyMEs del norte argentino acercando respuestas tecnológicas apropiadas al nuevo entorno productivo industrial. Los responsables de la ejecución del Proyecto "Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local" son el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en representación del Gobierno Nacional, y la Delegación de la Unión Europea en Argentina.

Durante más de medio siglo, el INTI ha construido capacidades profesionales e infraestructura tecnológica de relevancia, que lo posicionan hoy como actor importante para aportar innovación tecnológica aplicada a los procesos productivos de toda la economía y para el desarrollo de soluciones industriales, que incrementen la productividad y la competitividad de la industria nacional.

Con la ejecución de este proyecto, se busca acercar la tecnología y las capacidades técnicas a las regiones de menor desarrollo relativo del país, poniendo a disposición de las miPyMEs y Pymes los medios para satisfacer las demandas de mejora de eficiencia y calidad de sus productos y/o servicios, para dar un salto cualitativo en cada una de las provincias del NOA y NEA.

Por tanto, a través de un diagnóstico y evaluación de necesidades tecnológicas, hecho en articulación con los gobiernos provinciales, se diseñó un plan de acción sectorial que se implementará hasta el 2015, en cinco sectores industriales determinados como prioritarios: industrialización de alimentos, curtiembre, textil, y metalmecánica junto a la gestión medioambiental, como eje transversal a los sectores industriales anteriores.

El proyecto Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local surge como parte de las acciones de vinculación internacional del INTI, en donde la cooperación técnica con organismos públicos y privados del mundo -presentes en el campo tecnológico- favorecen el intercambio de conocimientos como elemento fundamental para el desarrollo industrial local.

En esa dirección, uno de los componentes de este proyecto es la convocatoria de especialistas en diversas temáticas, para cumplir con misiones de trabajo en nuestro país. El objetivo de cada misión es brindar capacitaciones específicas a técnicos de las provincias norteñas, de acuerdo con la especialidad de cada experto, a grupos de trabajo de Centros Regionales de Investigación y Desarrollo, así como a Unidades Operativas que conforman la red INTI, y brindar asistencia técnica a las miPyMEs que acompañen el desarrollo de las actividades del proyecto. Además, mantienen entrevistas con actores locales, quienes constituyen un recurso esencial y estratégico para alcanzar los objetivos planteados.

La publicación que se dispone a conocer ha sido concebida como resultado de una misión técnica de dos expertos intervinientes en este proyecto. Los expertos, al finalizar su trabajo en el país, elaboran un informe técnico con recomendaciones para el fortalecimiento del sector para el cual fue convocado y que da lugar a la presente producción, publicada con el propósito de divulgar los conocimientos a partir de las necesidades detectadas y los resultados del intercambio efectivo hecho en territorio, conjugando los basamentos teóricos con la realidad local.

Dra. Graciela Muset

DIRECTORA DEL PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

Este documento ha sido realizado con la ayuda financiera de la Comunidad Europea. Su contenido es responsabilidad exclusiva de Johanna Aristizábal y Fernando Calle y, en ningún caso, se debe considerar que refleja opinión oficial de la Unión Europea.

2. INTRODUCCIÓN

El convenio de cooperación internacional entre el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y la Unión Europea permitió la realización de la Misión Mandioca con el objetivo de mejorar la productividad y fortalecer la cadena de valor del cultivo de la mandioca en las regiones productoras del Noreste Argentino (NEA) formado por las provincias de Corrientes, Chaco, Formosa y Misiones.

Durante esta misión fueron capacitados en estas provincias en temas relacionados sobre producción, procesamiento, utilización y comercialización de mandioca, productores, cooperativas productoras de fécula de mandioca, representantes de miPyMEs del sector, así como técnicos de instituciones relacionadas con el sector agropecuario y agroindustrial, estudiantes y docentes de universidades de la región y emprendedores interesados en el cultivo de la mandioca. También se realizaron visitas de campo y talleres abiertos en lotes de cultivo de productores de mandioca y en plantas procesadoras de fécula para la identificación de limitantes actuales, donde se llevaron a cabo capacitaciones prácticas que permitieron formular sugerencias y recomendaciones para el mejoramiento de sus procesos.

La mandioca en la región del NEA representa un cultivo social con una fuerte identidad territorial y cultural, de gran importancia para la seguridad alimentaria y la generación de ingresos de pequeños productores familiares. El fortalecimiento de este cultivo en las economías regionales estimula la generación de nuevas investigaciones, técnicas y análisis para satisfacer las necesidades del mercado y, consecuentemente, realizar la transferencia de tecnología entre productores y procesadores para la mejora de los sistemas de producción y el desarrollo de productos de mayor valor agregado.

Las experiencias productivas de éxito de otros países productores de mandioca, quienes han alcanzado altos rendimientos del cultivo y altos niveles de competitividad a nivel mundial, deberán servir de modelo, junto con el aprovechamiento de las investigaciones realizadas por centros líderes en investigación de mandioca en Latinoamérica particularmente en el desarrollo de variedades mejoradas. Aquellas variedades han sido seleccionadas por su alta producción de materia seca, buen comportamiento en la evaluación agronómica y su adaptación y/o tolerancia a los principales problemas como plagas y enfermedades. Todo lo anterior, sirve de base para el mejoramiento de los sistemas de producción y el manejo sostenible del cultivo, y para el desarrollo de productos y procesos basados en tecnologías de agreguen valor y contribuyan al apoyo del potencial de la mandioca como motor del desarrollo económico en la región del NEA.

El desarrollo de nuevos productos derivados de mandioca y materias primas para la industria de procesamiento con destino al sector alimentario, tanto humano como animal y para el sector industrial, está siendo cada vez más amplio y diverso, lo cual ha consolidado en el mercado varios productos de mayor valor agregado. Las oportunidades para

agregar valor al cultivo de la mandioca se dan cuando es posible satisfacer las necesidades del mercado que están siendo cubiertas por otros productos u ofrecer propuestas de valor que la industria nunca ha ofrecido, generando diferenciación, atributos de calidad y funcionalidades que otros productos no ofrecen.

El propósito de este cuadernillo tecnológico es estimular a los productores y procesadores de mandioca a utilizar la información aquí contenida para mejorar sus procesos productivos, además de servir como una fuente de consulta para profesionales de instituciones dedicadas a la investigación de tecnologías agropecuarias e industriales del sector, con el objeto de que éstos puedan transferir los conocimientos y apoyar su adopción y aplicación entre productores y procesadores. Así como ser de interés, para investigadores de universidades y centros de investigación y desarrollo, quienes pueden facilitar el intercambio de conocimientos y fortalecer sus líneas de investigación para lograr nuevos avances en la investigación científica y tecnológica del cultivo.

Los temas descritos permiten al lector adquirir un completo conocimiento del cultivo de la mandioca desde sus características botánicas, morfológicas y nutricionales, descripción de la fenología del cultivo, manejo de plagas y enfermedades comunes que afectan a la mandioca en la región del NEA, incluyendo el uso de una herramienta de cosecha manual que facilita la extracción de las raíces y disminuye el esfuerzo físico de esta labor, hasta la definición de los requisitos para el establecimiento de bancos de semilla limpia para suministrar material de siembra de buena calidad, en forma continua y en las cantidades adecuadas. Se detalla información actualizada sobre la producción mundial y nacional de la mandioca, comercialización, tendencias de consumo y oportunidades de mercado. Se incluye una descripción de las tecnologías de conservación y procesamiento de productos derivados de la mandioca para la industria alimenticia y la definición de los parámetros de calidad según su uso. Se describen las tecnologías para la extracción de fécula y harina de mandioca a mediana escala, sus requerimientos de calidad y sus aplicaciones. Finalmente, se presenta la composición nutricional, particularmente, el aporte de proteína y energía, de productos y subproductos de mandioca destinados a la alimentación animal y diferentes alternativas de su uso para lograr el aprovechamiento integral de este cultivo.

El contenido de este cuadernillo técnico se basó en información recopilada de experiencias obtenidas en la Corporación CLAYUCA, en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) e información técnica disponible. Al final, se presenta una selecta bibliografía que facilitará a los interesados profundizar en los aspectos de mayor interés.

3. MANDIOCA

La mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) es una planta monoica que pertenece a la clase Dicotyledoneae, familia Euphorbiaceae, género *Manihot* y, de alta eficiencia en la producción de carbohidratos, convirtiéndose en la cuarta fuente energética en el mundo, después del arroz, la caña de azúcar y el maíz. Sus raíces son de gran utilidad en la alimentación humana (mercado fresco, harina, fécula), alimentación animal (complemento en alimentos balanceados para aves, cerdos y rumiantes) y es empleada como materia prima en la industria para la elaboración de una gran variedad de productos, entre los que se destacan almidones modificados, alcohol, adhesivos, aprestos, aglutinantes, edulcorantes, bioplásticos entre otras aplicaciones industriales.

La planta de mandioca se siembra entre los 30° de latitud norte y los 30° de latitud sur, cubriendo zonas tropicales y subtropicales, desde el nivel del mar hasta los 2000 metros, temperatura entre 20-30 °C con un óptimo de 24 °C, humedad relativa entre 50 y 90% con un óptimo de 72%, precipitación anual entre 600 y 3000 mm o más, con un óptimo de 1000 a 1800 mm/año.

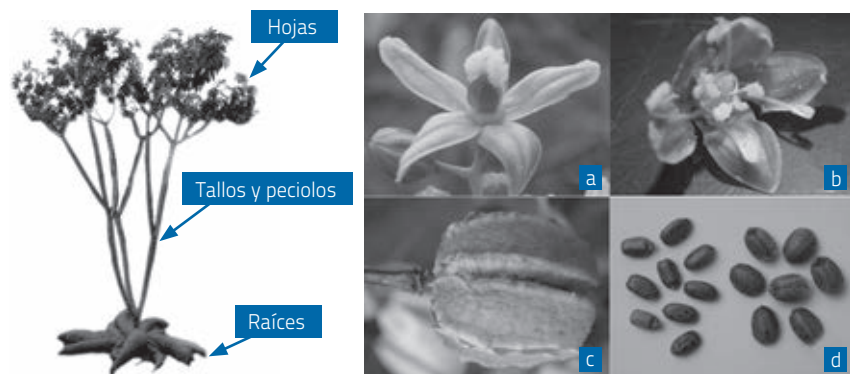
Se adapta muy bien a condiciones marginales de suelos ácidos y de baja fertilidad. Es muy resistente a condiciones de sequía, especialmente en regiones con distribución modal y con veranos prolongados. Tiene gran capacidad de almacenamiento y aprovechamiento de agua. Sin embargo, no tolera inundaciones o humedad excesiva ni condiciones salinas del suelo. Crece muy bien en suelos con texturas medias como los suelos francos o franco arenosos y con altos niveles de aluminio, donde el sistema radical se desarrolla muy bien y la parte aérea de la planta tiene mayor vigor.

El cultivo posee mecanismos fisiológicos de adaptación para resistir períodos largos de estrés de agua: disminución de lámina foliar y lóbulos, cierre de estomas, disminución de la transpiración, disminución en la absorción de nutrientes, su sistema radical fibroso profundiza hasta más de 2 metros en busca de agua y la toma eficientemente [1].

Al cultivo de la mandioca se le ha considerado siempre como cultivo de "subsistencia" y, generalmente, se siembra en suelos marginales, siendo escaso o nulo el empleo de tecnología o prácticas agronómicas adecuadas. Los sistemas tecnificados incluyen: selección de variedades con alto potencial de rendimiento y adecuada resistencia y tolerancia a los problemas bióticos y abióticos de cada región, una óptima preparación del terreno, adecuada densidad de siembra, semilla vegetativa con buena calidad fisiológica y sanitaria, fertilización con criterios modernos basados en el conocimiento de la extracción de nutrientes del suelo por la mandioca, eficiente manejo integrado de malezas, plagas y enfermedades.

3.1 MORFOLOGÍA DE LA MANDIOCA

Las principales partes de la planta madura representan en promedio 50% raíces, 40% tallos y pecíolos y 10% hojas. Estas proporciones son afectadas por la variedad y las condiciones del suelo y el ambiente. Las raíces almacenan almidón y representan la parte de mayor valor económico de la planta. Los tallos sirven como semilla para la multiplicación vegetativa del cultivo. Las hojas, formadas por la lámina foliar y el pecíolo, tienen forma palmada y profundamente lobulada y son fuente de proteína, fibra, minerales y vitaminas. El número de lóbulos, por lo general impar, varía entre 3 y 9, dependiendo de la variedad.



Planta de mandioca

a) Flor femenina; b) flor masculina; c) fruto; d) semillas de mandioca.

La mandioca es una planta monoica porque tiene en la misma planta flores femeninas y masculinas. La floración depende de las condiciones ambientales; no todas las variedades florecen y existe variabilidad entre el tiempo de floración y la cantidad de flores. La polinización de la mandioca es cruzada y se realiza generalmente por la acción de los insectos. El fruto es de forma ovoide o globular de 1-1,5 cm de diámetro, con seis aristas longitudinales, estrechas y prominentes; el cual madura al cabo de 3 a 5 meses. Las semillas, contenidas en el fruto, son de forma ovoide-elipsoidal, lisa y de color café oscuro con moteado gris y miden aproximadamente 10 mm de largo, 6 mm de ancho y 4 mm de espesor, tamaño que puede variar dependiendo de la especie [2].

Las raíces de mandioca pueden tener formas y tamaños muy variables, características que dependen de la variedad y de las condiciones edafoclimáticas del cultivo. Las raíces pueden ser cilíndricas, fusiformes o cónicas o combinación de éstas. Los tejidos que componen la raíz de mandioca son la cascarilla, la corteza, la pulpa y las fibras centrales. La cáscara está formada por la cascarilla y la corteza. La primera de color blanco o crema, café claro o marrón oscuro puede ser rugosa o lisa. La segunda de color blanco, crema, rosado o morado tiene un espesor entre 1-2 mm. La pulpa de color blanco o amarillo (alto contenido de carotenos) es el mayor tejido de la raíz (80-85%) donde se almacenan los carbohidratos.

En el centro de la raíz están las fibras centrales cuya dureza, longitud y anchura depende de la variedad y están influenciadas por las condiciones climáticas y el proceso de desarrollo que haya sufrido la planta.



Diferentes formas, tamaños y color de cascarilla
Componentes de una raíz de mandioca.

Componentes de una raíz de mandioca.

La raíz de la mandioca tiene una composición promedio de 60 – 70% de agua, 30 – 35% de carbohidratos, 0,2- 0,6 % de extracto etéreo, 1- 2% de fibra cruda y proteína. Contiene calcio, fósforo y vitamina C y una significativa cantidad de tiamina, riboflavina y niacina. De la fracción de carbohidratos, 80% son almidones y 20% azúcares (sacarosa, maltosa, glucosa y fructosa) y amidas. La raíz también contiene polifenoles involucrados en el proceso de deterioro fisiológico y taninos presentes en baja concentración en la pulpa y en mayor cantidad en la cáscara.

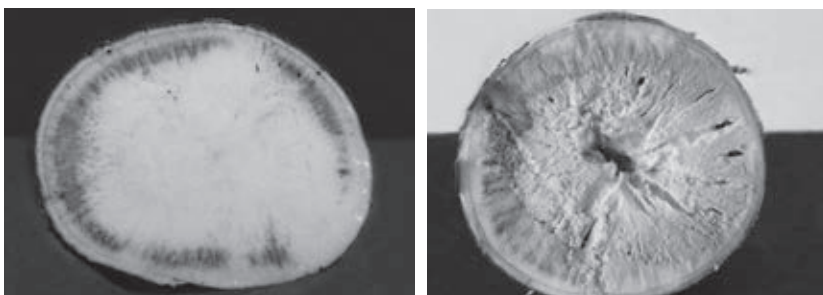
Las hojas frescas de mandioca contienen alrededor de 72% de agua, 10,6% de carbohidratos, 6,8% de proteína cruda, 5,8% de fibra cruda [3]. La calidad de esta proteína es comparable con la de la alfalfa (5,6%). Tienen más del doble de proteína que los tallos y son más ricas en caroteno, calcio y fósforo. El nivel de proteína en las hojas varía dependiendo de la variedad, la edad, la época de la cosecha, el suelo y la proporción entre hojas y tallos. Además, las hojas tienen una cantidad importante de ácidos grasos esenciales, xantofilas y pigmentos.

3.2 DETERIORO FISIOLÓGICO Y MICROBIANO

La mandioca puede sufrir dos tipos de deterioro uno fisiológico y otro microbiano, cuya aparición está relacionada con la presencia de daños físicos en las raíces, tales como heridas o golpes, ocasionados al momento de la cosecha, lo que conlleva a que las raíces queden expuestas a la acción del oxígeno del aire y a la actividad de microorganismos del ambiente. El deterioro puede ser reducido con el uso de buenas prácticas agrícolas en la

cosecha que eviten los daños físicos de las raíces o con el uso de técnicas de almacenamiento y conservación, esto permite disminuir las pérdidas poscosecha del cultivo dado que las raíces sanas permanecen sin deteriorarse por un mayor periodo de tiempo.

El deterioro fisiológico aparece a los dos días después de la cosecha y se da por la presencia de oxígeno en la raíz, lo cual desencadena una serie de reacciones enzimáticas. Se evidencia como una desecación blanco a café, con aparición de zonas con estrías azul-negras, que normalmente aparecen en forma de anillo en la periferia de la pulpa. Esta coloración se debe a la presencia de pigmentos de taninos, específicamente de un compuesto fenólico llamado escopoletina cuya concentración aumenta a medida que avanza el tiempo después de la cosecha [4].



Deterioro fisiológico.

Deterioro microbiano.

El deterioro microbiano se presenta después de cinco a siete días luego de la cosecha, el cual depende de la cantidad de daños físicos presentes en las raíces, de la actividad microbiana de hongos y bacterias y de las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente. Se presenta como un estriado vascular que se convierte en una pudrición húmeda y maceración de los tejidos.

3.3 FACTORES QUE INCIDEN EN EL DETERIORO DE LAS RAÍCES

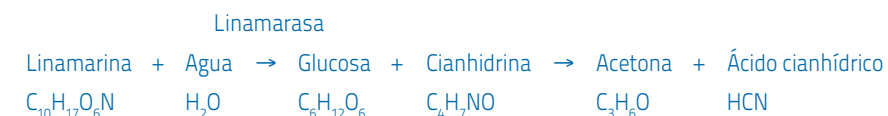
Existen grandes diferencias en el deterioro en distintas variedades de mandioca y, además, entre una misma variedad. La susceptibilidad de una variedad depende de las condiciones edafoclimáticas donde se cultive, y en un mismo lugar puede variar en el transcurso del año, como consecuencia de los cambios climáticos. Los cultivares más resistentes al deterioro fisiológico de las raíces son aquellos que son más afectados por las condiciones adversas de la zona tales como sequías, enfermedades y plagas. Los daños físicos en las raíces durante la cosecha desencadenan y aceleran el deterioro; éstos son ocasionados por factores como la forma y el tamaño de las raíces, el tamaño del pedúnculo, el grado de compactación del suelo, el método de cosecha (manual o mecánico) y la adherencia de la cáscara a la pulpa. Así, las raíces largas se parten con facilidad durante la cosecha, los pedúnculos cortos dificultan el proceso de separación de las raíces del tallo, lo

que resulta en lesiones en la zona del corte, los pedúnculos largos son más fáciles de romper en el momento de la extracción, las raíces son más fáciles de extraer si el cultivo está plantado en caballones que en plano, la extracción es más fácil en suelo arenoso y suelto que en suelo arcilloso y pesado, y la cosecha mecánica generalmente ocasiona heridas a las raíces. La exposición directa de las raíces al sol por períodos largos acelera el deterioro. Las raíces que contienen bajo contenido de almidón y aquellas con alto contenido de carotenos son más resistentes al deterioro. El deterioro fisiológico se reduce con la poda de la parte aérea de la planta a dos o tres semanas antes de la cosecha. Sin embargo, la poda reduce el contenido de almidón y aumenta el contenido de azúcares, debido a la movilización de reservas de carbohidratos que usa la planta para el crecimiento y sostenimiento de los rebrotes.

3.4 LIBERACIÓN DE ÁCIDO CIANHÍDRICO EN MANDIOCA

Las variedades de mandioca pueden ser clasificadas como dulces o amargas, según el bajo o alto contenido de cianuro en las raíces. Este contenido presenta valores distintos en las diferentes partes de la planta, dependiendo de factores como la variedad, la edad de la planta y las condiciones edafoclimáticas del ambiente en que crece. Al aumentar la edad de la planta, el contenido de cianuro disminuye en las raíces y en las hojas. Su concentración siempre es mayor en las hojas y tallos que en la raíz, y es mayor en la corteza que en la pulpa. Los altos contenidos de cianuro en las variedades amargas les confieren a éstas repelencia sobre insectos fitófagos o herbívoros en general, además de tolerancia a ciertas enfermedades.

El cianuro está constituido por dos tipos de glucósidos cianogénicos: linamarina y lotaustralina. Aproximadamente el 85-90% del ion cianuro se encuentra en forma de glucósido denominado linamarina (cianuro ligado) y el 10-15% como lotaustralina (cianuro libre). La linamarina al hidrolizarse por acción de la enzima linamarasa libera ácido cianhídrico (HCN) en forma gaseosa, el cual puede producir efectos tóxicos en el organismo humano o animal, y la gravedad de la toxicidad depende de la cantidad ingerida.



La Comisión del Codex Alimentarius ha establecido que la mandioca dulce contiene menos de 50 mg/ de HCN (sobre la base de peso de producto fresco) [5] y en la harina de mandioca comestible, el total de HCN no debe exceder de 10 mg/kg [6]. También la Comisión elaboró un anteproyecto para establecer los niveles máximos para el ácido cianhídrico en la mandioca y productos de mandioca [7] y un código de buenas prácticas de fabricación para reducir la presencia de ácido cianhídrico en la mandioca y los productos

de mandioca, el cual proporciona a las autoridades nacionales y locales, a los productores y otros órganos pertinentes, orientación para la fabricación de productos de mandioca con concentraciones inocuas de compuestos cianogénicos residuales. Además, se recomienda la introducción de métodos científicos, como el de picrato, para supervisar las concentraciones de cianuro presentes en los productos de mandioca [8].

Para la eliminación del HCN en las raíces y el follaje de mandioca se pueden utilizar métodos tales como el pelado, picado o rallado, cocción en agua, secado solar o artificial, ensilaje y fermentación. Dado que la corteza de la mandioca tiene mayor contenido de HCN, remover ésta reduce el contenido de HCN en la raíz. Cuando los tejidos de las raíces y las hojas son destruidos mecánicamente, la acción de la linamarasa se desarrolla mejor y la eliminación del HCN es más efectiva. El proceso de cocción en agua, durante 15 minutos, elimina más del 90% del HCN libre. Usando temperaturas entre 30- 40°C es posible eliminar, por acción de los rayos solares, un 80% del cianuro. Los sistemas de secado artificial también eliminan el cianuro, aunque el secado solar es más efectivo (68- 76% versus 82- 94%). Los procesos de secado lentos a baja temperatura remueven el cianuro residual de manera más efectiva que los procesos rápidos de alta temperatura. El rango de temperatura óptimo para realizar la máxima liberación del HCN está comprendido entre 60-70°C. Temperaturas superiores, con baja humedad, destruyen la enzima linamarasa que es la que permite la transformación de los glucósidos cianogénicos. El ensilaje de trozos de mandioca contribuye a la eliminación de HCN; en dos semanas es posible eliminar hasta el 20% del contenido inicial y después de cuatro meses se reduce a una tercera parte. La fermentación de la mandioca reduce los glucósidos cianogénicos a niveles insignificantes.

4. VARIEDADES

La productividad y la calidad de la mandioca dependen de la capacidad productiva y de las características del material genético utilizado. El potencial de rendimiento de las variedades se expresa con el manejo del cultivo, utilizando prácticas agronómicas e insumos adecuados.

Las variedades de mandioca se clasifican en: variedades para consumo fresco y variedades para la industria, siendo el contenido de ácido cianhídrico el criterio principal para diferenciarlas.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) conserva in vitro, en el Banco de Germoplasma, la mayor colección de mandioca del mundo procedente de 28 países: 6643 clones de *Manihot esculenta*, que incluyen 5352 cultivares tradicionales, 883 especies silvestres y 408 materiales mejorados. De la colección mundial se seleccionó una muestra representativa de la variabilidad del germoplasma de mandioca llamada *core collection* que incluye 630 cultivares. Dentro de la colección mundial existen 122 accesiones procedentes de Argentina y dentro de la *core collection* 8 cultivares pertenecen a este país. Estas variedades fueron introducidas de Argentina en varias etapas en los años 1983, 1994, 1995 y 2002.

El Banco de Germoplasma de mandioca del CIAT realiza el mantenimiento, saneamiento y distribución de las variedades bajo conservación. Las variedades sembradas en la región mandioquera de Argentina se encuentran conservadas en el banco a cargo de la Unidad de Recursos Genéticos. Por este motivo, se considera de gran importancia para la mandioca en Argentina realizar reintroducción de este material desde el CIAT, particularmente de las variedades de mayor interés, asegurando una óptima calidad genética y sanitaria.



Banco de Germoplasma de mandioca del CIAT (Colombia).

En la región del NEA se encuentran sembradas las siguientes variedades con sus equivalentes en el Banco de Germoplasma del CIAT: Pomberi (Arg 54), CA 25-1 (Arg 53), Coloradita (Arg 19), Campeona (Arg 52). Además, se está difundiendo la variedad IAC-90, clon mejorado, desarrollada por el Instituto Agronómico de Campinas (Brasil) con muy buenas características agronómicas y buen contenido de almidón.

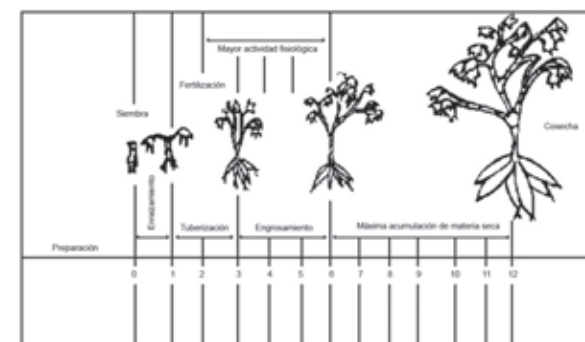
En los últimos tiempos, fruto de varios años de investigación, se han desarrollado variedades de mandioca con propiedades particulares, como son las variedades amarillas con alto contenido de betacaroteno, las cuales pueden ser utilizadas en las dietas del sector avícola sin la incorporación de suplementos, además de que contienen un gran valor nutricional para dietas de personas con deficiencia de vitamina A. Se han realizado estudios para evaluar el nivel de retención de betacarotenos en trozos secos y harina de mandioca utilizando diferentes técnicas de secado y almacenamiento. La técnica de secado en horno permite una mayor retención (72%) comparado con otros tipos de secado. Existe mayor retención en trozos secos que en harina de mandioca. El almacenamiento en bolsas de plástico al vacío resultó en mayores pérdidas de betacarotenos que el almacenamiento en bolsas de plástico sin la aplicación de vacío [9]. Otra variedad de mandioca de especial interés para la industria es la cerosa o waxy, que contiene 100% amilopectina, la cual tiene un gran potencial de aplicación debido a sus propiedades específicas tales como alto poder de expansión, mayor viscosidad, mayor transparencia y mayor estabilidad de sus pastas, además de resistencia a los procesos de congelación y descongelación [10].

En el desarrollo de nuevas variedades se considera su uso en mercados específicos. Los cruzamientos de clones o de variedades seleccionados para lograr la construcción de un mapa de genes de la mandioca, están diseñados para que en dichos cruzamientos se separen, o segreguen, los caracteres considerados como prioritarios en el desarrollo de los programas de mejoramiento y selección, con ayuda de marcadores moleculares. Entre estos caracteres están la resistencia a la enfermedad del mosaico de la mandioca (CMD), la resistencia a la bacteriosis común, el engrosamiento precoz de la raíz, la reducción de compuestos cianogénicos, el deterioro poscosecha, el contenido de carotenos, la calidad culinaria y el contenido de almidón [11].

5. FENOLOGÍA DEL CULTIVO

Es importante tener conocimiento detallado de las etapas de desarrollo y crecimiento (fases fenológicas) del cultivo de la mandioca para tener mayor claridad de los estados críticos del cultivo y realizar, dentro de ellos, las labores agrícolas pertinentes y oportunas. Bajo este punto de vista, la fenología se convierte en la carta de navegación para tener éxito con el cultivo de la mandioca [12].

El cultivo de la mandioca lo podemos conocer y manejar desde dos puntos de vista. El primero, la raíz; y el segundo, la parte aérea de la planta.



Ciclo fenológico de la mandioca (plantas cosechadas entre los 10 y 12 meses).

5.1 FENOLOGÍA DE LA RAÍZ

Las fases de desarrollo y crecimiento de la raíz son cuatro: enraizamiento, tuberización, engrosamiento y acumulación.

5.1.1 Fase de enraizamiento:

El sistema radical de la planta de mandioca es poco denso, pero penetra varios metros en el suelo, lo que le da a la planta capacidad para resistir períodos largos de sequía.

Cuando la planta proviene de material vegetativo (estaca o cangre), las raíces son adventicias y, al desarrollarse, forman un sistema fibroso. Éstas son pocas y se convierten en la base para absorber agua y nutrimentos del suelo. Estas raíces, no son muy eficientes durante los primeros estados de desarrollo (primer mes) en la toma de nutrimentos (ya sean del suelo o del suelo y fertilizantes aplicados a la siembra), pero son muy eficientes en la toma de agua a medida que el cultivo crece y se desarrolla.

El sistema fibroso de la planta de mandioca tiene una relación directa con la fertilización, ya que en promedio, durante los primeros 30 días, dependiendo del cultivar, la planta se encuentra en una etapa de enraizamiento y, en este período, las raíces se están desarrollando, pero no ejercen función absorbente de nutrimentos. La nueva plántula se nutre exclusivamente de las reservas nutricionales de la estaca madre. De ahí la importancia del origen de este material.

La eficiencia de la fertilización se da en función de este factor, y las pérdidas de nutrimentos disminuyen cuando se fertiliza, después del primer mes de sembrado, en el caso de aplicar fertilizantes de alta solubilidad en agua. Con fertilizantes menos solubles o de poca solubilidad no hay problema, e inclusive es mejor aplicarlos al voleo e incorporar antes de la siembra.

Algunas raíces fibrosas, posteriormente inician su engrosamiento y se convierten en raíces tuberosas o de acumulación.

5.1.2 Fase de tuberización

Inicia desde los 30 a los 45 días hasta el tercer o cuarto mes después de la siembra. Es una fase de gran relevancia, porque aquí se determina cuántas raíces tuberosas tendrá el cultivo y cuántas entran a la fase de engrosamiento.

5.1.3 Fase de engrosamiento

Inicia desde el tercer o cuarto mes después de la siembra y se prolonga hasta el quinto o sexto mes. Es importante resaltar que, desde la fase de tuberización, las raíces comienzan a acumular materia seca (MS) y almidón (productos de la fotosíntesis), pero es en la siguiente fase donde se desarrolla este potencial.

5.1.4 Fase de acumulación

Comienza desde el quinto o sexto mes hasta el final del ciclo del cultivo. Fase de vital importancia para la planta. Cualquier alteración de la parte aérea durante este período afecta el contenido de materia seca y el rendimiento final sobre la base de peso seco; por ejemplo, el ataque de mandarová o gusano cachón (*Erinnyis ello L.*) con defoliación mayor del 80%.

5.2 FENOLOGÍA DE LA PARTE AÉREA

Las fases de desarrollo y crecimiento de la parte aérea son tres: establecimiento, máxima actividad fisiológica y maduración.

5.2.1 Fase de establecimiento

Depende de la preparación del terreno y de la calidad del material de siembra, como también del contenido de agua del suelo. Es una etapa que va desde la siembra hasta los dos primeros meses. Entre los 30 y 90 días se debe realizar la práctica de fertilización, dependiendo del tipo de suelo (previo análisis). Ésta es una labor agrícola de suma importancia y la base del buen desarrollo y crecimiento del cultivo.

5.2.2 Fase de máxima actividad fisiológica

Esta fase va entre el segundo y el quinto mes después de la siembra y es de las más importantes durante el ciclo del cultivo. La concentración de la mayor parte de los nutrientes absorbidos (vía solución del suelo o fertilizantes) aumenta en las hojas, especialmente en las superiores. Este aumento progresivo va hasta el quinto mes y comienza a disminuir a partir de allí. Por ello, la recomendación de un muestreo foliar debe realizarse entre el tercer y cuarto mes después de la siembra.

En la parte aérea, esencialmente en las láminas foliares superiores completamente expandidas, es donde comienza el proceso de elaboración de asimilados o compuestos orgánicos que, vía floema (redistribución), se acumulan en órganos de almacenamiento como las raíces tuberosas y cuyo producto final es el almidón. Cualquier alteración en esta etapa reduce la actividad fotosintética de la planta y, por ende, el producto final. Es una etapa del ciclo en donde se deben tener los mayores cuidados fitosanitarios (control eficiente de plagas y enfermedades).

5.2.3 Fase de maduración

Es la etapa final del ciclo del cultivo y en donde, en algunos cultivares, por lo menos se ha producido el 50% o más de acumulación de materia seca. Es una etapa que puede ir entre siete y ocho meses hasta el final del ciclo del cultivo, para cultivares cosechados entre los 10 y 12 meses, y según las condiciones climatológicas de la región.

La acumulación es constante durante todo el ciclo de crecimiento, las plantas acumulan muy poco peso durante los dos primeros dos meses. A partir del segundo mes, el incremento es mayor, y a una tasa constante hasta el octavo mes. Después, el ritmo de acumulación es lento hasta el final del ciclo del cultivo.

La producción de materia seca en tallos aumenta desde el segundo mes hasta el final del ciclo del cultivo. Según Howeler y Cadavid (1983), el máximo incremento en la acumulación de nutrimentos durante el ciclo de crecimiento, ocurre entre los dos y los cuatro meses después de la siembra. Después de los cinco meses, la mayoría de los nutrimentos descienden en su tasa de absorción [13].

6. PRÁCTICAS AGRONÓMICAS

Las prácticas agronómicas en el cultivo de la mandioca son una serie de actividades que se deben realizar en los momentos oportunos del desarrollo fenológico, para lograr que la variedad sembrada exprese el máximo de su potencial genético.

6.1 MATERIAL DE SIEMBRA (CALIDAD Y BANCOS DE SEMILLA)

La cantidad y la calidad del material de siembra está en función de un conjunto de factores como: vigor de la variedad, tipo de planta, porción del tallo dentro la planta, número de tallos por planta, hábito de crecimiento y ramificación, sistemas de cultivo, edad de la planta, fertilidad del suelo, si se fertiliza o no se fertiliza, competencia de malezas, condiciones climatológicas y contenido de nutrimentos de la estaca madre.

Para que la semilla sea un componente tecnológico altamente productivo, requiere poseer calidad. La experiencia ha demostrado que una semilla de buena calidad permite obtener buenos resultados en el campo, mientras que una semilla de mala calidad conduce a resultados pocos satisfactorios y fracasos.

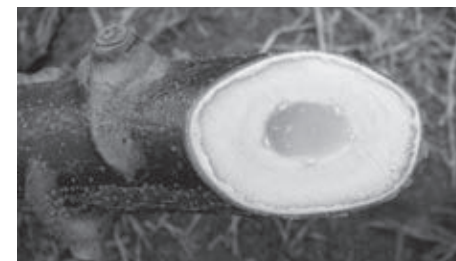
La calidad es un conjunto de cualidades genéticas, fisiológicas y sanitarias que dan a las estacas su capacidad para dar origen a plantas productivas. La presencia en niveles altos de estos tres componentes esenciales de la calidad, permite que la semilla se encuentre en su máxima calidad integral. Por otro lado, la debilidad de cualquiera de sus componentes introduce el factor limitante. Es así como genotipos perfectos no podrían expresar su verdadero potencial, si la semilla está fisiológicamente deteriorada y muestra mala germinación.

Los atributos cualitativos de una variedad, generada por los trabajos de mejoramiento genético, solamente serán transferidos al agricultor, en el caso de que no haya deterioro de sus características de generación en generación, en el proceso de multiplicación de semillas.

La viabilidad de las estacas está directamente relacionada con su contenido de humedad. En una planta de 10-12 meses, los tallos tienen alrededor del 70% de humedad, y las estacas que ellos produzcan tendrán viabilidad cercana al 100%. Una vez cortadas, se inicia la deshidratación de las estacas, que se acelera cuando son almacenadas en un lugar con alta temperatura y baja humedad relativa, y su efecto es tan severo que una disminución del 20% en el contenido de humedad, puede ocasionar una reducción del 50% en la brotación de las estacas.

Un indicativo visual para estimar el contenido de humedad y, por ende, la viabilidad de las estacas, es la velocidad con la que el látex característico de las plantas euforbiáceas

fluye de una estaca recién cortada. Si fluye inmediatamente, significa que tiene suficiente humedad y, por lo tanto, un buen poder de germinación. A medida que una estaca se deshidrata, se hace más lenta la aparición del látex y es menor su cantidad.



Viabilidad de una estaca de mandioca.

Los bancos de semilla limpia son una alternativa para el continuo suministro de material de siembra de buena calidad, especialmente sanitaria. Tienen como objetivo básico: incrementar los rendimientos y la competitividad del cultivo de la mandioca, partiendo del establecimiento de bancos regionales de producción de semilla certificada.

Una de las principales limitantes para la producción y ampliación del área sembrada con mandioca es la disponibilidad en cantidades suficientes de semilla de calidad y sanidad garantizada. En la mayoría de las veces, los agricultores utilizan semilla que obtienen de sus mismos lotes de producción comercial de raíces, en los que en la mayor parte no se ha realizado un control efectivo de plagas y enfermedades. Lo anterior, ha ocasionado disminuciones significativas de los rendimientos en ciclos subsecuentes de siembra, cuando se utiliza la semilla obtenida de estos lotes. La alternativa que se les plantea a los agricultores es el manejo de lotes aislados para la producción de semilla y mantener un material de siembra de buena calidad y sanidad.

La baja disponibilidad de semilla de calidad y sanidad garantizada para la producción y ampliación del cultivo de la mandioca, sugieren la necesidad de establecer sistemas confiables y dinámicos de producción de semilla certificada, con el objetivo de mejorar la competitividad del cultivo y garantizar una materia prima de calidad para un exitoso desarrollo agroindustrial del cultivo en la región del NEA.

6.2 PREPARACIÓN DEL SUELO

El producto económico de la mandioca son las raíces tuberosas que se desarrollan bajo el suelo y, por tanto, se requiere una buena preparación del suelo, factor que depende del clima, el tipo de suelo y de vegetación, la topografía, el grado de mecanización que recibe el cultivo y otras prácticas agronómicas.

Una preparación adecuada del suelo garantiza una cama propicia para la "semilla" y, en consecuencia, altos niveles de germinación y de producción. La cama de la semilla debe tener, en general, unos 20 cm de profundidad y un suelo disgregado y libre de terrones para que facilite el crecimiento horizontal y vertical de las raíces [14].

La preparación del suelo comienza, generalmente, en la época seca; lo contrario se hace en regiones de clima muy húmedo, donde la tierra se prepara hacia el final de las lluvias fuertes y las estacas se siembran al comienzo de la época seca: así se aprovechan las lluvias poco copiosas para el desarrollo inicial de las raíces. En zonas de menor precipitación pluvial es necesario, a veces, arar antes del período seco para aprovechar algo de lluvia, ya que más tarde, el terreno se secará y endurecerá demasiado para la labranza. En muchas regiones, el arado de discos ha comenzado a ser sustituido por otros implementos, como el arado de cincel, que ayudan a conservar la estructura del suelo.

Cuando es posible mecanizar esta labor, muchos cultivadores de mandioca preparan el suelo con un arado sencillo y otro de discos; de este modo, obtienen buenas condiciones para sembrar, ventilan el suelo y controlan las malezas. Hoy en día es necesario evaluar la estructura y otras propiedades físicas del suelo, con el fin de hacer un diagnóstico para elegir el patrón de mecanización necesario. Además, se deben incluir los conceptos de sostenibilidad y de labranza reducida donde sea posible. La labranza vertical, utilizando cinceles, es el sistema de preparación más racional recomendado actualmente.

6.3 SIEMBRA

Esta actividad está determinada por cuatro variables importantes: profundidad de siembra, longitud y posición de la estaca y distancia entre plantas y surcos o líneas de siembra. El sistema de siembra puede ser manual o mecanizado. En la región del NEA se utiliza masivamente el sistema de siembra manual con posición de la estaca horizontal y, en algunos sectores de la provincia de Misiones, se ha estado promocionando la siembra mecanizada con equipos diseñados localmente.



Maquinaria de dos líneas para la siembra de estacas de mandioca (Planticenter-Bazuca 1).

6.4 FERTILIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS

La fertilización es un mecanismo de manejo y, como tal, se debe concebir, con el fin de recuperar, mantener y sostener la fertilidad de los suelos y aumentar la productividad de los cultivos. Es importante conocer la necesidad de fertilización del cultivo, y ésta se da en términos de requerimiento nutricional ponderado del cultivo (kg/ha), disponibilidad de nutrimentos en el suelo (kg/ha) y la eficiencia del fertilizante (%) [1].

Cuando se habla de fertilización es necesario recurrir a un diagnóstico del suelo, para detectar los posibles limitantes que éste presenta y pronosticar a tiempo las posibles deficiencias del cultivo a establecer.

En realidad, con el diagnóstico se conoce la disponibilidad de nutrimentos en el suelo y cómo repercute cualquier limitante o exceso en el cultivo de la mandioca. El objetivo básico del diagnóstico químico y físico es evaluar la capacidad de los suelos para suministrar los nutrimentos a las plantas, es decir, medir su fertilidad potencial. Existen herramientas para realizar este diagnóstico:

- a) Análisis químico y físico del suelo.
- b) Análisis de tejido vegetal.
- c) Niveles críticos del suelo y de la planta.
- d) Conocimiento de desórdenes nutricionales (deficiencias, toxicidades).
- e) Requerimientos nutricionales del cultivo.
- f) Respuesta del cultivo a la fertilización.

El muestreo, y posterior análisis del suelo, se convierten en herramientas muy importantes antes de la siembra, para diagnosticar y corregir problemas nutricionales, evitando que aparezcan deficiencias que afecten el crecimiento y el desarrollo de una planta. En la mandioca, la ausencia de síntomas claros de macronutrientes indica que los problemas nutricionales pueden no notarse fácilmente, lo que hace al análisis foliar y químico, herramientas claves para determinar el estado nutricional de la planta [15].

6.5 CONTROL DE MALEZAS

Desde el punto de vista del control de malezas, la mandioca es un cultivo que relativamente ha sido poco estudiado. Dada su rusticidad, se ha creído que este cultivo puede tolerar, sin mayor perjuicio, la competencia de las malezas; sin embargo, se ha observado que la presencia de malezas durante los primeros 60 días del ciclo del cultivo causa una reducción de los rendimientos de, aproximadamente, 50% en comparación con mandioca libre de malezas durante todo el ciclo [16].

Las malezas representan un problema de gran importancia en la mayoría de los cultivos comerciales y, en el caso particular de la mandioca, suelen ser un factor determinante

en el desarrollo de la planta y en su posterior rendimiento. Este problema es de tal magnitud, que a veces representa el 30% o más de los costos de producción.

En la mandioca existen diferentes opciones para controlar las plantas competidoras. El control debe ser sistemático e integrado. Se utilizan los controles cultural, manual, mecánico y químico, o combinaciones de estos métodos, ya que no existe uno que se adapte a todos los problemas.

El control cultural agrupa prácticas agronómicas, que logran hacer que el cultivo sea más competitivo que las malezas, entre las más importantes están la selección adecuada del cultivar, el uso de "semilla" o estacas de buena calidad, la óptima densidad de siembra y la protección del cultivo.

El control manual se utiliza en plantaciones pequeñas cuando existe mano de obra disponible y cuyos costos no sean muy elevados. Consiste en realizar deshierbas con implementos manuales, cuando la mandioca está en crecimiento hasta cuando el cultivo cierre completamente e impida el desarrollo de las malezas por la reducción en la entrada de la luz.

El control mecánico consiste en la utilización de herramientas (cultivadoras, rotativas, ganchos) tiradas por tractores o animales que pasan entre las hileras y caballones. Se realiza cuando el cultivo tiene entre 15 y 30 días de plantado y se practica hasta cuando la cobertura lo permita.

El control químico se realiza utilizando herbicidas preemergentes, los cuales evitan el crecimiento de las malezas por un período que oscila de 45 a 50 días, durante el cual el follaje de la mandioca aún no ha cerrado. Es una opción práctica y económica, en comparación con el alto costo de la mano de obra, particularmente en plantaciones grandes de mandioca.

6.6 MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS (MIP)

El manejo de plagas se debe basar, fundamentalmente, en el control biológico, en la resistencia de la planta hospedante y en el empleo de las prácticas culturales. De ser necesario, se acude al empleo de insecticidas químicos de baja toxicidad y que no hagan daño a los insectos benéficos. Los ataques de plagas pueden reducir drásticamente los rendimientos en mandioca, tanto el tipo de daño como la duración del ataque determinan el grado de disminución en el rendimiento. Las condiciones ambientales y la fertilidad del suelo influyen en la relación plaga/ cultivo. Generalmente, lluvias adecuadas permiten a la planta recuperarse del daño.

Las plagas más importantes en la región del NEA son las hormigas cortadoras, el marandová y el barrenador del tallo.

Hormigas cortadoras:

Los ataques se producen con mayor intensidad en los primeros meses de crecimiento del cultivo, coincidiendo con la salida del invierno, momento de gran actividad de los hormigueros.

El medio de control más efectivo se basa en el uso de cebos granulados colocados al costado de los senderos formados por las hormigas y próximos a las bocas de los hormigueros.

Marandová:

El marandová (*Erinnyis ello*) es una plaga de aparición esporádica, cuyas larvas consumen hojas, brotes jóvenes y yemas apicales, ocasionando pérdidas en el rendimiento cuando ataca en las primeras etapas de crecimiento del cultivo. El adulto es una mariposa de hábitos nocturnos, de color ceniza, que deposita huevos de color verde claro en la cara superior de las hojas de mandioca. Las larvas varían en su color, pudiendo ser amarillo, negro, gris oscuro, canela y verde, y pueden alcanzar los 10 a 12 cm de longitud en el último estado larval, y permanecen escondidas en la parte inferior de la hoja y en los brotes apicales. El período crítico para el cultivo está comprendido en los primeros cinco meses desde la siembra.

Un control muy efectivo se logra con la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Dipel), que ataca las larvas provocando una septicemia que las destruye. La utilización de este producto no tiene efectos adversos sobre otros enemigos naturales de la plaga.

Barrenadores del tallo (taladros):

Las larvas pueden medir hasta 30 mm de longitud; generalmente, son de color blanco, amarillo o canela y se pueden encontrar formando galerías en las partes aéreas de las plantas. Los tallos y ramas se pueden quebrar o reducir a aserrín.



Planta de mandioca afectada por barrenador del tallo.



Depredador de larvas de *Erinnyis ello*.

Durante los períodos secos puede haber defoliación y, en ataques severos, puede producirse la muerte de las plantas. En las ramas infestadas o en el suelo, debajo de la planta, se pueden encontrar excreciones y exudados del aserrín expulsado por las larvas. Los adultos permanecen activos durante todo el año, aunque su actividad puede disminuir en los meses más frescos.

6.7 MANEJO INTEGRADO DE ENFERMEDADES

Existen muchas enfermedades bacterianas y fungosas que afectan el cultivo de la mandioca, cuya distribución geográfica e importancia económica varía considerablemente. Las enfermedades que causan manchas foliares, necrosamiento del tallo y pudriciones radicales se presentan con mayor frecuencia y se distribuyen más ampliamente, causando pérdida en el rendimiento del cultivo [17]. Las enfermedades más frecuentes en la región del NEA son la bacteriosis, pudriciones radicales, "cuero de sapo" y el virus del mosaico común.

Bacteriosis o añublo bacteriano:

Esta enfermedad es causada por la bacteria *Xanthomonas axonopodis* pv. *Manihotis*, la cual es sistémica y penetra en el hospedero por los estomas y por heridas que tenga la planta en la epidermis. Los síntomas característicos son: manchas foliares que, al comienzo, son pequeñas y angulares y de apariencia acuosa en el envés; fusión de unas manchas con otras que adquieren un color marrón; aparición de añublo o quemazón foliar, con marchitez gomosa en los tallos jóvenes infectados; necrosis de los haces vasculares de los pecíolos y los tallos infectados que se cubren de bandas de color marrón o negro.

La enfermedad se disemina de un área a otra, y de una época de crecimiento a la siguiente, principalmente por la siembra de estacas infectadas y, también, por herramientas, insectos y lluvia, que dispersan la enfermedad en áreas pequeñas [18].

Pudriciones radicales:

Son producidas por los pseudo-hongos *Phytophthora* spp., y *Phythium* spp., que son habitantes naturales del suelo y atacan en cualquier etapa del cultivo. El desarrollo del patógeno es favorecido por un suelo encharcado, que se seque rápidamente o que tenga bajo contenido de nutrientes (especialmente potasio). Ataca principalmente a las plantas cerca a zanja de drenaje y causa en ellas marchitez repentina y una intensa producción blanda en las raíces, exudando un líquido de olor repugnante, y luego se deterioran completamente en el suelo.



Planta de mandioca afectada con bacteriosis.



Pudrición de raíces de mandioca.

Enfermedad "cuero de sapo", "jacare" o "lagarto":

Se cree que esta enfermedad perjudica el cultivo más que otras, porque afecta directamente las raíces de la mandioca, causando pérdidas entre el 50% y el 90%. En la mayoría de las variedades, las plantas afectadas no presentan señales visibles en su parte aérea y el follaje luce sano y vigoroso. Los síntomas se restringen al conjunto de raíces y sólo se perciben cuando se hace un examen cuidadoso antes de la cosecha.

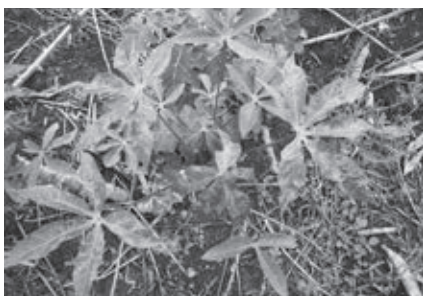
Las raíces de las plantas enfermas son delgadas y fibrosas, y en la epidermis (la cáscara) presenta lesiones o hendiduras longitudinales en forma de labio que, al unirse, dan la apariencia de una red o un panal. La cáscara se vuelve gruesa y adquiere aspecto corchoso y consistencia quebradiza.

Los síntomas de la enfermedad pueden manifestarse en todo el sistema radical, solamente en algunas raíces (afectando toda la raíz) o sólo en una parte de la raíz afectada. Los estudios de transmisión de la enfermedad en el campo indican que ésta se propaga mediante estacas o de planta en planta y que los patrones de diseminación sugieren un contagio mediante vector aéreo.

Virus del mosaico común:

La enfermedad del mosaico común de la mandioca es causada por el virus CsCMV. Este virus fue clasificado, originalmente, en el grupo de los potexvirus. Las plantas afectadas por este virus desarrollan síntomas de mosaico y clorosis en las hojas. Los síntomas son más severos a medida que son más prolongados los períodos relativamente fríos, situación que es frecuente en las zonas subtropicales de América del Sur [19].

El manejo y el control estricto de la enfermedad consiste en erradicar las plantas que muestran síntomas en los rebrotes. Para minimizar el riesgo de transmisión, se recomienda desinfectar las herramientas de corte. El cuidado de seleccionar el material vegetativo sano permitirá que la enfermedad pueda erradicarse o que se mitigue hasta un mínimo el daño económico que causa.



Planta afectada por virus del mosaico común.



Aspecto general de raíces afectadas por el "cuero de sapo".

Para el control de plagas y enfermedades, el uso de pesticidas químicos no es aconsejable. Lo ideal es realizar un control químico de las estacas, así como la utilización de material de siembra sano. Además, se puede realizar un saneamiento del material de siembra, utilizando el método de termoterapia, desarrollado en el CIAT, para sanear las semillas antes de sembrarlas, que consiste en un tratamiento térmico de las estacas en agua caliente a 49°C, durante 49 minutos [20].

De igual manera, se deben mantener buenas prácticas agronómicas como el buen drenaje, selección de suelos con textura suelta, rotación de cultivos, siembra en suelos que no se inundan y una buena nutrición.

Algunas recomendaciones para tener en cuenta en la prevención de enfermedades en la mandioca son:

- Seleccionar plantas vigorosas y sanas para ser usadas como semilla.
- Evitar el transporte de estacas para ser usadas como semilla desde zonas afectadas por enfermedades.
- Erradicar y quemar las plantas afectadas.
- Rotar cultivos y sembrar utilizando caballones.
- Tratar las estacas con mezclas de fungicidas sistémicos e insecticidas autorizados en la lista oficial de plaguicidas.

6.8 COSECHA MANUAL Y MECANIZADA

La labor de cosecha constituye la etapa final del cultivo, cuya época es definida por el agricultor en función de su productividad, del contenido de materia seca de las raíces, de sus características culinarias, del clima y del estado de madurez del cultivo. Esta operación es quizá la que más influye en la estructura de costos, por la demanda de gran cantidad de jornales (alrededor de 25 a 30 por hectárea, para una cosecha entre 25 y 30 t/ha, equivalente a t/hombre/día, dependiendo de las condiciones del suelo, que puede oscilar entre 700 y 1000 kg).

En la cosecha manual se consideran las siguientes modalidades [14]:

- **Con la mano:** En suelos livianos o arenosos, las raíces se pueden arrancar fácilmente.
- **Con palanca:** Se realiza desde suelos francos hasta arcillosos y que presenten problemas de compactación. Se amarra el tallo con cadenas a un palo que sirva de palanca contra el suelo.
- **Con arrancador:** Modifica a la anterior, pues se engancha el tallo desde su parte inferior y se hace palanca hacia arriba. Se utiliza un implemento de enganche a modo de tenaza que va unido aproximadamente a 30 cm del extremo de un palo que se apoya en el suelo.
- **Con cincha:** En suelos de textura mediana, se usa una especie de correa que el agricultor se amarra dándole la vuelta por la espalda y el extremo le da la vuelta al tallo. Las manos sirven de agarre y dan vibración al tallo y su cuerpo sirve de palanca.

Durante la Misión Mandioca se realizó la demostración de una herramienta cosechadora que tuvo amplia aceptación por los productores, gracias a sus ventajas; en especial, por el menor esfuerzo físico y la reducción en la mano de obra en esta actividad.



Herramienta de cosecha manual.



Cosecha de mandioca con herramienta manual.

La cosecha mecanizada es más fácil si el cultivo es sembrado en camas o caballones, y si está sembrado en suelo arenoso y suelto. Este tipo de cosecha cumple la función de aflojar el suelo y, en algunos casos, voltearlo. Los cosechadores mecánicos trabajan a profundidades entre 40 y 50 cm, en promedio, y son exigentes en potencia. Generalmente, constan de una cuchilla levantadora que trabaja sobre los surcos.

6.9 CULTIVOS ASOCIADOS Y ROTACIÓN DE CULTIVOS

Tanto los pequeños como los medianos productores de la provincia de Misiones siembran mandioca en forma intercalada con plantaciones de forestales o de yerba mate. De esta manera, además de diversificar la oferta de sus cultivos, se optimiza el uso del suelo y se reduce el costo de limpieza de malezas.



Asociación de cultivo yerba mate, forestales y mandioca.

La mandioca extrae más nutrientes del suelo que la mayoría de otros cultivos tropicales, particularmente fósforo, potasio y magnesio. Las reservas de potasio del suelo se pueden agotar (la mandioca extrae casi 100 kg de potasio por cada 25 t de raíces producidas), si se cultiva mandioca continuamente sin la fertilización adecuada [21]. Por esta razón, a menudo es aconsejable dejar el terreno en barbecho o rotar después de la segunda o tercera cosecha consecutiva de mandioca, especialmente en suelos de fertilidad media a baja. Si se siembra un cultivo después de la mandioca se debe fertilizar apropiadamente, a fin de obtener buenos rendimientos.

La rotación de cultivos es una práctica recomendada universalmente para controlar una serie de problemas, principalmente desde el punto de vista fitosanitario y de recuperación del suelo; además, ayuda a sistematizar el control de malezas, por el uso de herbicidas y prácticas culturales diferenciadas en cada especie. Esta práctica se observa en algunas de las zonas productoras de mandioca en la región del NEA, utilizando rotación con avena negra, la cual se incorpora al suelo como abono verde, por lo que se recomienda su generalización. Se recomienda comenzar un programa de rotación, tan pronto como los rendimientos de la mandioca empiezan a decrecer. También pueden utilizarse especies gramíneas o leguminosas (soya, caupí o cualquier otra cultivada en la región).



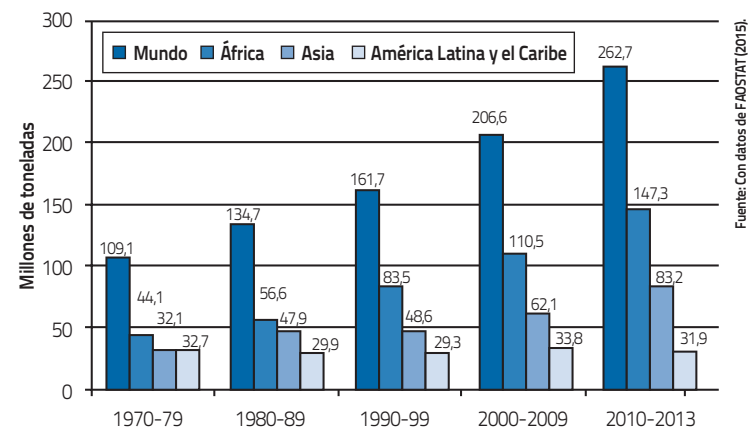
Cultivo de avena negra como abono verde.

7. PRODUCCIÓN Y COMERCIO INTERNACIONAL DE LA MANDIOCA

La mandioca originaria de las tierras selváticas de América es un cultivo de gran importancia dentro de la alimentación de más de mil millones de personas en países tropicales, particularmente de Asia, África y América Latina y el Caribe. Fue introducida por los colonizadores de América en África y en Asia para convertirse en un renglón importante de la actividad agropecuaria para estos continentes. La mandioca es cultivada mayormente por pequeños productores, quienes la utilizan para el autoconsumo, para la alimentación de animales y para generar ingresos mediante la venta en diferentes mercados. El 50% de la producción mundial de mandioca, en millones de toneladas, está concentrada en cinco países: Nigeria (54), Tailandia (30,2), Indonesia (23,9), Brasil (21,2) y República del Congo (16,5), según los datos de la FAO para 2013. En 2010, el consumo de mandioca per cápita en África fue de 115 kg comparado con 18 kg en el resto del mundo [22].

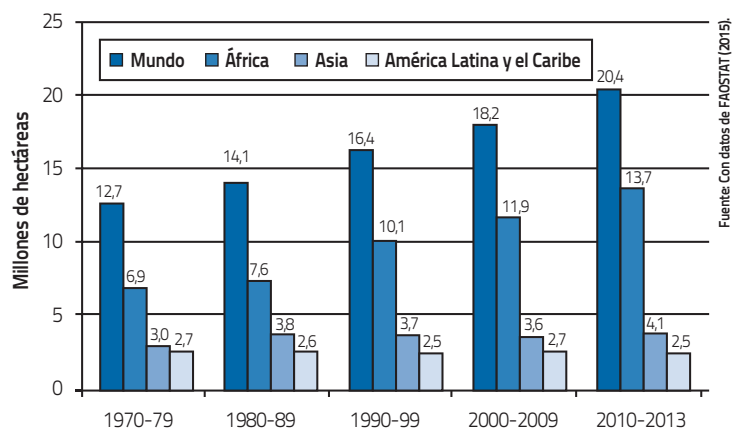
7.1 PRODUCCIÓN, ÁREA SEMBRADA Y RENDIMIENTO MUNDIAL DE MANDIOCA

Aunque la mandioca es un cultivo autóctono de América Latina, esta región aporta actualmente alrededor del 10% de la producción mundial. En 2013, según datos de la FAO, el 57% de la producción promedio de mandioca se sembró en África y el 32% en Asia. En el período de 40 años entre 1970 y 2009, la producción mundial promedio de mandioca creció un 89%, siendo África y Asia las regiones que contribuyeron a este crecimiento; la primera, triplicó su producción y, la segunda, casi la duplica. América Latina y el Caribe sólo aumentó su producción un 3%. En el período 2000-2013, se ha presentado un alto incremento en la producción mundial promedio de mandioca de 27%, valor frente al cual África y Asia aumentaron su producción promedio 33 y 34% respectivamente [23].



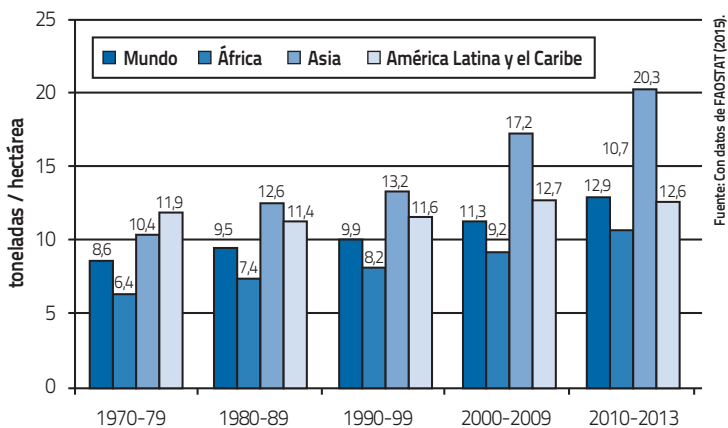
Producción mundial promedio de mandioca entre el período 1970-2013.

África, como la región de mayor producción de mandioca en el mundo, ha contribuido durante el período 1970 – 2009, en gran porcentaje, al crecimiento del área sembrada mundial promedio que creció en un 43%; así, en el período 1970 – 2009, el área sembrada promedio de África aumentó un 72% y el de Asia un 20%.



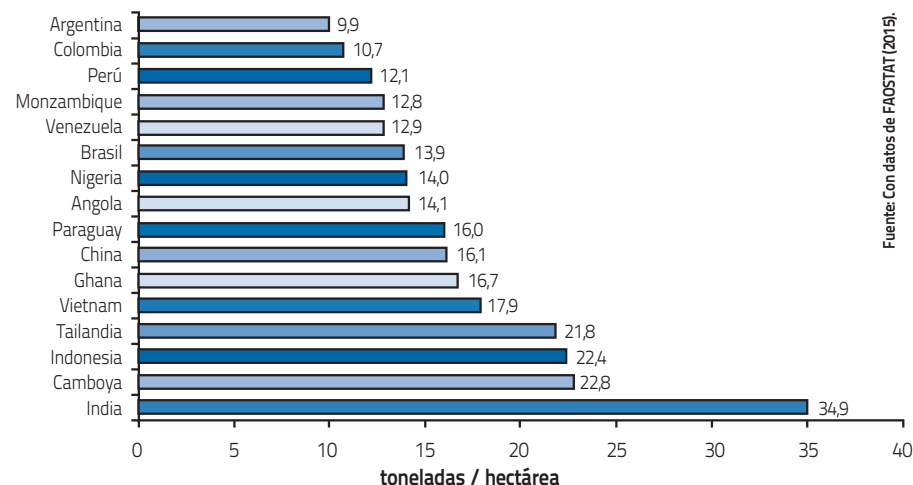
Área sembrada mundial promedio de mandioca entre el período 1970-2013.

El rendimiento promedio de mandioca en el período comprendido entre 1970 – 2009 creció un 31%. La región que logró los mayores rendimientos de mandioca fue Asia, sobresale con un aumento del 65%, seguido por África del 44%. América Latina sólo alcanzó un crecimiento del 7%. Es importante mencionar que el rendimiento promedio es general por región y por país; es decir, que en cada país existirán zonas donde los rendimientos de mandioca sean el doble o triple del promedio nacional y otras zonas con promedios muy inferiores a éste.

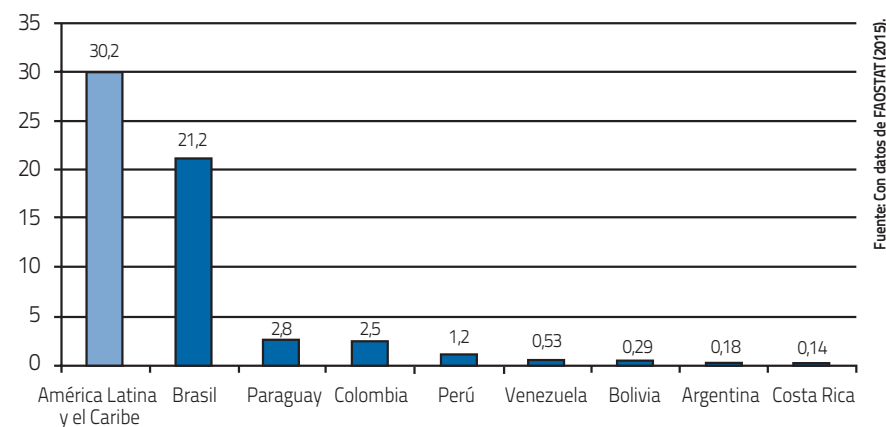


Rendimiento mundial promedio de mandioca entre el período 1970-2013.

Analizando los rendimientos promedio de algunos países en el año 2013, se observa que el país con el mayor rendimiento promedio a nivel mundial fue India con 34,9 t/ha. En Asia, sobresalieron Camboya, Indonesia y Tailandia con un rendimiento promedio aproximado de 22 t/ha. En África, los mayores rendimientos promedio fueron para Angola y Nigeria con 14 t/ha. En América Latina, Paraguay (16 t/ha) y Brasil (14 t/ha). Argentina tuvo en 2013 un rendimiento promedio de 9,9 t/ha.



Rendimientos promedio de mandioca de algunos países en 2013.



Principales países productores de mandioca en América Latina y el Caribe en 2013.

7.2 PRODUCCIÓN DE MANDIOCA EN ARGENTINA

De los países productores de mandioca en América Latina y el Caribe, en 2013 Brasil produjo el 70% de mandioca de la región (21,2 millones de toneladas) y Argentina ocupó el séptimo lugar con 180.000 toneladas producidas. La producción de mandioca en Argentina se concentra en la región del Noreste Argentino (NEA) integrado por las provincias de Corrientes, Chaco, Formosa y Misiones. En esta región la mandioca es de gran valor comercial por el consumo como uno de los productos típicos de la zona arraigado en las costumbres e idiosincrasia culinaria. Misiones posee la mayor superficie cultivada, alrededor de 18.000 hectáreas, seguida por Corrientes con 1.900, Formosa con 1.600 y Chaco con 1.000 ha. Misiones que es el principal productor de la región con el 70% de la producción, Corrientes representa el 17%, Formosa el 8% y Chaco el 5% [24].

En Misiones el cultivo de mandioca está incorporado al sistema productivo del 100% de las chacras y el 75- 80% son productores familiares. En su gran mayoría son propietarios de la tierra y siembran de 1 a 3 hectáreas. Más de 5.000 productores se dedican a la siembra de mandioca con fines comerciales, aunque en la mayoría de las 35.000 familias productoras se produce mandioca para el autoconsumo y/o la alimentación del ganado. Tanto los pequeños como los medianos productores, siembran la mandioca en forma intercalada con plantaciones de forestales o de yerba mate. De esta manera, además de diversificar la oferta de sus cultivos, se optimiza el uso del suelo y se reduce el costo de limpieza de malezas.

La provincia de Misiones posee cuatro cuencas productoras de mandioca; la primera, comprende los municipios de Gobernador Roca y Jardín América, donde se concentra la mayor cantidad de productores de mandioca para consumo en fresco y para la industria de almidón; la segunda, los municipios de Puerto Rico y Ruiz de Montoya. La tercera, los municipios de Montecarlo y Puerto Esperanza; la cuarta, el municipio de San Pedro. Uno de los aspectos más sobresalientes de la provincia de Misiones frente a las otras provincias es el tipo de suelo que predomina en la zona: la tierra roja. Este suelo cubre más del 60% del territorio y es derivado del basalto. Su coloración es rojiza o marrón-rojiza debido a la descomposición de los basaltos y metalíferos arcillosos, además de presentar un alto contenido de óxido de hierro y aluminio. En algunos lugares, se presentan pendientes muy inclinadas y en otros, suelos pedregosos.

7.3 COMERCIO INTERNACIONAL DE MANDIOCA

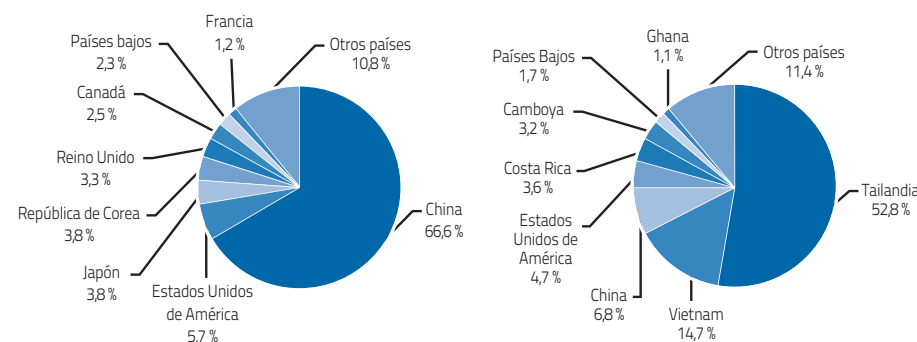
La mandioca tiene dos grandes problemas para su comercialización; el primero, que dos tercios de su contenido son agua y los costos de transporte de las raíces frescas son altos, en relación con la materia seca que contienen; por lo cual, los centros de procesamiento deben estar a máximo 50 km de distancia de los centros de producción. El segundo, es el

rápido deterioro poscosecha de las raíces, las cuales deben ser consumidas o procesadas a los pocos días de ser cosechadas. La localización del mercado de consumo, respecto de los centros de producción, afecta el precio del consumidor y, por ende, el consumo, ya que su lejanía aumenta los costos de abastecimiento. Además, el consumo de mandioca está influenciado por los hábitos, preferencias y tendencias demográficas de la población.

La mandioca compite directamente en el mercado de dietas para animales y en la industria del almidón con el maíz; cultivo que tiene consolidada una posición de liderazgo en el mercado mundial, especialmente por su grado avanzado de tecnificación, estandarización de procesos, altos rendimientos del cultivo y grandes volúmenes de abastecimiento con calidad estándar y estabilización de precios. La competencia se puede presentar por las características funcionales del almidón y por el precio. Por esta razón, la producción, el costo y utilización de la mandioca en los países tropicales depende, en gran medida, de la producción local del maíz y de sus importaciones.

De las importaciones de mandioca a nivel mundial realizadas en 2014, en forma de raíces frescas o secas incluso troceadas o en pellets, China absorbió el 66,6% de éstas en forma de trozos secos y pellets provenientes de Tailandia, que es el primer exportador mundial con más del 50% de las exportaciones de mandioca. El segundo importador fue Estados Unidos de América con 5,7% del valor de las importaciones en forma de mandioca fresca parafinada o congelada proveniente de Costa Rica, que participa con el 3,6% y ocupa el quinto lugar en las exportaciones mundiales de mandioca [25].

Fuente: Centro de Comercio Internacional (2015).



Países importadores de mandioca en 2014.

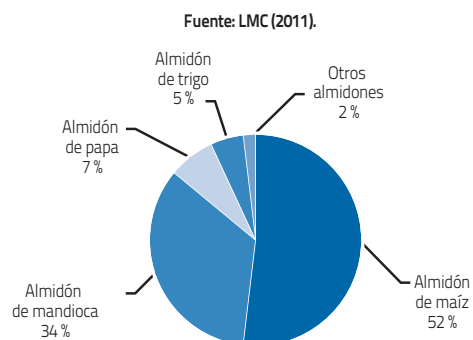
Países exportadores de mandioca en 2014.

China es el tercer productor de etanol en el mundo después de Estados Unidos y Brasil. Beijing, en 2007, estableció no usar cereales para producir biocombustibles, lo cual ha impulsado la demanda de mandioca para la producción de etanol. Actualmente, el 50% de la producción de etanol en China proviene de mandioca y de batata. Aproximadamente, produce

mil millones litros/año. De una tonelada de mandioca, con 30% de almidón, se obtienen 280 litros etanol con 96% de pureza. Tailandia y Vietnam también usan etanol de mandioca. En Vietnam, aumentará su consumo cuando entre en vigor un mandato que exige que el 5% de toda la gasolina vendida en ese país sea mezclada con etanol. Con el propósito de cumplir con la capacidad en el creciente sector de etanol, China firmó un convenio con Nigeria para exportar alrededor de 3,2 millones de toneladas de mandioca/año [22].

El precio internacional de los trozos de mandioca ha sido estable, a pesar de la fuerte demanda, que en 2013 fue de 236 USD/t. Por otra parte, los precios de la fécula de mandioca se ven influenciados por el precio del maíz, que es su principal sustituto, desde 2011 han disminuido debido al descenso en las cotizaciones del precio internacional del maíz y, en 2013, alcanzaron un valor de 472 USD/t [26].

A nivel global, más de 70 millones de toneladas (MT) de almidón son producidas por año a partir de diversos cereales, raíces y tubérculos. De éstas, alrededor de 25 MT son vendidas como almidón nativo, 8 MT como almidones modificados y el resto para la industria de edulcorantes. El almidón de mandioca es la segunda fuente de almidón en el mundo, después del almidón de maíz, y está por delante de los almidones de papa y trigo. Anualmente, se producen alrededor de 11 MT de almidón de maíz, 8 MT de almidón de mandioca, 1,5 MT de almidón de papa y 1 MT de almidón de trigo [27].



Producción mundial de almidón nativo.

Tailandia es el productor líder mundial de fécula de mandioca con una producción aproximada de 4 MT/ año y tiene una tendencia creciente en la transformación de ésta para usos industriales. Le siguen Indonesia, China, Brasil, Vietnam e India. Como era de esperarse, Tailandia es el primer exportador de fécula de mandioca (~ 1,5 MT) seguido de Vietnam, Paraguay y China. Paraguay exporta alrededor de 41% de su producción a Brasil, 26% a Argentina y 10% tanto a Chile como a Uruguay y Bolivia.

La importación de fécula de mandioca a nivel mundial se concentra en siete países del continente asiático; el 45% de las importaciones las realiza China (en 2010 importó en promedio 670.000 t), donde el mercado del etanol en este país también influencia el mercado del almidón mediante trozos secos y pellets de mandioca. Los demás importadores de la región son Taiwán, Indonesia, Malasia, Japón, Filipinas y Singapur.

El 70% de las exportaciones de mandioca fresca congelada y parafinada de Costa Rica se destinan a Estados Unidos, país que en 2014 importó un total de 68.035 t de mandioca; 39% mandioca congelada y 61% mandioca fresca o parafinada. El valor unitario de las importaciones de mandioca congelada en 2014 fue US\$ 1/kg mandioca congelada y US\$ 0,67/kg mandioca parafinada. La tendencia de importaciones muestra que el mercado de mandioca parafinada ha disminuido y se está reemplazando por mandioca congelada, debido a su mayor duración.

La Unión Europea, durante mucho tiempo, fue el principal destino de las exportaciones mundiales de mandioca en forma de pellets para la alimentación animal. Sin embargo, desde 2009, la abundancia de abastecimiento de cereales para piensos ha contribuido a la reducción de las importaciones. En Asia, el uso de raíces directamente como pienso ha estado en declive, debido a los mayores rendimientos obtenidos en el procesamiento de las raíces de mandioca para aplicaciones industriales. En especial en Brasil y Colombia, la mandioca se utiliza para la alimentación animal; alrededor de la mitad de la producción en América Latina se utiliza para este fin y el resto se destina al consumo fresco, producción de harina y almidón, y para la exportación en forma parafinada o congelada.

Medidas para promover el uso de la harina de mandioca en países tropicales, con preferencia a los cereales importados, se mantienen activos en todo el mundo. Brasil, en 2001, ordenó la mezcla del 10% de harina de mandioca en la harina de trigo para la elaboración del pan, una iniciativa estimada para absorber el 50% de la cosecha de mandioca del país. En Nigeria, en 2003, la legislación estableció el uso del 10% de harina de mandioca en la elaboración de pan; sin embargo, se usó el 5% debido a la escasez de harina de mandioca. En 2012, Nigeria impuso un gravamen adicional sobre la harina de trigo importada, por lo que las panaderías están ahora obligadas a usar 20% de harina de mandioca. Dada la importancia de la mandioca a las dietas de Nigeria, se están desarrollando propuestas para biofortificar la mandioca y contrarrestar la deficiencia de vitamina A, que es muy frecuente en este país.

Países como Mozambique y Ghana utilizan el 70% de la producción de mandioca para la elaboración de cerveza. Para lograr esto, SABMiller en África se asoció con la empresa holandesa DADTCO para realizar la extracción del almidón de mandioca in situ en las zonas productoras, utilizando una unidad móvil de procesamiento de mandioca. Por su parte, Kenia está proporcionando rebajas en impuestos a la cerveza derivada de mandioca.

8. PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA MANDIOCA SEGÚN SU USO

Los criterios de calidad para las raíces de mandioca que se destinan al consumo en fresco dependen de las normas definidas por cada país. Sin embargo, su buena calidad está asociada con el tipo de variedad que sea dulce (< 50 mg/kg de cianuro en las raíces frescas), contenido intermedio de materia seca, calidad culinaria aceptable (su tiempo de cocción no debe ser mayor de 20 min) y resistencia al deterioro. El aspecto de las raíces (forma, color de la cáscara, color del parénquima o pulpa) es fundamental y está determinado por el mercado.

Para la producción de fécula y harina de mandioca, y el secado de trozos de mandioca para la alimentación animal, los requisitos más importantes incluyen el uso de variedades de alto rendimiento y con alto contenido de materia seca, que permitan obtener una materia prima a precios competitivos. Las variedades utilizadas pueden ser amargas, dado que en el proceso de extracción de almidón el ácido cianhídrico se disuelve en las aguas de lavado y los procesos de secado solar o artificial deben garantizar una eficiente eliminación de éste.

Los criterios de calidad establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius en la Norma para la yuca (mandioca) dulce (Codex Stan 238-2003) determinan que la mandioca destinada al consumo en fresco deberá estar entera, sana y limpia, libre de daños mecánicos y magulladuras, exenta de plagas y de daños que afecten el aspecto general del producto, tener consistencia firme y estar libre de humedad externa anormal o de color extraño en la pulpa y de cualquier olor y sabor extraños. La mandioca deberá alcanzar un grado apropiado de desarrollo fisiológico, teniendo en cuenta las características de la variedad y la zona en que se producen. Las raíces deben ser homogéneas en cuanto a la forma, calidad y calibre, y deben derivar del mismo origen, variedad y tipo comercial. Deberá envasarse de tal manera que el producto esté debidamente protegido. Los materiales utilizados para el envase deberán ser nuevos, estar limpios y ser de calidad tal que evite cualquier daño externo o interno al producto y satisfacer las características de calidad, higiene, ventilación y resistencia necesarias para asegurar la manipulación, el transporte y la conservación apropiados de la mandioca. Además, la mandioca deberá cumplir con los límites máximos de residuos de plaguicidas establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius. Cada envase deberá etiquetarse con el nombre y tipo del producto, y podrá declararse el nombre de la variedad. Se requiere un texto que indique que la mandioca deberá pelarse y cocerse completamente antes de su consumo [4].

La mandioca se puede clasificar según el calibre de su diámetro en A (3,5 – 6 cm), B (6,1 – 8 cm) y C (> 8 cm). En todos los casos, las raíces no deberán pesar menos de 300 g ni tener menos de 20 cm de longitud. Además, se puede clasificar en tres categorías: "Extra", I y II.

| CARACTERÍSTICA | EXTRA | CATEGORÍA I | CATEGORÍA II |
|-------------------------------|--|--|---|
| Defectos. | Muy leves, sin afectar el aspecto general del producto. | Leves de forma. | De forma. |
| Heridas o daños cicatrizados. | Muy leve. | No superar el 5% de la superficie del producto. | No superar el 10% de la superficie del producto. |
| Raspaduras. | Muy leve. | No superar el 10% de la superficie del producto. | No superar el 20% de la superficie del producto. |
| Defectos en la pulpa. | Ninguno. | Ninguno. | Ninguno. |
| Tolerancia de calidad. | 5% de raíces de la categoría I. | 10% de raíces de la categoría II. | 10% de raíces que no satisfaga los requisitos de esta categoría, con excepción de productos afectados por pudrición o cualquier otro tipo de deterioro que impidan ser aptos para el consumo. |
| Tolerancias de calibre. | 10% de raíces que correspondan al calibre inmediatamente superior y/o inferior al indicado en el envase. | | |

Fuente: Codex Stan 238-2003.

Tabla 1. Clasificación de mandioca dulce para consumo humano.

8.1 ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA SECA

El contenido de la materia seca en raíces de mandioca se puede determinar mediante el método de la gravedad específica, que actualmente es el criterio utilizado para estimar la calidad de las raíces de mandioca en las plantas procesadoras de fécula de mandioca. Para la determinación, se seleccionan raíces de mandioca a las cuales se les limpia la tierra adherida, las raicillas o el tocón. Luego, se registra el peso de una cantidad aproximada de 3 kg de raíces de mandioca en el aire (PAire), utilizando una canastilla, y luego se registra su peso en agua (PAgua) sumergiendo la misma canastilla con las raíces de mandioca en un recipiente lleno de agua. Se debe tener la precaución de asegurarse que las raíces queden completamente sumergidas y de tarar la balanza al momento de determinar cada peso. Para la determinación del peso se pueden utilizar una balanza digital o de tipo reloj. Este es un método sencillo y práctico para estimar de forma rápida el contenido de materia seca, tanto en los lotes de cultivo como en las plantas de procesamiento de fécula de mandioca.

Luego se calcula la gravedad específica (GE), empleando la siguiente fórmula:

$$GE = \frac{PAire}{PAire - PAgua}$$



Peso de las raíces de mandioca en el aire.



Peso de las raíces de mandioca en el agua.

El resultado de GE se debe calcular con cuatro cifras decimales. Generalmente, se considera que las raíces de mandioca tienen alto contenido de materia seca, cuando el valor del peso de las raíces en el agua es 10% o más del peso de las raíces en el aire. En la industria almidonera de mandioca, el contenido de materia seca es el factor principal para establecer el precio de la mandioca; así se paga un mejor precio por las raíces con mayor contenido de materia seca.

La fórmula para determinar el contenido de materia seca (MS) en las raíces de mandioca, en porcentaje es:

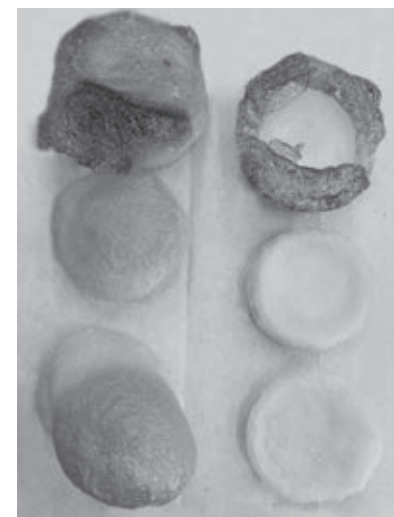
$$\% MS = (GE \times 158,26) - 142,05$$

8.2 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ESPECÍFICO

Esta técnica es utilizada para determinar el volumen específico de un pan elaborado con fécula o harina de mandioca o una pre-mezcla con fécula de mandioca que tengan poder de expansión. La fécula de mandioca nativa no tiene poder de expansión, pero cuando es fermentada adquiere esta propiedad además de características especiales de sabor, textura, olor que son deseables en la panificación.

El poder de expansión se puede observar a simple vista elaborando un pan con la fécula de mandioca que se desea analizar, de la siguiente manera:

- Precalentar el horno a 270°C.
- Engrasar moldes de pastelería con una gota de aceite y esparcirla con un paño de cocina.
- Pesar 10 g de fécula de mandioca en el molde.
- Agregar 12 g de agua y homogenizar bien la mezcla.
- Hornear durante 25 minutos.
- Enfriar los panes de 5 a 10 minutos a temperatura ambiente.



Peso de las raíces de mandioca en el agua.

Técnicamente, el cálculo del volumen específico se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen específico} = \frac{\text{Volumen desplazado (ml)}}{\text{Peso del pan (g)}}$$

El pan elaborado se pesa en una balanza y luego se mide su volumen, utilizando para ello un recipiente calibrado del cual se conoce exactamente su volumen. Se han diseñado diferentes equipos para este fin, cuyo principio consiste en usar pequeñas semillas en el interior del recipiente, dentro del cual se coloca el pan, las cuales cubren completamente el pan. Así el volumen desplazado por las semillas es usado para calcular el volumen del pan [28].

El poder de expansión depende de la variedad de la mandioca, del proceso de fermentación y del tipo de secado. La selección de variedades y de condiciones adecuadas del proceso mejoran la calidad del almidón fermentado. De acuerdo con experimentaciones realizadas con fécula de mandioca fermentada se tienen los siguientes valores de referencia [29]:

- Bajo poder de expansión: 3-9 (ml/g)
- Mediano poder de expansión: 10-12 (ml/g)
- Alto poder de expansión: 13-18 (ml/g)

8.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD CULINARIA

La calidad culinaria se refiere a las características de aceptabilidad por parte del consumidor sobre las raíces de mandioca. Las raíces utilizadas para consumo en fresco deben ser variedades dulces, que contengan menos de 50 mg/kg de HCN en el producto fresco y que estén libres de cualquier clase de deterioro.



Mandioca cocida.

Para la evaluación de la calidad culinaria, las raíces de mandioca son lavadas y peladas y sometidas a un proceso de cocción en agua. Después de la cocción, la mandioca no debe tener sabor amargo ni dulce. El primero, significa que las raíces tienen

un alto contenido de ácido cianhídrico, el cual quedó retenido después de la cocción; y el segundo, que tienen un alto contenido de azúcar. Su consistencia debe ser firme; ni dura ni blanda, sin presencia de fibras o tejidos lignificados; la textura fibrosa se relaciona con la fibra de la pulpa. El color de la mandioca debe ser blanco o amarillo, pero nunca transparente, si lo es, se presenta el fenómeno llamado 'vidriosidad', en el cual la mandioca al cocinarla se torna dura y vidriosa o traslúcida. Se ha observado que la vidriosidad está asociada con una disminución de los contenidos de la materia seca y almidón en la raíz y con un aumento en el contenido de los azúcares. Los fenoles involucrados en los procesos de deterioro fisiológico reducen la calidad de la mandioca cambiándole el sabor y el olor al cocinarla.

| CARACTERÍSTICA | ESPECIFICACIÓN |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| Tipo de variedad | Dulce (menos de 50 mg/kg de cianuro) |
| Tiempo de cocción | No mayor de 15- 20 minutos |
| Consistencia | Firme; ni muy dura ni muy blanda |
| Sabor | Ni amargo ni dulce |
| Fibras o tejidos lignificados | Ausente |
| Vidriosidad | Ausente |
| Color | Blanco o amarillo |

Tabla 2. Características de la calidad culinaria de la mandioca.

9. TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN DE MANDIOCA

La mandioca es un producto altamente perecedero, debido al rápido deterioro fisiológico y microbiano, que se inicia después de la cosecha. Con el fin de aumentar su vida útil en el mercado, se han desarrollado tecnologías de conservación para su almacenamiento en el corto, mediano y largo plazo. El éxito de la conservación de las raíces depende, en gran parte, de su calidad inicial, por lo que los procesos de cosecha y selección de las raíces son muy importantes. Así, en la cosecha se recomienda el uso de una tijera de poda para separar las raíces del tallo, dejando un pedúnculo de 1-2,5 cm, se debe evitar golpear las raíces o causarles heridas o magulladuras, además de evitar exponerlas directamente a los rayos solares. Se deben conservar bajo sombra y trasladarlas en el menor tiempo posible al lugar de procesamiento, utilizando canastillas de madera o plástico, evitando cualquier deterioro en su transporte. Las raíces deberán ser clasificadas de acuerdo con el calibre de su diámetro en tipo A, B o C y su categoría 'Extra', I o II, según las características de la Tabla 1. Se debe tener en cuenta, en todos los casos, que las raíces no deben pesar menos de 300 g ni tener menos de 20 cm de longitud. Las raíces de mandioca deben cumplir con las características de la calidad culinaria de la Tabla 2.

9.1 BOLSAS DE POLIETILENO

Esta técnica consiste en almacenar las raíces de mandioca en bolsas de polietileno con capacidad de hasta 20 kg. Las raíces seleccionadas se lavan con agua y se sumergen en una solución de fungicida (solución de Tiabendazol o Mertect al 0,4%) durante cinco minutos. Luego las raíces se dejan secar al aire libre, dispuestas en estantes bajo sombra, durante media hora. Posteriormente, se empaquetan en las bolsas de polietileno, preferiblemente de 1 - 5 kg, introduciéndolas al interior de éstas en forma vertical con el pedúnculo hacia arriba. Para evitar el exceso de temperatura y humedad interna en las bolsas, y además reducir el crecimiento de hongos y bacterias, es conveniente hacer pequeñas perforaciones distribuidas de manera uniforme en el área de la bolsa [30]. El tiempo de conservación de las raíces es de 10 - 15 días.



Raíz de mandioca apropiada para conservación.



Raíces de mandioca en bolsas de polietileno.

9.2 PARAFINADO

Para este proceso se utilizan raíces de mandioca en óptimo estado y son preferidas las variedades de mandioca con formas uniformes cilíndricas o cónicas, de tamaño mediano y con pedúnculo bien formado. Las raíces son lavadas con agua y luego sumergidas en una solución de fungicida (solución de Tiabendazol o Mertect al 0,1%), durante tres minutos. Posteriormente, son secadas al aire bajo sombra sobre estantes o en secaderos cubiertos, durante media hora. También pueden ser utilizados ventiladores para acelerar el secado.



Secado de mandioca sobre estante.



Secado de mandiocas en secadero cubierto.

Se debe garantizar que las raíces estén completamente secas antes de ser parafinadas, dado que la presencia de humedad podría encapsular vapor de agua en la superficie de la cáscara de la raíz, lo cual promueve el deterioro microbiano. Existen diferentes clases de parafina (china, alemana y nacional), la china es la más usada en el mercado por su bajo costo y manejo. La temperatura de la parafina depende de su grado de pureza, de la relación costo/rendimiento, del sistema de parafinado (manual o utilizando canastilla) y de la apariencia externa de la capa de parafina. Cuando la temperatura es muy baja la capa de parafina es muy gruesa, generando en el producto un aspecto opaco y blancuzco, además consume mayor cantidad de parafina. Si la temperatura es muy alta, ésta se evapora y puede ocasionar problemas de cocción en la pulpa. La capa de parafina en la mandioca debe ser delgada y brillante. La temperatura promedio utilizada es de 140-160°C [31]. Sin embargo, la práctica determinará la mejor temperatura de operación, un indicativo utilizado es cuando la parafina empiece a humear.

Para el proceso de parafinado por lotes se utilizan canastillas metálicas de un material liviano y fácil de manejar, dentro de las cuales son distribuidas entre 8-10 raíces de mandioca. Se usan varias canastillas, para acelerar el proceso de parafinado. Las raíces son sumergidas dentro de la parafina derretida y no deben permanecer en ésta más de tres segundos, se debe asegurar que la superficie de todas las raíces quede cubierta. Debe tenerse cuidado en la distribución de las mandiocas dentro de la canastilla al momento de parafinar; dado que si las raíces quedan muy juntas se pueden adherir unas a otras formando capas grue-

sas de parafina, que no presentan un buen aspecto, o al separarse pueden quedar espacios no cubiertos por la parafina. En procesos continuos, se usan bandas transportadoras mecánicas que aceleran el proceso de parafinado. En ambos casos, las raíces se dejan secar y luego se empaican en cajas de madera, cartón o plástico, según los requerimientos del mercado.



Distribución de raíces en canastillas para el proceso de parafinado.



Raíces de mandioca parafinadas.

9.3 REFRIGERACIÓN

Las temperaturas bajas inhiben los procesos enzimáticos responsables del deterioro fisiológico, lo cual permite conservar las raíces en buenas condiciones. Para esta técnica, las raíces son lavadas y peladas, y se sumergen en una solución desinfectante (hipoclorito de sodio, dióxido de cloro, cloro activo) al 0,1 % para eliminar microorganismos presentes en la raíz. Posteriormente, las raíces son troceadas y se sumergen en una solución que contenga un agente antioxidante (ácido cítrico, ascorbato de sodio o eritorbato de potasio, entre otros). Luego las raíces se introducen en bolsas plásticas cerradas y se almacenan en un cuarto frío a una temperatura entre 0-2°C. También puede ser utilizado un refrigerador doméstico, donde las raíces permanecen en buenas condiciones hasta por cuatro semanas.

9.4 CONGELACIÓN

Esta es una técnica de conservación muy efectiva; sin embargo, su desventaja es el alto costo de los equipos y la posible variación de textura y calidad culinaria de las raíces de mandioca. Las raíces son lavadas con agua, se eliminan sus extremos distal y proximal

y se cortan en secciones cilíndricas de 5-6 cm de altura, luego se retira la corteza. Los cilindros se lavan con agua por segunda vez y después se sumergen en una solución desinfectante (hipoclorito de sodio, dióxido de cloro, cloro activo) al 0,1 %. Durante la desinfección se debe verificar permanentemente la aparición de algún color parduzco o pardeamiento en la pulpa de las raíces. Los cilindros se parten en trozos o astillas y de cada uno de ellos se elimina la fibra central y se sumergen en una solución antioxidante (ácido cítrico, ascorbato de sodio o eritorbato de potasio entre otros). Luego, los trozos se empaican en bolsas plásticas cerradas y se almacenan en un cuarto frío a una temperatura de - 18°C [31]. La mandioca congelada en estas condiciones puede conservarse por más cuatro meses.



Desinfección y troceado de raíces.



Eliminación de la fibra central.



Trozos de mandioca empacados.

Una agroindustria destinada a la elaboración de productos de mandioca, utilizando tecnologías de conservación, podría tener en cuenta en el proceso de selección de las raíces que las raíces de categoría "Extra" se destinen al proceso de parafinado, las raíces de categoría I se pueden utilizar para el mercado de trozos o astillas refrigeradas o congeladas, y las raíces de categoría II se pueden usar para la elaboración de productos procesados como los precocidos, fritos u horneados. Esto con el fin de aprovechar de manera eficiente la materia prima y reducir al máximo el material de desperdicio.

10. TECNOLOGÍAS DE PROCESAMIENTO DE MANDIOCA

El desarrollo de productos elaborados o semi-elaborados, derivados del procesamiento de la mandioca, son una excelente alternativa para reducir la alta perecibilidad de la raíz, además de aumentar el valor del producto y ser propuestas que satisfacen las necesidades de consumo de la población, particularmente, relacionadas con las nuevas tendencias de alimentos más saludables y tradicionales, alimentación cómoda (flexibilidad, conveniencia, agilidad y simplicidad) y snackficación. Dentro de estos productos se destacan alimentos precocidos tipo croqueta, "carimañola" o "arepa"; mandioca frita tipo snack y los productos horneados derivados de fécula de mandioca tipo chipa o "pandeyuca" y productos horneados derivados de las raíces frescas de mandioca como la torta de mandioca o "enyucado" y el casabe. Esto además facilita el acceso de los productos derivados de la mandioca en zonas urbanas, debido a las dificultades en su distribución, relacionadas con los costos de transporte y su perecibilidad. Los productos procesados de mandioca mejoran la competitividad, generan mayor valor agregado y permiten su comercialización en mayores cantidades.

10.1 PRECOCCIÓN

En esta técnica, la mandioca, una vez pelada y lavada, es cortada en trozos y cocinada en agua hasta que esté blanda. El punto exacto de cocción es diferente para cada variedad de mandioca, debe ser firme, ni dura ni blanda, por lo que se debe estandarizar la calidad de la materia prima. La mandioca se deja enfriar y luego es macerada en un molino de discos o los usados para procesar carne. La masa se pone a punto de sal y, si se desea, se mezcla con productos saborizantes. Con esta masa es posible elaborar croquetas, "carimañolas" o arepas.

En el caso de las croquetas, la masa es moldeada en diferentes formas (prisma, deditos, palitos, etc.) mediante un formador de tornillo que tiene un disco perforado con la forma deseada. Las "croquetas" son prefritas en aceite a una temperatura entre 170-180°C, durante un minuto. Luego se dejan enfriar y se someten a una congelación rápida a -30°C por 24 horas, luego se empacan en bolsas de polietileno para venta en el mercado y se almacenan en un cuarto frío a una temperatura de -18°C.

Para elaborar "arepas" de mandioca se forman un par de masas aplanadas de forma circular (se puede usar un rodillo), de diámetro aproximado de 10 cm y espesor máximo de 5 mm, entre las cuales se coloca una lámina de queso. Luego se unen los bordes el exterior de las dos masas aplanadas para formar una sola. La "arepa" es asada a la plancha o puede ser horneada.

Para las carimañolas se toma un pedazo de masa y se aplanan en la mano, se presiona con un dedo en el centro y se coloca dentro un relleno de carne, pollo, pescado, queso, guisado o huevo. Luego la masa se cierra con los bordes de la misma masa y se fríe en aceite caliente hasta que dore. Se escurren en papel absorbente y se sirve caliente.



Croquetas de mandioca.



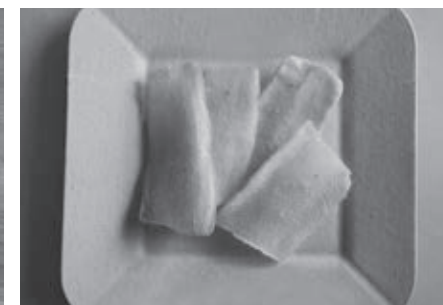
Arepa de mandioca.

10.2 FRITURA

Para la elaboración de mandioca frita, las raíces (lavadas y peladas) se cortan en rodajas muy finas en forma longitudinal o transversal, se dejan secar para eliminar el exceso de humedad. La fritura se realiza en freidores, donde el tipo de aceite, la temperatura y el tiempo de fritura influyen en la calidad del producto. La temperatura del aceite debe mantenerse a temperatura óptima durante todo el proceso, ésta puede variar entre 175-185°C. El aceite no debe calentarse mucho, ni por más tiempo del necesario, para minimizar la hidrólisis. La absorción de grasa de la mandioca durante el freído se debe reducir al mínimo, porque esto afecta el aspecto y la aceptabilidad del producto.



Mandioca frita con corte longitudinal.

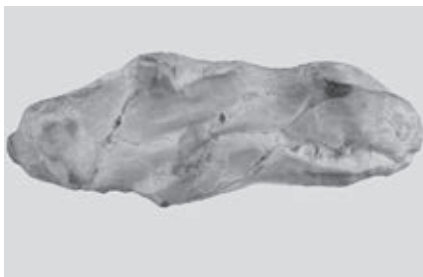


Mandioca frita con corte transversal.

10.3 HORNEADO

La fécula de mandioca puede ser utilizada para la elaboración de productos horneados como las chipas, entre las más conocidas en la región del NEA se encuentran el chipá o chipacito, chipa M´Boca, chipá quesú y chipa barrero.

El chipá quesú es un pan de mandioca horneado, elaborado con fécula de mandioca, manteca de vaca, mucho queso, huevo y sal. Los ingredientes se mezclan de forma homogénea hasta obtener una masa de consistencia adecuada para su formado. El chipa M´boca contiene fécula de mandioca, leche, huevos, manteca de vaca, queso en pedacitos y sal. Este producto es elaborado de una forma particular; la masa es colocada alrededor de una rama de bambú, para que tome la forma de un tubo la cual se hace girar sobre brasas de carbón. Estos dos productos son típicos de la provincia de Corrientes.



Chipá quesú.



Chipa M´boca.

El chipa o chipacito es elaborado con fécula de mandioca, huevos, queso, leche, manteca de vaca y sal. Los ingredientes se mezclan y se forman bolitas pequeñas, las cuales se hornean a una temperatura de 250°C por un tiempo de 15-20 minutos. El chipa barrero es un pan horneado, en forma de rosquilla, elaborado con fécula de mandioca, harina de maíz, manteca, huevos, queso, anís, leche y sal. Este producto es muy consumido en la provincia de Formosa y también en Paraguay.



Chipá o chipacito.



Chipa barrero.

Para elaborar la torta de mandioca o ‘enyucado’, la mandioca (lavada y pelada) se ralla finamente y se mezcla con queso, coco rallado, azúcar y manteca de vaca, además se puede añadir anís molido. Se mezclan todos los ingredientes y la masa se coloca en un molde, previamente engrasado, y se hornea a una temperatura de 180°C, por 45 minutos o hasta dorar. Se debe dejar enfriar antes de servir.

El casabe es un pan tostado elaborado de mandioca fresca, de textura sólida, tostada y crocante, de sabor neutro que, por lo general, se consume acompañado de otros alimentos. Para su elaboración, la mandioca (lavada y pelada) se ralla muy finamente. La masa es exprimida, para eliminar su exceso de agua, utilizando una tela o un recipiente perforado. De la lechada se puede extraer posteriormente almidón. Luego, la masa es cernida mediante un tamiz, para separar la parte fibrosa de la parte fina. La masa cernida es amasada y moldeada en forma de torta delgada con un espesor no mayor a un centímetro, o se puede hacer de mayor tamaño y luego fraccionarla.

El producto se extiende sobre una plancha caliente hasta que se cueza y dore, luego es volteada para terminar de tostarla obteniendo un producto crujiente que tienen la textura de una galleta. Es un producto con alto contenido de fibra el cual puede ser saborizado con sal, azúcar, ajo, manquilla, coco, picante, queso, canela, finas hierbas entre otros.



Torta de mandioca o ‘enyucado’.



Casabe.

11. PRODUCCIÓN DE FÉCULA DE MANDIOCA

En la provincia de Misiones existen alrededor de 13 industrias dedicadas a la producción de fécula de mandioca. La mayoría de estas empresas tiene tecnologías modernas de procesamiento procedentes de Brasil. Estas empresas procesan aproximadamente unas 70.000 toneladas de raíces al año, las cuales son transformadas en 17.500 toneladas de fécula de mandioca [1]. Su producción depende, principalmente, de su capacidad financiera de acopio, la producción de mandioca en la zona, los días útiles de trabajo, las tecnologías de procesamiento y el rendimiento de la extracción de fécula. La molienda de mandioca se realiza en el período que va de marzo a septiembre, con un promedio de 20 días de trabajo al mes, que es el período en el cual se dispone de materia prima, por lo que la capacidad ociosa de estas industrias alcanza más del 50% por la falta de mandioca. Una alternativa ante esta situación es la combinación de siembras escalonadas y la identificación de variedades de mandioca que puedan ser cosechadas en diferentes épocas del año, y así garantizar el suministro continuo de mandioca. Otras de las restricciones para el desarrollo industrial del sector son la falta de diversificación industrial de productos de mayor valor agregado, la carencia en la implementación de sistemas integrados de gestión de calidad y la gran competencia con la fécula de mandioca importada que ingresa de Paraguay, Brasil, Taiwán y Tailandia, como de productos nacionales como la harina de trigo y almidón de maíz [32].



La mandioca es un alimento libre de gluten, por lo que se encuentra dentro de los productos que pueden ser declarados 'sin TACC', lo cual significa que el producto no contiene proteínas de trigo, avena, cebada o centeno. En 2011, mediante la Ley N° 26.588 en Argentina se estableció que se deben rotular los productos que son libres de gluten, como es el caso de la fécula de mandioca. Para que una empresa incluya este sello en sus productos debe cumplir con tres requisitos: capacitar al personal sobre lo que significa procesar un producto libre de gluten, demostrar que se tiene una línea de proceso libre de gluten y comprobar mediante pruebas y análisis que el producto que elabora está libre de gluten. Para conservar esta autorización se deben realizar análisis anuales. La renovación de la licencia se hace cada 5 años y los análisis son realizados por el Ministerio de Salud de la Provincia.

Entre las principales características de la fécula de mandioca se destacan su alta viscosidad, formación de geles claros y estables con baja tendencia a retrogradarse, buena estabilidad en soluciones, particularmente en condiciones estresantes como medios ácidos y bajas temperaturas durante el almacenamiento, alta capacidad de absorción de agua, mayor velocidad de hidratación, alto poder de expansión cuando está fermentada, sabor limpio y suave que no enmascara otros sabores.

El almidón está formado por unidades de glucosa dispuestas en dos componentes: amilosa y amilopectina. El nivel de amilosa en la fécula de mandioca varía entre 17-22%. La relación amilosa/amilopectina cambia de una variedad de mandioca a otra y también

entre plantas de la misma variedad. La estructura y la cantidad relativa de ambos componentes del almidón juegan un papel importante en la determinación de las propiedades funcionales de la fécula de mandioca.

Las etapas del proceso de la extracción de fécula de mandioca se aplican en todas las tecnologías y varían dependiendo de los equipos utilizados. Se encuentran tecnologías artesanales (50-60 kg fécula/día), medianamente mecanizadas (1-10 t fécula/ día) y modernas (15-150 t fécula/ día). Al pasar de una tecnología a otra aumenta la eficiencia del proceso de extracción y su rentabilidad; en las tecnologías artesanales la eficiencia de extracción es 17-20%, en las medianamente mecanizadas es 17-25% y en las modernas 27-33% [29].

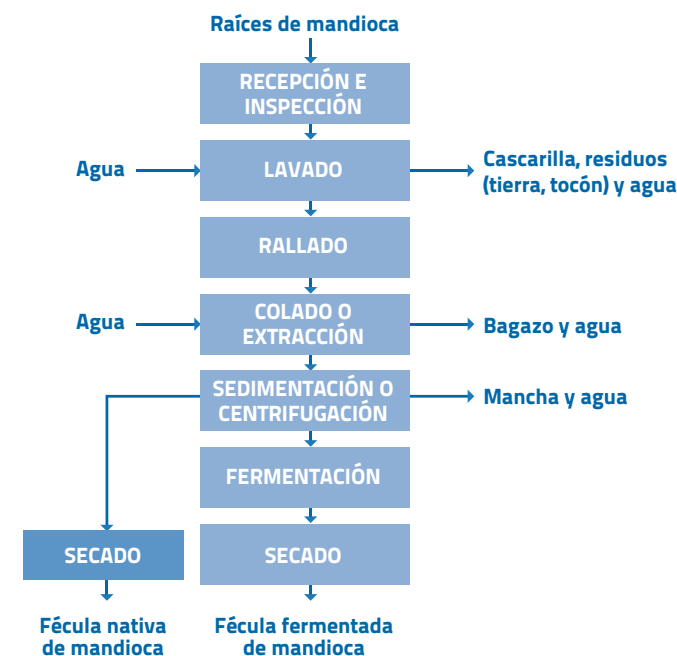


Diagrama de flujo de la producción de fécula de mandioca nativa o fermentada.

En la producción de fécula de mandioca las raíces son lavadas con agua para eliminar la tierra y la cascarilla. Se debe evitar la pérdida de la cáscara, ya que también contiene almidón. En esta etapa también es utilizado el lavado con una solución desinfectante (hipo-

clorito de sodio) para reducir la carga microbiana. Luego, las raíces son ralladas para liberar los gránulos de almidón contenidos en las células de las raíces. La eficiencia de esta operación determina, en gran parte, el rendimiento del proceso de extracción. Si el rallado no es eficiente, no se logran separar totalmente los gránulos de almidón de las fibras; el rendimiento del proceso es bajo y se pierde mucho almidón en el bagazo. Por otra parte, si el rallado es demasiado fino, los gránulos muy pequeños de almidón sufren daño físico y más tarde deterioro enzimático.

La masa rallada es lavada con agua para separar el almidón, el cual queda suspendido en una lechada, que luego es recuperado por sedimentación o centrifugación, dependiendo del nivel tecnológico, donde también es separada la mancha (almidón mezclado con material proteico). Ésta es la etapa que consume mayor volumen de agua.

El almidón recolectado con 45-50% de humedad, si se destina a la elaboración de fécula de mandioca nativa, es secado por exposición a los rayos solares (sobre láminas de zinc, esteras de bambú forradas de plástico negro o sobre bandejas) o por secado artificial (secador de aire caliente o tipo flash), dependiendo de la tecnología utilizada. Luego, el almidón seco es molido, tamizado y empacado.

Si el almidón se destina a la obtención de fécula fermentada, antes del secado, es conducido a tanques de fermentación para que adquiera características de sabor, textura y olor y poder expansión en el horneado. La fermentación es un proceso natural realizado por bacterias lácticas amilolíticas en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno en el medio). Los tanques de fermentación tienen dimensiones variables y, en general, son construidos en ladrillo recubiertos con madera en su interior. El almidón se coloca dentro de los tanques y se adiciona una capa delgada de agua (3-5 cm) para mantener el medio sin oxígeno, los cuales se cubren para evitar la evaporación del agua y la contaminación. El almidón se conserva allí de 20 a 30 días, tiempo que puede variar dependiendo de las condiciones ambientales [33]. El inóculo para la fermentación puede ser agua de un tanque en el que se haya dado el proceso de fermentación, un trozo de almidón ya fermentado o ácido láctico.

Terminada la fermentación, el almidón con un pH entre 3,5 - 4, se extrae de los tanques, se desmenuza y se seca con calor solar hasta una humedad de 12-14%, luego se muele y se empaca. Se ha comparado el secado al sol con el secado en hornos y la irradiación con luz ultravioleta; sin embargo, el almidón secado artificialmente tiene un menor poder de expansión y diferentes propiedades reológicas que las obtenidas con el secado solar [34].

Los residuos obtenidos en la producción de fécula de mandioca son el bagazo, la cascarilla, la mancha y las aguas residuales. La cascarilla puede ser utilizada como abono de suelos, el bagazo se utiliza en forma húmeda o seca en la alimentación animal y también ha sido utilizado como sustrato en el cultivo de hongos comestibles. La mancha, generalmente, se usa para alimentación de porcinos por su alto contenido en proteína. Las aguas residuales pueden ser usadas en la elaboración de biogás o también como herbicida. La Tabla 3 muestra la composición química en base seca de productos y subproductos de la mandioca [35].

| PRODUCTOS | PROTEÍNA CRUDA (%) | EXTRACTO ETÉREO (%) | FIBRA CRUDA (%) | CENIZA (%) |
|---------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------|------------|
| Raíces secas | 3,1 | 1,3 | 3,1 | 1,9 |
| Hojas secas | 24 | 6,5 | 20,6 | 6,2 |
| Almidón seco | 0,7 | 0,3 | 0,5 | 0,4 |
| Cáscara seca | 5,6 | 2,1 | 12,9 | 6,1 |
| Bagazo seco | 2,5 | 0,8 | 12,5 | 4,3 |
| Mancha seca | 4,2 | 1,0 | 0,7 | 1,5 |
| Hojas, tallos tiernos y pecíolo secos | 13,1 | 1,2 | 30,9 | 6,2 |
| Tallos tiernos y pecíolo secos | 7,6 | 1,3 | 32,8 | 6,4 |

Fuente: Con datos de Buitrago (1990).

Tabla 3. Composición química de productos y subproductos de la mandioca.

El proceso de extracción de fécula consume grandes cantidades de agua; en las tecnologías de pequeña y mediana escala se consumen alrededor de 7-10 m³/ t mandioca fresca y en las tecnologías modernas 5-6 m³/ t de mandioca fresca. Por lo cual, se deben reducir los consumos de agua mediante la recirculación del agua de las etapas de colado o extracción y de sedimentación o centrifugación para utilizarla en la etapa de lavado de las raíces. Las aguas residuales causan un gran impacto ambiental, por el alto contenido de demanda química de oxígeno (DQO) que presentan, el cual debe ser reducido antes de descargarlas a las corrientes de agua superficial. Estas aguas se pueden utilizar para la generación de biogás, el cual puede usarse para la generación de vapor para el secado del almidón o también puede ser transformado en energía eléctrica, con el fin de alcanzar una eficiencia energética de 85-90% y un beneficio ambiental enorme.

11.1 REQUISITOS DE CALIDAD DE LA FÉCULA DE MANDIOCA

El Código Alimentario Argentino, en su Capítulo IX. Alimentos farináceos – cereales, harinas y derivados, define Almidón o Fécula (según corresponda), como la materia orgánica que, en forma de gránulos, se encuentran en los corpúsculos especiales incluidos en el protoplasma de células vegetales en la etapa de la maduración. La denominación de Almidón corresponderá a los gránulos que se encuentran en los órganos aéreos de las plantas, y la de Fécula, a los que se encuentran en las partes subterráneas (raíces, tubérculos, rizomas) [36].

La fécula de mandioca deberá cumplir con los requisitos fisicoquímicos de la Tabla 4. Además, deberá cumplir con las exigencias microbiológicas establecidas para los produc-

tos alimenticios en general, en los límites definidos por el tipo de industria a la cual se destine. Se prohíbe la venta de fécula obtenida de raíces húmedas, averiadas, alteradas, invadidas por insectos, ácaros, etc., y que no respondan a su denominación, composición y caracteres normales del producto.

| FACTOR | LÍMITE |
|---------------------------|------------------------------|
| Presentación | Polvo fino o grumos friables |
| Humedad a 100° - 105 °C | Máx. 15% |
| Cenizas a 500° - 550 °C | Máx. 0,5% |
| Nitrógeno total (en N) | Máx. 0,15% |
| Grasas | Máx. 0,15% |
| Celulosa (fibra) | Máx. 0,3% |
| Acidez (en ml.sol. 0,1 N) | Máx. 5,0% |
| Anhídrido sulfuroso total | Máx. 80 mg/kg (80 ppm) |
| Arsénico (como As) | Máx. 3 mg/kg (3 ppm) |
| Plomo (como Pb) | Máx. 5 mg/kg (5 ppm) |

Fuente: ANMAT (2014).

Tabla 4. Requisitos de calidad de la fécula de mandioca.

Cuando en el proceso de extracción de fécula de mandioca se usan raíces con algún tipo de deterioro fisiológico o microbiano, no es posible garantizar que los procesos de lavado y extracción eliminen completamente los problemas asociados a este tipo de deterioro, por lo que esto se puede reflejar en un aumento del conteo microbiológico de la fécula. Por otra parte, si se usan raíces de corteza color morada u oscura, es posible que la fécula pueda presentar una coloración; por ello, es preferible usar variedades de mandioca de cortezas claras. Otra razón de la coloración de la fécula, es debido al uso de temperaturas de secado muy altas o por una hidrólisis parcial de la fécula, donde se liberan azúcares reductores que pueden generar reacciones de pardeamiento con el calor. Además, las altas temperaturas de secado modifican las propiedades reológicas de la fécula, particularmente variaciones en la viscosidad, porque se puede presentar gelatinización del almidón y, por ende, formación de grumos en el producto final.

El uso de secado solar puede generar que la fécula contenga un alto contenido de cenizas. Un color grisáceo de la fécula es un indicativo de la presencia de fermentación, que puede darse por un secado no homogéneo o por un alto contenido de humedad, unido al aumento de acidez titulable y pH bajo. Además, la fécula puede presentar un alto contenido de proteína, que la hace susceptible al ataque de varios microorganismos, o un alto contenido de fibra como consecuencia del sistema de colado o extracción utilizado. Por lo general, la fécula de mandioca que es secada por calor solar es de aspecto granular y se

hidrata más rápido que la fécula obtenida mediante tecnología moderna, de secado rápido, que se caracteriza por ser un polvo fino.

11.2 USOS DE LA FÉCULA DE MANDIOCA

Los almidones nativos presentan ciertas limitaciones para uso industrial. La fécula de mandioca es un producto de bajo valor agregado, pero si se modifica mediante tratamientos físicos, químicos o enzimáticos es posible mejorar sus características y propiedades funcionales y, de esta manera, usarse en un amplio rango de aplicaciones industriales y aumentar su valor en el mercado. La Tabla 5 compara el valor agregado del almidón de mandioca nativo con almidones modificados y productos derivados de la mandioca [37].

| PRODUCTO | VALOR DEL PRODUCTO/VALOR DE LA MANDIOCA |
|-------------------------------------|---|
| Almidón nativo | 2,00 |
| Almidón de bajo grado de modificado | 3,89 |
| Almidón de alto grado de modificado | 6,67 |
| Almidón modificado especial | 13,33 |
| Jarabe de glucosa | 3,00 |
| Dextrosa | 5,50 |
| Maltosa de alta pureza | 5,38 |
| Sorbitol | 11,67 |
| Manitol | 10,07 |

Fuente: Shuren (2001).

Tabla 5. Valor agregado de algunos productos derivados de la mandioca.

La fécula de mandioca no sólo se usa en Argentina para elaborar chipa, chipá o chipacito, caburé y mbeýú, entre otras comidas regionales, sino que es usada en la elaboración de muchos productos alimenticios (en especial, los frigoríficos o chacinados) y como materia prima en diversas aplicaciones en las industrias química, papelería, farmacéutica y textil.

Dentro de las principales aplicaciones de la fécula de mandioca en la industria alimentaria se destaca su uso como espesante, estabilizador, aglutinante, emulsificante, generador de cuerpo y textura, medio de molde y absorbente de humedad. En la industria no alimentaria se usa como adhesivo, apresto, excipiente, absorbente, lubricante, floculante, mejorador de viscosidad, ligante, vehículo de sustancias, aglomerante, dispersante, diluyente y conservante.

El almidón modificado de mandioca y sus derivados enfrentan un gran desafío para competir con el almidón nativo y modificado de maíz. Por lo tanto, debe darse especial va-

lor a la investigación y el desarrollo de almidones modificados de mandioca, y a la vez continuar incrementando la productividad del cultivo, mediante el mejoramiento y la selección específica de variedades de mandioca y el desarrollo de paquetes tecnológicos apropiados para cada provincia en particular. También es necesario fortalecer la colaboración entre los productores y la industria, y crear alianzas entre el desarrollo y la investigación agrícola e industrial, los cuales son factores claves para incrementar la competitividad de la mandioca.

| TIPOS DE MODIFICACIÓN | PRODUCTO | APLICACIÓN |
|-----------------------|------------------------------------|--|
| Física | Almidón pregelatinizado | Alimentos instantáneos, industria de papel, alimentación animal, fundición, materiales de construcción. |
| | Piro-dextrinas | Adhesivos en la industria de papel y cartón, aglutinante, diluyente para colorantes y aromas. |
| Química | Almidón hidrolizado | Alimentos, apresto industria textil, elaboración de papel. |
| | Almidón Hidroxipropilado | Alimentos y dulces. |
| | Almidón oxidado | Agente ligante para cartón, textiles, alimentos (salsas, mayonesas), repelentes de agua. |
| | Almidón acetilado | Elaboración de papel, textiles, fundición, alimentos, snacks. |
| | Almidón catiónico | Aditivo en la pulpa de papel. |
| | Carboximetil almidón | Lubricante para la perforación de pozos de petróleo, medicina, materiales de construcción. |
| | Almidón entrecruzado | Alimentos congelados, panificación, farmacéutica, textiles, industria química. |
| | Almidón esterificado | Productos congelados y ultracongelados. |
| | Almidón eterificado | Apresto industria textil, papel y cartón, alimentos. |
| | Copolímeros de almidón por injerto | Materiales de alta absorción de agua (pañales, toallas higiénicas), apresto en textiles, aguas residuales (floculante y clarificantes), espesante en sistemas acuosos. |

| TIPOS DE MODIFICACIÓN | PRODUCTO | APLICACIÓN |
|-----------------------|--------------------------|--|
| Enzimática | Jarabes de glucosa | Confitería, salsas, jugos, encurtidos. |
| | Dextrosa | Panificación, confitería, lácteos, farmacéutica. |
| | Jarabes de alta fructosa | Bebidas carbonatadas y no carbonatadas, panificación, conservas, mermeladas. |
| | Maltodextrinas | Encapsulante de aroma y sabor, espesante, estabilizante de emulsiones y espumas, alimentos infantiles y dietéticos, helados, panificación, lácteos, sustitutos de grasa. |
| | Ciclodextrinas | Estabilizante de sustancias volátiles, emulsiones y compuestos aromáticos; farmacéutica, encapsulante de aroma y sabor, biocatalizadores |
| | Sorbitol | Producción de vitamina C, alimentos dietéticos, pasta dental y cosméticos. |
| | Manitol | Endulzante bajo en calorías, poliéster y poliéter. |
| | Ácido láctico | Cervecería, farmacéutica, cosmética, química fina, tabaco, alimentos, seda. |
| | Ácido Itacónico | Fabricación de resinas sintéticas y de intercambio iónico, plástico, caucho, surfactantes y agentes oxidantes. |

Tabla 6. Almidones modificados según su tipo de modificación y sus principales aplicaciones.

12. PRODUCCIÓN DE HARINA DE MANDIOCA

La harina de mandioca tradicionalmente es obtenida a partir de raíces lavadas y peladas, a las cuales se les retiran tierra y la cascarilla. Posteriormente, las raíces son sumergidas en una solución desinfectante (hipoclorito de sodio, dióxido de cloro, cloro activo). Luego las raíces son troceadas para reducir su tamaño y acelerar el proceso de secado; el tamaño del trozo influye considerablemente en el tiempo de secado. Los trozos pueden ser secados al sol, sobre bandejas inclinadas o mediante secadores artificiales (de capa fija, de bandejas, rotativos o flash). Se han realizado diferentes estudios para evaluar la velocidad del secado usando distintos tamaños de trozos en bandejas inclinadas y se ha determinado que el tamaño de un trozo de rápido secado es en promedio 0,5 cm² de área seccional y 3 cm de largo [38]. Finalmente, los trozos secos son molidos y tamizados para separar la fibra o ripio y obtener la harina de mandioca.

El rendimiento del proceso de obtención de harina de mandioca es: 2,7 kg raíces de mandioca frescas/1 kg trozos de mandioca secos con una humedad del 12 % y 1,3 kg trozos de mandioca secos/1 kg harina de mandioca. Es decir, 3,5 kg raíces de mandioca frescas/1 kg harina de mandioca.

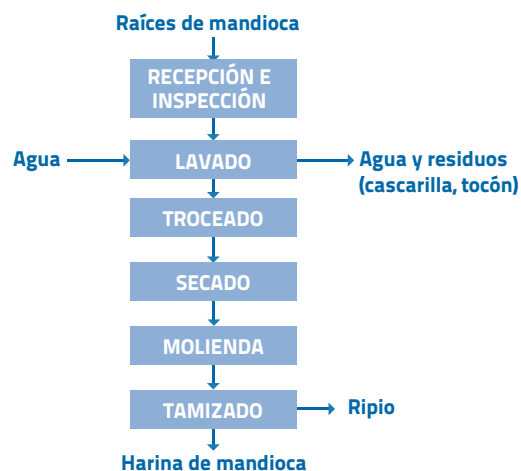


Diagrama de flujo de la producción de harina de mandioca.

12.1 REQUISITOS DE CALIDAD DE HARINA DE MANDIOCA

La Comisión del Codex Alimentarius en la Norma (Codex Stan 176-1989) establece que la harina de mandioca (yuca) comestible deberá ser inocua y apropiada para el consumo hu-

mano. Estar exenta de sabores y olores extraños o de cualquier impureza en cantidades que puedan representar un peligro para la salud humana. Su contenido de humedad debe ser máximo 13%, aunque se recomienda que para determinados destinos, por razones de clima, duración del transporte y almacenamiento pueden requerirse límites de humedad más bajos para garantizar su calidad. Los métodos de análisis y muestreo de la harina de mandioca comestible deben ser apropiados y los resultados deben garantizar que el producto está exento de microorganismos o parásitos en cantidades que representen un peligro para la salud y no deben contener ninguna sustancia extraña. La harina de mandioca deberá envasarse en recipientes que salvaguarden las cualidades higiénicas, nutritivas, tecnológicas y organolépticas del producto. Si se usan sacos de papel o plástico, éstos deben estar limpios, ser resistentes y estar bien cosidos o sellados [5].

| FACTOR | LÍMITE |
|---|--|
| Humedad | Máx. 13 % |
| Contenido de ácido cianhídrico | Máx. 10 mg/kg |
| Fibra bruta | Máx. 2 % |
| Ceniza | Máx. 3 % |
| Metales pesados | Ausencia |
| Olor y sabor extraños | Exenta |
| Residuos de plaguicidas y contaminantes | Ausente |
| Aditivos alimentarios | Conforme a la legislación del país en que se vende el producto |
| Tamaño de partícula | Harina fina: min. el 90 % deberá pasar por un tamiz de 0,60 mm Harina gruesa: min. el 90 % deberá pasar por un tamiz de 1,20 mm |

Fuente: Codex Stan 176-1989.

Tabla 7. Requisitos de calidad de la harina de mandioca comestible.

12.2 USOS DE LA HARINA DE MANDIOCA

La harina de mandioca puede ser utilizada como sustituto parcial de la harina de trigo, en panificación, y también puede sustituir harinas de cereales como el maíz y arroz; lo cual podría reducir costos y aumentar la producción de mandioca a nivel local. Uno de los más populares usos de harina de mandioca en el mundo es la elaboración de productos de panificación. Puede utilizarse en formulaciones de alimentos tales como pan, galletas, tortas, pasteles, pastas, biscochería (muffins, doughnuts), así como en productos extruidos como snacks o cereales para el desayuno. También puede ser usada como espesante, en apanados o como rebosador, extensor de sopas deshidratadas, condimentos, papillas para bebés, dulces y carnes procesadas. A nivel industrial se puede utilizar para la elaboración de cerveza, adhesivos y bioplásticos.

La producción de pan con harina compuesta trigo-mandioca proporciona oportunidades para la biofortificación del pan resultante del uso de variedades de mandioca con altos contenidos de carotenoides, una fuente de pro vitamina A, además de ser un producto libre de gluten y apto para personas con enfermedad celiaca, intolerantes al gluten. Diferentes estudios se han realizado usando sustituciones de harina de trigo por harina de mandioca, los cuales han determinado que niveles de sustitución entre el 5 y el 15% no tienen efectos significativos sobre la elaboración del pan y su calidad. Sustituciones por encima del 20% requieren la adición de aditivos alimentarios, tales como emulsionantes, enzimas, hidrocoloides, gomas, lípidos, proteínas u otros mejoradores para aumentar la calidad del pan y su valor nutricional. Sin embargo, el uso de éstos podría aumentar el costo de producción de pan. En la producción de galletas, la harina de mandioca puede sustituir hasta el 100% con una aceptabilidad general en cuanto a color, aroma, textura, crocancia y sabor.

Ha sido reportado que la inclusión de soya produce una significativa actividad emulsificante e incrementa la capacidad de absorción de agua por efecto de sus proteínas y las interacciones establecidas con la amilopectina pueden retardar el proceso de retrogradación. Tortas con harina compuesta soya/mandioca/trigo con el 30% de harina de mandioca y hasta el 20% de harina de soya fueron comparables en calidad y aceptabilidad, en términos de color sabor, sensación en la boca y textura que las tortas hechas con 100% harina de trigo [39].

| PRODUCTO | MATERIA PRIMA SUSTITUIDA | NIVEL DE SUSTITUCIÓN (%) |
|----------------------------------|---|--------------------------|
| Pan | Harina de trigo | 5-20 |
| Galletas | Harina de trigo | 10-100 |
| Tortas, Muffins, pancakes | Harina de trigo | 30-100 |
| Pastas alimenticias | Harinas de trigo y arroz | 50-100 |
| Mezclas para apanados, rebosador | Harina de trigo | 50-100 |
| Snacks | Harinas de trigo, arroz, maíz | 100 |
| Condimentos | Harina de maíz y sémola de arroz | 50-80 |
| Mezclas para coladas y sopas | Harinas de trigo, arroz, maíz y plátano | 10-40 |
| Carnes procesadas | Harina de trigo, almidón de papa | 5-10 |
| Cerveza | Cebada, maíz, arroz | 15-50 |
| Adhesivos | Almidones de maíz | 50-100 |
| Bioplásticos | Polietileno, polipropileno | 10-60 |

Tabla 8. Productos en los cuales puede ser utilizada la harina de mandioca.

13. PROCESAMIENTO DE MANDIOCA PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

La mandioca puede ser utilizada de forma integral en la alimentación animal; sus raíces son una fuente de carbohidratos y energía y el follaje aporta proteína, fibra y pigmentos naturales, tanto para animales monogástricos, rumiantes y herbívoros no rumiantes. Además de ser un producto que se puede usar en diversas formas, tales como fresca, seca o ensilada.

Cuando se considera la planta de mandioca desde el punto de vista de su uso en la alimentación animal, se presentan dos alternativas: dirigir la producción hacia un alto rendimiento de raíces o hacia un alto rendimiento de follaje. La más común es la primera, dedicada a la alta producción de raíces y la parte aérea tiene una importancia secundaria. La segunda opción, se puede obtener mediante cultivos especializados en la producción de follaje, opción de importancia en programas de alimentación de rumiantes. En ambos casos, los sistemas de producción son diferentes en cuanto a variedades de mandioca, densidades de siembra, fertilización, edad de corte y sistemas de procesamiento.

Es necesario tener en cuenta que la forma en la cual se suministra la mandioca y sus derivados a los animales depende del contenido de humedad y la concentración energética del producto, y por ello se debe ajustar su uso al tipo de especie animal y a su fase de producción. La Tabla 9 resume las limitaciones de la mandioca y sus derivados en programas de alimentación de aves, cerdos, bovinos y equinos en sus diferentes fase de producción [35].

| GRUPO ANIMAL | EDAD O FASE DE PRODUCCIÓN | GRADO DE UTILIZACIÓN* | | | | | | |
|--------------|---------------------------|-----------------------|------------------|--------------|----------------|--------------|---------------|-------------|
| | | Raíces frescas | Raíces ensiladas | Raíces secas | Follaje fresco | Follaje seco | Bagazo fresco | Bagazo seco |
| Aves | Pollos de engorde | - | - | +++ | - | + | - | + |
| | Pollas de reemplazo | + | - | +++ | - | + | + | ++ |
| | Ponedoras | + | - | +++ | - | ++ | + | ++ |
| | Reproductoras | + | - | +++ | - | ++ | + | ++ |
| Cerdos | Lechones | - | - | ++ | - | - | - | - |
| | Levante (crecimiento) | ++ | ++ | +++ | - | - | ++ | ++ |
| | Ceba (engorde) | +++ | +++ | +++ | - | + | +++ | +++ |
| | Gestación | +++ | +++ | +++ | ++ | +++ | +++ | +++ |
| | Lactancia | ++ | ++ | +++ | + | ++ | ++ | +++ |

| GRUPO ANIMAL | EDAD O FASE DE PRODUCCIÓN | GRADO DE UTILIZACIÓN* | | | | | | |
|--------------|---------------------------|-----------------------|------------------|--------------|----------------|--------------|---------------|-------------|
| | | Raíces frescas | Raíces ensiladas | Raíces secas | Follaje fresco | Follaje seco | Bagazo fresco | Bagazo seco |
| Bovinos | Terneros lactantes | + | - | + | + | ++ | - | + |
| | Levante, ceba | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | Vacas en lactancia | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| Equinos | Potros | + | - | + | + | +++ | - | ++ |
| | Adultos | ++ | + | +++ | ++ | +++ | ++ | +++ |

Fuente: Buitrago (1990). * +++: muy eficiente, ++: aceptable, + deficiente, - negativa

Tabla 9. Importancia relativa de productos y subproductos de mandioca para diferentes tipos y fases de producción de animales, según su grado de utilización.

| PRODUCTO / SUBPRODUCTO | HUMEDAD (%) | PROTEÍNA (%) | ENERGÍA DIGESTIBLE (MCAL/KG) |
|------------------------|-------------|--------------|------------------------------|
| Raíces frescas | 65 | 1,3 | 1,2 |
| Raíces secas | 12 | 3,2 | 3,4 |
| Raíces ensiladas | 55 | 1,6 | 1,3 |
| Cáscara fresca | 72 | 1,6 | 0,8 |
| Cáscara seca | 12 | 5,6 | 2,2 |
| Follaje fresco | 74 | 6,8 | 0,6 |
| Follaje seco | 10 | 2,4 | 1,5 |
| Follaje ensilado | 70 | 2,1 | 0,7 |
| Bagazo fresco | 90 | 0,3 | 1,0 |
| Bagazo seco | 10 | 2,5 | 2,9 |
| Mancha fresca | 95 | 0,2 | 0,8 |
| Mancha seca | 10 | 4,2 | 3,3 |

Fuente: Con datos de Buitrago (1990).

Tabla 10. Contenido de proteína y energía de productos y subproductos de mandioca.

Por su valor energético, la mandioca y sus derivados ofrecen buenas oportunidades para la alimentación animal. Sin embargo, a pesar de las cualidades nutricionales (Tabla 10), su utilización depende del precio de las raíces frescas y de su calidad, en términos comparativos con los ingredientes que sustituiría en los alimentos balanceados: el maíz y el sorgo. Por lo cual, su precio en promedio debería ser 30 % menos que el maíz y 20% menos que el sorgo. Además, se deberá garantizar un suministro constante de estos productos durante todo el año, mediante el uso de sistemas de secado, tanto solar como arti-

ficial, para competir con la oferta constante de sus productos sustitutos. Las perspectivas de incrementar la utilización de la mandioca en la alimentación animal se darán cuando se logren incrementos en la productividad del cultivo resultado del uso de variedades de alto rendimiento y de la implementación de prácticas agronómicas adecuadas.

13.1 REQUISITOS DE CALIDAD DE LA MANDIOCA SECA PARA CONSUMO ANIMAL

La mandioca seca destinada para consumo animal deberá derivar de mandioca fresca, la cual puede ser lavada o limpiada, debe estar libre de materias extrañas e impurezas y no debe presentar ningún tipo de infestación. Es conveniente retirar el tocón de las raíces. No debe presentar olores diferentes a los propios del producto, y su color debe ser blanco o crema con partículas cafés debido a la presencia de cáscara deshidratada. Puede ser clasificada en dos categorías 1 y 2, dependiendo de sus características de calidad descritas en la Tabla 11 y cumplir con los requisitos microbiológicos de la Tabla 12 [40]. La mandioca debe empacarse en sacos de un material apropiado que garantice la conservación del producto, además de ser almacenada sobre estibas de madera en un lugar libre de humedad, de contaminación y de infestación por plagas como el "gorgojo harinoso" ataque al cual es muy susceptible.

| REQUISITOS | CATEGORÍA 1 | CATEGORÍA 2 |
|-------------------------------|-------------|-------------|
| Humedad (%), máximo | 12,0 | 12,0 |
| Cenizas totales (%), máximo | 3,5 | 7,0 |
| Fibra cruda (%), máximo | 5,0 | 7,5 |
| Proteína (%), máximo | 2,0 | 2,0 |
| Cianuro total (mg/kg), máximo | 100,0 | 100,0 |

Fuente: NTC 3528 (2002)

Tabla 11. Requisitos fisicoquímicos de la mandioca seca para consumo animal.

| REQUISITOS | MÁXIMO |
|---|----------------------|
| Recuento de mohos y levaduras (UFC/ g) | 10 x 10 ³ |
| Recuento de coliformes (UFC/ g) | 10 x 10 ² |
| Aislamiento de <i>E.Coli</i> | Ausente |
| Aislamiento de <i>Salmonella</i> / 25 g | Ausente |
| Aflatoxina B1 (µg/ kg) | < 50 |

Fuente: NTC 3528 (2002).

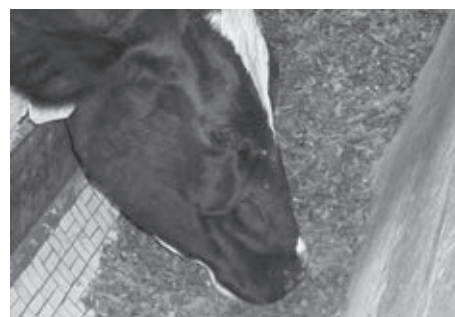
Tabla 12. Requisitos microbiológicos para la mandioca seca para consumo animal.

13.2 MANEJO DE RAÍCES Y FOLLAJE EN FORMA FRESCA

El follaje contiene glucósidos cianogénicos, igual que ocurre en el caso de las raíces, además de que una vez cosechados, éstos tienen un alto contenido de humedad, por lo que la concentración de nutrientes se afecta y se limita su uso. Por lo cual, es necesario promover la eliminación del HCN mediante el picado de las raíces y el follaje realizando un oreo de estos materiales durante 5-12 horas antes de suministrarlos en forma fresca a los animales. El follaje de mandioca en forma fresca se puede utilizar como alimento para animales especialmente rumiantes y herbívoros no rumiantes. Por otra parte, dado que el picado de la mandioca acelera el proceso de deterioro, esta actividad se debe realizar solamente cuando se va a utilizar este producto, ya sea para orearla y suministrar en forma fresca a los animales o para procesar en forma de ensilaje o secar los trozos.



Mandioca troceada en forma fresca.



Follaje troceado en forma fresca.

13.3 SECADO DE RAÍCES Y FOLLAJE DE MANDIOCA

Las raíces y el follaje de mandioca se deshidratan para incrementar la concentración total de nutrientes y facilitar la preservación del alimento final. Además, la deshidratación elimina la mayoría de los componentes cianogénicos que producen efectos tóxicos en la alimentación animal. El secado se puede hacer por medio de la energía solar o usando secadores artificiales. Cualquiera que sea el tipo de secado, existen ciertos factores que afectan la velocidad de secado, tales como la humedad inicial del producto, la geometría de los trozos, la carga por unidad de superficie de secado y las condiciones ambientales, además de la velocidad, temperatura y humedad relativa del aire. En las etapas iniciales del secado de trozos de mandioca y follaje, éstos pierden humedad rápidamente, y la velocidad del aire es más importante que la temperatura y la humedad relativa. En la etapa final, cuando se alcanza una humedad inferior al 30%, el secado es muy lento y se necesitan temperaturas altas para retirar el agua residual. La humedad inicial de la mandioca y el follaje, influyen no solamente en el rendimiento del proceso de secado, sino también en el factor de conversión [35].

En dietas para aves de postura y pollos de engorde, es muy importante considerar las xantófilas pigmentantes y la vitamina A, que contiene la harina de follaje, la cual garantiza una excelente pigmentación de la yema del huevo y la grasa subcutánea en la piel aunque se usa con limitación (5-6%) a causa del contenido de fibra.



Alimentación para aves.



Alimentación para cerdos.

| ESPECIE | HARINA DE RAÍCES DE MANDIOCA (%) | HARINA DE HOJAS DE MANDIOCA (%) |
|---------|----------------------------------|---------------------------------|
| Aves | 25 - 30 | 6 - 8 |
| Bovinos | 40 | 50 |
| Cerdos | 20 - 40 | 6 - 8 |
| Equinos | 30 | 50 |
| Peces | 5-15 | 5-10 |

Tabla 13. Nivel límite estimado de inclusión de harina de raíces y hojas en alimentos balanceados.

13.4 ENSILAJE DE RAÍCES Y FOLLAJE DE MANDIOCA

El proceso de ensilaje de raíces o de follaje de mandioca permite conservar la calidad y el valor nutricional de estos productos una vez cosechados. El ensilaje aumenta la concentración energética del producto y su contenido de proteína. Las raíces de mandioca ofrecen condiciones propicias de humedad y contenido de carbohidratos, que permiten una fácil fermentación, la cual ocurre mediante la intervención de bacterias y microorganismos que se desarrollan en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno en el medio) y transforman parcialmente el almidón en ácidos orgánicos: acético, butírico, propiónico y láctico. La intensidad de la transformación se mide por los cambios de pH de la masa ensilada, el cual debe ser inferior a 4,5 y preferiblemente 4. El proceso de ensilaje elimina parte del ácido cianhídrico, lo cual es importante cuando se usan variedades amargas.



Silo de bolsa.



Silo de superficie.

Las raíces que se van a ensilar deben estar sanas y recién cosechadas, se deben lavar y picar en trozos pequeños para facilitar su compactación y una mejor conservación del producto ensilado. Luego, los trozos son depositados en el silo, usando cantidades moderadas y formando capas delgadas, para luego compactarlas, con el fin de extraer al máximo el aire que pueda quedar en la masa ensilada. Si se usa también follaje se debe picar y dejar orear por lo menos durante 8 horas, también se puede enriquecer con otros productos como urea y melaza, dependiendo del uso que se le dé al ensilaje. Luego el silo se debe cerrar herméticamente para evitar el intercambio de aire [41].

| COMPONENTE | CANTIDAD (%) | | | |
|---------------------|--------------|------|------|------|
| Raíces de mandioca | 20,0 | 33,0 | | 98,2 |
| Follaje de mandioca | 80,0 | 65,5 | 92,0 | |
| Urea | | 1,5 | | 1,8 |
| Melaza | | | 8,0 | |

Fuente: Gil (2006).

Tabla 14. Formulación de mezclas para ensilaje.

Existen diferentes estructuras aptas para ensilar como silos bunker o de trinchera, silos de bolsa (plástico negro calibre 6-8), silos enterrados, silos de superficie, etc. El ensilaje se debe dejar mínimo 30 días para empezar a suministrarlo a los animales, normalmente cerdos y ganado. Se debe suministrar sal mineralizada a voluntad. El ensilaje debe ser complemento de las dietas y se recomienda su uso entre 1,8-3% del peso vivo del animal.

13.5 USO DE SUBPRODUCTOS DE LA EXTRACCIÓN DE FÉCULA DE MANDIOCA EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

El bagazo puede ser suministrado a ganado lechero en forma húmeda y mezclado con el concentrado, con o sin adición de agua. Experimentaciones han demostrado que la alimentación con bagazo de mandioca a ganado lechero mejora la palatabilidad del alimento concentrado, haciendo lucir el ganado más satisfecho que cuando lo come sin la adición del bagazo. Este método de alimentación incrementa la producción de leche, aunque reduce ligeramente su contenido de grasa [42].

La mancha, a pesar de que representa un volumen mínimo en el proceso de extracción de fécula de mandioca, su calidad nutricional es excelente, ya que la mayoría de los sólidos corresponden a almidón y tiene un alto contenido en proteína. Se utiliza, generalmente, en la alimentación de porcinos.

13.6 ELABORACIÓN DE BLOQUES NUTRICIONALES

Los bloques nutricionales son productos para suministrar nutrimentos necesarios a los bovinos, durante períodos de sequía en donde la calidad de los forrajes se ve afectada por los bajos niveles de proteína y fibra. Son de fácil elaboración y almacenamiento. Se pueden realizar mezclas, dependiendo del tipo de ganado a alimentar. Así, para ganado de leche se recomiendan mezclas que aporten niveles elevados de proteína y fibra, y para ganado de carne se buscan niveles elevados de energía.



Alimentación animal con bloque nutricional.

El bloque se coloca en comederos cubiertos, donde los animales tengan libre acceso para un consumo a voluntad. Para animales jóvenes, el consumo está alrededor de 150-

300 g/día. Para animales adultos, el consumo está entre 400–600 g/día. Es recomendable acostumar a los animales al consumo de forma gradual, esto se hace restringiéndolo a una hora al día. No se debe suministrar a caballos ni a cerdos. No es recomendable elaborar bloques nutricionales de gran peso, ya que se dificulta su manipulación. Un peso apropiado es entre 10 y 25 kg.

Para la elaboración del bloque nutricional los ingredientes se seleccionan y se pesan. Se mezclan la harina de mandioca con la harina de hoja de mandioca y la sal mineralizada. Aparte en un recipiente se disuelve la urea (preferible molida) en un poco de agua y se mezcla con la melaza hasta que se incorporen completamente. Esta última mezcla se combina con la preparación inicial hasta tener una masa homogénea. Finalmente se adiciona el CaO y se mezcla bien. Si aumenta la temperatura de la mezcla es un indicativo que el bloque va a compactar. La masa se deposita en un molde (balde, caja) recubierto en su interior de un plástico para evitar que el bloque se adhiera a las paredes del recipiente. Se compacta fuertemente utilizando una prensa hidráulica o mediante piedras pesadas. Finalmente, el bloque se saca del molde y se deja secar, preferiblemente al sol, por un día en un sitio libre de humedad [41].

| INGREDIENTE | CANTIDAD (%) |
|-----------------------------|--------------|
| Harina de mandioca | 26,41 |
| Harina de hojas de mandioca | 8,91 |
| Melaza | 47,30 |
| Urea | 2,02 |
| Sal mineralizada | 7,78 |
| Oxido de Calcio (CaO) | 7,58 |

Tabla 15. Formulación de un bloque nutricional.

13.7 ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE FERMENTACIÓN MICROBIANA

Uno de los procedimientos más eficientes para el crecimiento de microorganismos en la mandioca como sustrato, es el método de fermentación líquida, el cual utiliza una cepa del hongo *Aspergillus fumigatus* como inóculo. Este método permite obtener un producto con un contenido de proteína de 35–45%. El procedimiento consiste en adicionar mandioca fresca rallada en un tanque fermentador que contiene agua, el cual se calienta a una temperatura entre 65–70°C para que el almidón se gelatinice. Luego, se agrega agua hasta obtener una concentración de carbohidratos totales de 4% a una temperatura de 45°C. Posteriormente, se añade ácido sulfúrico para bajar el pH hasta 3,5, urea (como fuente de nitrógeno) y fosfato potásico (como fuente de fósforo). Finalmente, se adiciona el inóculo y se deja fermentar durante 20 horas [43].

14. BIBLIOGRAFÍA

1. Cadavid LF. 2002. Suelo y fertilización para la yuca. En: Ospina B, Ceballos H (eds.). La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, CO. p. 104 – 125 (Publicación CIAT; N° 327) ISBN 958-694-043-8
2. Domínguez CE. 1981. Morfología de la planta de yuca. Cali, Colombia: CIAT.
3. Balagopalan C, Padmaja G, Nanda SK, Moorthy SN. 1988. Cassava in Food, Feed and Industry. Bocaraton, Florida, Estados Unidos de América: CRC Press.
4. Wheatley C. 1983. Almacenamiento de raíces frescas de yuca. Cali, Colombia: CIAT.
5. Comisión del Codex Alimentarius. 2011. Norma del Codex para la yuca (mandioca) dulce. Codex Stan 238-2003. Recuperado de: http://www.codexalimentarius.org/standards/list-standards/es/?no_cache=1
6. Comisión del Codex Alimentarius. 1995. Norma del Codex para la harina de yuca comestible. Codex Stan 176-1989. Recuperado de: http://www.codexalimentarius.org/standards/list-standards/es/?no_cache=1
7. Comisión del Codex Alimentarius. 2013. Anteproyecto de niveles máximos para el ácido cianhídrico en la yuca y productos de yuca. CX/CF 13/7/10. Recuperado de: ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccf/cccf7/cf07_10_Add1s.pdf
8. Comisión del Codex Alimentarius. 2013. Código de prácticas para reducir el ácido cianhídrico (HCN) en la yuca (mandioca) y los productos de yuca. CAC/RCP 73-2013. Recuperado de: http://www.codexalimentarius.org/standards/list-standards/es/?no_cache=1.
9. Chávez AL, Sánchez T, Rodríguez-Amaya DB, Nestel P, Tohme J, Ishitani M. 2007. Retention of carotenoids in cassava roots submitted to different processing methods. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87, 388–93.
10. Ceballos H, Sánchez T, Morante N, Fregene M, Dufour D, Smith AM, Denyer K, Pérez JC, Calle F, Mestres C. 2007. Discovery of an Amylose-free Starch mutant in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(18), 7469–76.
11. Fregene M, Ángel F, Gómez R, Rodríguez F, Chavarriaga P, Roca W, Tohme J, Bonierbale M. 1997. A molecular genetic map of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Theoretical and Applied Genetics, 95, 431–41.
12. Cadavid LF. 2004. Manual de producción de yuca. Cali, Colombia: CLAYUCA.
13. Howeler RH, Cadavid LF. 1983. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during 12 months growth cycle of cassava. Field Crop Research, 7: 325–40.

14. Ospina B, García ML, Alcalde CA. 2002. Sistemas mecanizados de siembra y cosecha para el cultivo de la yuca. En: Ospina B, Ceballos H (eds.). La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, CO. p. 326 – 339 (Publicación CIAT; N° 327) ISBN 958-694-043-8
15. Howeler RH. 1981. Nutrición mineral y fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Cali, Colombia: CIAT.
16. Calle F. 2002. Control de malezas en el cultivo de la yuca. En: Ospina B, Ceballos H (eds.). La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, CO. p. 126 – 128 (Publicación CIAT; N° 327) ISBN 958-694-043-8
17. Álvarez E, Llano G. 2002. Enfermedades del cultivo de la yuca y métodos de control. En: Ospina B, Ceballos H (eds.). La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, CO. p. 131 – 147 (Publicación CIAT; N° 327) ISBN 958-694-043-8
18. Verdier V. 2002. Bacteriosis Vasculosa (o Añublo Bacteriano) de la yuca causada por *Xanthomonas axonopodis* pv. *Manihotis*. En: Ospina B, Ceballos H (eds.). La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, CO. p. 148 – 159 (Publicación CIAT; N° 327) ISBN 958-694-043-8
19. Calvert L, Cuervo M. 2002. Enfermedades Virales de la yuca en América del Sur. En: Ospina B, Ceballos H (eds.). La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, CO. p. 262 – 268 (Publicación CIAT; N° 327) ISBN 958-694-043-8
20. López J. 2002. Semilla vegetativa de yuca. En: Ospina B, Ceballos H (eds.). La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, CO. p. 49 – 75 (Publicación CIAT; N° 327) ISBN 958-694-043-8
21. Howeler RH. 1978. The mineral nutrition and fertilization of cassava. In: Dominguez C. (ed). Cassava production course. Cali, Colombia: CIAT.
22. UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). 2015. Infocomm Commodity Profile Cassava. Recuperado de: <http://www.unctad.info/en/Infocomm/AACP-Products/COMMODIRY-PROFILE---Cassava/>
23. FAOSTAT. 2015. Producción. Cultivos primarios. Base de datos estadísticos de la FAO. Recuperado de: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>
24. De Bernardi L. 2011. Mandioca. En: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Alimentos Argentinos. Paseo Colon: Luis Grassino.
25. Centro de Comercio Internacional. 2015. Estadísticas de comercio internacional de bienes por grupos de productos. 0714. Recuperado de: <http://www.intracen.org/itc/analisis-mercados/estadisticas-importaciones-producto-pais/>
26. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Food Outlook. Biannual Report on Global Food Markets. Rome, Italy: FAO.
27. LMC (LMC International). 2011. Trends in the Global Starch Industry. Recuperado de: http://www.lmc.co.uk/Starch_and_Fermentation-Reports
28. Vanhamel S, Van den Ende L, Darius PL, Delcour JA. 1991. A volumeter for breads prepared from 10 grams of flour. *Cereal Chem.*, 68(2): 170-72.
29. Aristizábal J, Sánchez T. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO, 163. Roma, Italia. 134 p. ISBN: 978-92-5-305677-4
30. Wheatley C. 1991. Conservación de raíces de yuca en bolsas de polietileno. Cali, Colombia: CIAT.
31. Sánchez T, Alonso L. 2002. Conservación y acondicionamiento de las raíces frescas. En: Ospina B, Ceballos H (eds.). La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, CO. p. 503 – 526 (Publicación CIAT; N° 327) ISBN 958-694-043-8
32. Lysiak E. 2012. Mercado mundial de fécula de mandioca y la participación de Argentina. En: Bongiovanni R, Morandi J, Troilo L. Competitividad y calidad de los cultivos industriales: caña de azúcar, mandioca, maní, tabaco, té y yerba mate. Manfredi, Córdoba: INTA.
33. Alarcón F, Dufour D. 1998. Almidón agrario de yuca en Colombia. Tomo 1: Producción y recomendaciones. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD). Cali, CO. 35 p. (Publicación CIAT; N° 268) ISBN 958-9439-67-5
34. Brabet C, Chuzel G, Dufour D, Raimbault M, Giraud J. 1996. Improving cassava sour starch quality in Colombia. In: Dufour D, O'Brien G, Best R (eds.). Cassava Flour and starch: Progress in research and development. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, stationed at the Cassava Utilization Section (CIRAD-SAR). Cali, CO. p. 241-246. (Publicación CIAT; N° 271) ISBN 958-9439-88-8

35. Buitrago, J. 1990. La yuca en la alimentación animal. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, CO. 446 p. (Publicación CIAT; N° 85) ISBN 958-9183-10-7
36. ANMAT (Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica). 2014. Código Alimentario Argentino. Capítulo IX. Alimentos Farináceos - Cereales, Harinas y Derivados. Recuperado de: http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO_IX.pdf
37. Shuren J. 2001. Production and use of modified starch and starch derivatives in china. In: Howeler RH, Tan S L (eds.). Cassava's Potential in Asia in the 21st Century: Present Situation and Future Research and Development Needs. Proceedings of the Sixth Regional Workshop. Feb 21-25, 2000. Ho Chi Minh, Vietnam: CIAT- IAS.
38. Alonso L, Ospina B, Best R. 2002. Secamiento de trozos de yuca en bandejas inclinadas. En: Ospina B, Ceballos H (eds.). La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, CO. p. 433 – 443 (Publicación CIAT; N° 327) ISBN 958-694-043-8
39. Ugwuona FU, Ogara JI, Awogbenja MD. 2012. Chemical and sensory quality of cakes formulated with wheat, soybean and cassava flours. Indian J.L.Sci., 1(2), 1-6.
40. ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 2002. Alimentos para animales. Yuca integral seca para consumo animal. NTC 3528. Bogotá, Colombia.
41. Gil JL. 2006. Uso de la yuca en alimentación animal. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA). Cali, Colombia.
42. Marjuki. 2010. The use of cassava starch factory waste (pulp) as feed for dairy cattle by smallholder farmers in east Java, Indonesia. In: Howeler RH. (ed.). A New Future for Cassava in Asia: Its Use as Food, Feed and Fuel to benefit the Poor. Proceedings of the Eighth Regional Workshop. Oct 20-24, 2008. Vientiane, Lao PDR: CIAT- NAFRI.
43. Gregory KF. 1977. Cassava as a substrate for single-cell protein production: Microbiological aspects. In: Nestel B, Graham M. (eds). Cassava as animal feed. Proceedings of a workshop held at the University of Guelph, Ottawa: Canada: International Development Research Centre.

NOTAS

**PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL**

—

**PRODUCCIÓN,
PROCESAMIENTO, USOS,
Y COMERCIALIZACIÓN
DE MANDIOCA**



INTI



Unión Europea

Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490
Fax (54 11) 4752 5919
www.ue-inti.gob.ar



**Ministerio de Producción
Presidencia de la Nación**