

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
CARRERA INTERDISCIPLINARIA DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

EXTRACCION DE ALMIDON A PARTIR DEL  
FRIJOL MUNGO (Vigna radiata)

PROYECTO DE GRADUACION PRESENTADO A LA  
CARRERA INTERDISCIPLINARIA DE TECNOLOGIA  
DE ALIMENTOS COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIADA EN  
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

MARTA EUGENIA BUSTAMANTE MORA

Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio"

1988

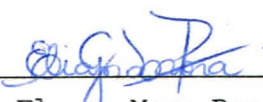

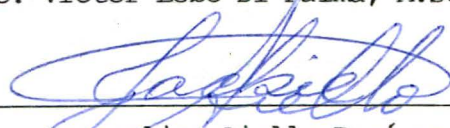
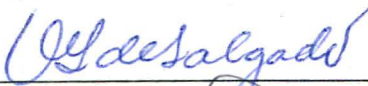
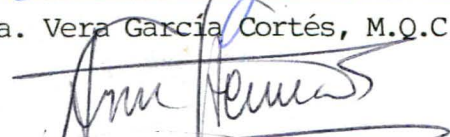
EXTRACCION DE ALMIDON A PARTIR DEL

FRIJOL MUNGO (Vigna radiata)

MARTA EUGENIA BUSTAMANTE MORA

PROYECTO DE GRADUACION PRESENTADO A LA CARRERA  
INTERDISCIPLINARIA DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL GRADO  
DE LICENCIADA EN TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

APROBADO POR:

 _____ Lic. Eleana Mora Peraza	Directora
 _____ Lic. Víctor Lobo Di Palma, M.Sc.	Profesor Asesor
 _____ Lic. Jacqueline Aiello Ramirez	Profesora Asesora
 _____ Dra. Vera García Cortés, M.Q.C.	Presidente del Tribunal
 _____ Lic. Armando Acuña Bonilla, M.Sc.	Profesor Designado

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

1988

-ii-

## DEDICATORIA

A mis padres por enseñarme  
el camino y acompañarme  
mientras lo recorría.

## RECONOCIMIENTO

Por la valiosa ayuda prestada durante la realización de este trabajo, mi profundo e imperecedero agradecimiento a:

- Miembros del Comité Asesor.
- Centro de Investigaciones en Tecnología de Alimentos (CITA).
- Misión Técnica Agrícola de China.
- Molinos de Costa Rica S.A.
- Ing. Jesús Gómez, Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA).
- Alimentos Infantiles Gerber de Centroamérica S.A.
- Centro de Investigaciones para Granos y Semillas (CIGRAS).
- Dr. Edgar Gutiérrez Espeleta, Escuela de Estadística, Universidad de Costa Rica.

## INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
DEDICATORIA .....	-iii-
RECONOCIMIENTO .....	-iv-
INDICE GENERAL .....	-v-
INDICE DE CUADROS .....	-vii-
INDICE DE FIGURAS .....	-ix-
ABREVIATURAS .....	-x-
RESUMEN .....	-xi-
1. INTRODUCCION .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
3. MARCO TEORICO .....	4
3.1 Aspectos generales sobre el frijol mungo .....	4
3.2 Almidones .....	9
3.2.1 Aspectos generales .....	9
3.2.2 Proceso general de extracción de almidón ....	12
3.2.3 Proceso de extracción del almidón del frijol mungo .....	13
4. MATERIALES Y METODOS .....	18
4.1 Localización .....	18
4.2 Materia prima .....	18
4.3 Equipo .....	19
4.4 Métodos .....	22
4.4.1 Caracterización físico-química del frijol mungo	22
4.4.2 Composición química aproximada de los fideos transparentes .....	23
4.4.3 Extracción del almidón del frijol mungo .....	24
4.4.4 Evaluación de los procesos .....	33
4.4.5 Diseño experimental .....	36
5. RESULTADOS Y DISCUSION .....	39
5.1 Evaluación físico-química de los granos de frijol mungo	39
5.2 Evaluación de la composición química de los fideos transparentes .....	43

## INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
5.3 Evaluación de los procesos estudiados .....	45
5.3.1 Observaciones generales de los procesos .....	45
5.3.2 Análisis de los criterios de evaluación .....	51
6. CONCLUSIONES .....	71
7. RECOMENDACIONES .....	73
8. BIBLIOGRAFIA .....	74
9. APENDICES .....	76
APENDICE 1. PESO DE PRODUCTO FINAL Y CARACTERISTICAS QUI- MICAS OBTENIDAS EN LAS REPETICIONES DE CADA PROCESO .....	77
APENDICE 2. AMILOGRAMAS DE LOS ALMIDONES OBTENIDOS EN CADA REPETICION DE CADA PROCESO .....	79
APENDICE 3. CARACTERISTICAS DE GELIFICACION DE LOS ALMI- DONES OBTENIDOS EN CADA PRUEBA .....	89

INDICE DE CUADROS

<u>Cuadro</u>		<u>Página</u>
1	Composición química aproximada del frijol mungo ( <i>Vigna radiata</i> ) .....	5
2	Composición química del frijol común y del frijol de soya .....	7
3	Actividad hemaglutinante y antitriptica de extractos crudos de algunas leguminosas .....	8
4	Equipo y reactivos utilizados en los análisis químicos .....	20
5	Equipo utilizado en las pruebas de extracción de almidón .....	21
6	Aleatorización de las pruebas de extracción de almidón .....	37
7	Tamaño del grano del frijol mungo .....	40
8	Composición química de los cuatro cultivares de frijol mungo que se producen en Costa Rica .....	41
9	Composición química del fideo transparente marca Vermicelli .....	44
10	Volumen de los frijoles mungo antes y después de la operación de remojo .....	48
11	Rendimiento promedio obtenido en cada proceso .....	53
12	Resultados de los cálculos estadísticos con respecto al rendimiento promedio obtenido en cada proceso ..	54
13	Contenido de almidón promedio de los productos obtenidos en cada proceso .....	58
14	Resultados de los cálculos estadísticos con respecto al contenido de almidón promedio obtenido en cada proceso .....	59
15	Contenido de proteína y cenizas promedio de las muestras de almidón .....	61

<u>Cuadro</u>		<u>Página</u>
16	Características de gelificación promedio de los procesos estudiados .....	63
17	Análisis de varianza de las características de gelificación de los productos obtenidos en cada proceso	65
18	Comparación estadística entre los procesos con respecto a la viscosidad en el enfriamiento (Ve) y al índice de gelificación (IG) .....	67
19	Características de gelificación del almidón de maíz y de yuca comerciales elaborados en Costa Rica ....	68



## INDICE DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Amilograma de la repetición 1 - proceso Nº1 .....	80
2	Amilograma de la repetición 2 - proceso Nº1 .....	80
3	Amilograma de la repetición 3 - proceso Nº1 .....	81
4	Amilograma de la repetición 4 - proceso Nº1 .....	81
5	Amilograma de la repetición 1 - proceso Nº2 .....	82
6	Amilograma de la repetición 2 - proceso Nº2 .....	82
7	Amilograma de la repetición 3 - proceso Nº2 .....	83
8	Amilograma de la repetición 4 - proceso Nº2 .....	83
9	Amilograma de la repetición 1 - proceso Nº3 .....	84
10	Amilograma de la repetición 2 - proceso Nº3 .....	84
11	Amilograma de la repetición 3 - proceso Nº3 .....	85
12	Amilograma de la repetición 4 - proceso Nº3 .....	85
13	Amilograma de la repetición 1 - proceso Nº4 .....	86
14	Amilograma de la repetición 2 - proceso Nº4 .....	86
15	Amilograma de la repetición 3 - proceso Nº4 .....	87
16	Amilograma de la repetición 4 - proceso Nº4 .....	87
17	Amilograma del almidón comercial de maíz .....	88
18	Amilograma del almidón comercial de yuca .....	88

## ABREVIATURAS

l	Litros
Kg	Kilogramos
min	Minutos
°C	Grados centígrados
U.B.	Unidades Brabender
$t_o$	Tiempo en que se inicia un brusco ascenso de la viscosidad, minutos
$T_o$	Temperatura a la que se inicia un brusco ascenso de la viscosidad, °C
$t_{max}$	Tiempo necesario para alcanzar la viscosidad máxima, minutos
$T_{max}$	Temperatura a la cual se alcanza la viscosidad máxima, °C
$V_{max}$	Viscosidad máxima durante el calentamiento en unidades Brabender (UB)
$V_{ret_o}$	Viscosidad al alcanzar los 90°C, UB
$V_{ret_f}$	Viscosidad después de 20 minutos a 90°C, UB
$V_e$	Viscosidad al enfriar a 50°C, UB
$I_s$	Inestabilidad de la suspensión ( $V_{max} - V_{ret_f}$ ), UB
IG	Índice de gelificación ( $V_e - V_{ret_f}$ ), UB
FC	Facilidad de cocimiento ( $t_{max} - t_o$ ), minutos
bs	Base seca

## RESUMEN

Con el presente estudio se pretende establecer un método sencillo para la extracción del almidón del frijol mungo (Vigna radiata), con el fin de que éste pueda ser utilizado en la fabricación de fideos transparentes. En Costa Rica este tipo de pasta es muy apetecida por los miembros de las colonias china, japonesa y coreana y por ser importados su costo es muy alto.

Se llevó a cabo una caracterización físico-química de los cuatro cultivares de frijol mungo que se cultivan actualmente en Costa Rica; y una caracterización química de los fideos transparentes (marca Wermicelli), elaborados en la República Popular China. Posteriormente se ensayaron en el nivel piloto, cuatro métodos húmedos de extracción del almidón del frijol mungo, los cuales fueron evaluados de acuerdo con los siguientes criterios:

- Rendimiento de cada proceso.
- Calidad de los productos obtenidos, en función de su apariencia (color y textura), pureza (contenido de almidón) y características de gelificación.
- Grado de dificultad de los procesos.

Los resultados obtenidos indican que el frijol mungo es fuente de proteínas (de 22% a 26% bs) y de carbohidratos, dentro de los cuales el principal es el almidón (de 46% a 52% bs). Además, se encontró que el fideo transparente está compuesto básicamente por almidón (89%) y agua (11%).

Del análisis realizado con respecto a los métodos de extracción se concluyó que el proceso más adecuado para el almidón del frijol mungo es el que involucra las etapas de limpieza, remojo, molienda fina, tamizado, sedimentación, lavados del almidón y secado.

## 1. INTRODUCCION

El frijol mungo es una legumbre originaria de la región asiática donde se le considera como un alimento altamente nutritivo, fuente de calorías y de proteínas de fácil digestión y con una baja tendencia a producir flatulencia, que es un factor que además de limitar su consumo, se encuentra asociado con la mayoría de las legumbres (1).

En los últimos años, en Costa Rica se ha venido llevando a cabo una serie de estudios, con el fin de determinar la factibilidad de cultivar el frijol mungo en zonas donde por diversas razones, el frijol común no se produce. En este sentido, los resultados obtenidos han sido bastante buenos; sin embargo, la aceptación del frijol fresco ha sido baja (19). Por esta razón, se ha considerado importante iniciar acciones que complementen estos esfuerzos, y que permitan conocer más ampliamente las características y posibilidades de utilización de una legumbre, que además de presentar una serie de ventajas en el campo nutricional, ha demostrado tener bastante futuro como cultivo en Costa Rica.

Por otro lado, desde hace algunos años la Misión Técnica Agrícola de China en Costa Rica, ha venido cultivando el frijol mungo en algunas zonas de Puntarenas y Limón. También ellos han reportado muy buenos resultados, específicamente en cuanto a altos rendimientos y mínima proliferación de enfermedades y plagas, por lo que su cultivo se ha difundido entre algunos miembros de la colonia china. Sin embargo, la producción es utilizada únicamente por los miembros de la colonia

china, para la elaboración de platillos tradicionales y de brotes o frijoles nacidos. Esta situación ha limitado el cultivo del grano, poniendo de nuevo en evidencia la necesidad de buscar alternativas de utilización de este frijol (22).

La Misión China ha planteado su interés en apoyar acciones que conduzcan específicamente a la elaboración de productos tradicionales de los países orientales. Dentro de ese marco, se realizó un estudio sobre las posibilidades que existen y se determinó que un producto conocido como fideos transparentes representa una opción interesante.

En Costa Rica este tipo de pasta es muy apetecida por chinos, japoneses y coreanos, y la que se encuentra en el mercado nacional es importada y su costo es bastante alto (22).

La materia prima utilizada para la elaboración de estos fideos es el almidón del frijol mungo, por lo que se investigó sobre los métodos que se han utilizado para su extracción. Sin embargo, la información encontrada al respecto, tanto en los centros de documentación del país como la solicitada al exterior, es bastante escasa y poco precisa. De aquí la necesidad de realizar este estudio, mediante el cual se pueda disponer de un método sencillo para la extracción del almidón, que además se ajuste en lo posible a la situación tecnológica del país, en esta área productiva.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Establecer un método sencillo para la extracción del almidón del frijol mungo.

### 2.2 Objetivos específicos

a) Caracterizar químicamente los cuatro cultivares del frijol mungo que se cultivan en Costa Rica.

b) Establecer métodos de extracción factibles técnicamente.

c) Caracterizar físico-químicamente los almidones obtenidos por cada método de extracción.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 Aspectos generales sobre el frijol mungo

El frijol mungo (Vigna radiata), es una legumbre que se ha venido cultivando en Costa Rica, como resultado de un programa de extensión de la Misión Técnica Agrícola de China (22).

La producción comercial del frijol está a cargo de algunos miembros de la colonia china y es destinada a la preparación de platillos tradicionales. El único uso que se podría considerar comercial a nivel nacional, es la producción de los brotes o frijoles nacidos, que es un producto consumido tanto por personas de origen oriental como por costarricenses (22).

En la Universidad de Costa Rica se han realizado algunas investigaciones con respecto a la adaptación del frijol mungo desde el punto de vista agronómico. Los resultados mostraron que esta legumbre posee un amplio rango de adaptación climática y edáfica y que constituye una alternativa para las zonas bajas del país, en particular la atlántica, que por sus características climáticas (cálida y húmeda), no es apropiada para el cultivo del frijol común (Phaseolus vulgaris) (19).

El frijol se cultiva principalmente por el grano, el cual es considerado un alimento nutritivo debido a que es fuente de calorías y proteínas de fácil digestión (Cuadro 1).



Cuadro 1

Composición química aproximada del frijol mungo  
(Vigna radiata)

Componente (x 100 g)	Semilla entera madura y seca (1)	Semilla entera madura y seca (2)	Semilla entera y seca (3)
Humedad (g)	14.0	10.6	6.6 - 11.6
Energía (Kcal)	335	341	---
Proteína (g)	18.5 <sup>1</sup>	22.9 <sup>1</sup>	19.7-24.2 <sup>1</sup>
Grasa (g)	1.0	1.2	1.0 - 1.3
Carbohidratos (g)	64.5	61.8	60.3-67.5
Fibra cruda (g)	N.D.	4.4	---
Fibra alimentaria (g)	N.D.	--	4.2 - 4.4
Cenizas (g)	2.0-	3.5	3.4 - 3.5

1 : N x 6.25

(1) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1982)

(2) Duke (1977)

(3) Kay (1985)

Con un fin comparativo, en el Cuadro 2 se puede apreciar la composición química del frijol común y del frijol de soya (Glicine max).

La mayoría de las legumbres crudas no se utilizan como alimento, debido a que contienen gran cantidad de factores tóxicos y antinutricionales, que de un modo u otro, pueden tener efectos negativos, cuando forman parte de la dieta y por lo tanto limitan el valor nutritivo de las legumbres (11). Como se muestra en el Cuadro 3, en el frijol mungo se han encontrado inhibidores de tripsina, aunque en cantidades mucho menores que en la soya y en el frijol común. Además, no se han encontrado hemaglutininas ni taninos. La presencia limitada de estos factores en el frijol mungo, es otro aspecto positivo de esta legumbre.

Con respecto a la aplicación del frijol mungo, además de las preparaciones caseras, éste se utiliza tradicionalmente para la elaboración de los siguientes productos:

- Brotos o frijoles nacidos
- Harinas y sus productos (panificación y pastelería)
- Almidón
- Concentrado proteico
- Pastas (de harina o de almidón)
- Dhal (producto pastoso del frijol mungo que contiene aceites y especias)
- Sopas

Cuadro 2  
Composición química del frijol común y  
del frijol de soya

Componente (x 100 g)	Frijol común ( <i>P. vulgaris</i> )		Soya ( <i>Glicine max</i> ) (1)
	(1)	(2)	
Humedad (g)	11.0	11.0	9.0
Energía (Kcal)	362	--	354
Proteína (g)	19.4 <sup>1</sup>	22.0 <sup>2</sup>	28.9 <sup>1</sup>
Grasa (g)	5.6	1.6	4.1
Carbohidratos (g)	60.9	57.8	53.8
Fibra cruda (g)	2.5	4.0	N.D.
Fibra alimentaria (g)	25.6	--	N.D.
Cenizas (g)	3.1	3.6	4.2

1 : N x 6.25

2 : N x 5.71

N.D. : no determinado

(1) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1982)

(2) Kay (1985)

Cuadro 3

Actividad hemaglutinante y antitriptica de  
extractos crudos de algunas leguminosas

Frijol	Actividad hemaglutinante (unidades por gramo)	Inhibidores de tripsina (unidades por gramo)
Común ( <u>P. vulgaris</u> )	3560	1552
Soya ( <u>Glicine max</u> )	no disponible	99000
Mungo ( <u>V. radiata</u> )	0	260

FUENTE: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1982)

## 3.2 Almidones

### 3.2.1 Aspectos generales

Los almidones naturales se encuentran depositados en las plantas en forma de pequeños gránulos, cuya forma y tamaño dependen de la planta de la que provienen (21).

Cada gránulo individual se mantiene unido por una red interna de moléculas enlazadas, de manera que los gránulos son insolubles en agua fría (21).

Químicamente el almidón es una mezcla de polímeros de unidades de glucosa. En la mayoría de los almidones están presentes dos tipos de moléculas: la amilosa que es un polímero largo y lineal y la amilopectina que es un polímero grande y muy ramificado (21).

Desde el punto de vista práctico, la propiedad más importante de los almidones es su capacidad de gelificación, la cual se puede describir de la siguiente manera: cuando se calienta una suspensión de almidón, se pueden distinguir tres fases. En la primera, se presenta una absorción reversible de agua por parte de los gránulos de almidón, se da un hinchamiento limitado con un aumento despreciable de la viscosidad. Si el almidón en esta etapa se enfría y se seca, no se observa ningún cambio (21). Si la suspensión se sigue calentando, se entra a una segunda fase, en la que súbitamente los gránulos de almidón se hinchan al embeber agua, aumentando considerablemente

en tamaño y perdiendo su estructura cristalina. En esta fase se puede ver un aumento importante en la viscosidad de la suspensión en un rango pequeño de temperatura. Si el almidón se enfría y se seca, se verá como ha perdido su forma y estructura cristalina. Finalmente, si se continúa el calentamiento, los gránulos se convierten en sacos sin forma y el almidón más soluble sale del gránulo. Después de unos minutos se alcanza el máximo valor de viscosidad y si se mantiene la temperatura constante la viscosidad comienza a disminuir, debido al rompimiento de muchos gránulos. Si entonces se elimina el calentamiento, los gránulos hinchados que no se han roto, mantienen su tamaño y forman un gel rígido (21).

Uno de los métodos más utilizados en el estudio de este comportamiento de los almidones al calentarse en presencia de humedad, es a través de los amilogramas Brabender, que son gráficos que indican el cambio de viscosidad de una suspensión de almidón al variar la temperatura a una razón constante. El tipo de curva formada se conoce como patrón de viscosidad Brabender (12).

Schoch y Maywald (1968), mencionan cuatro tipos de patrón de viscosidad:

Tipo A: Lo presentan almidones con un alto poder de hinchamiento como el de papa y los de cereales céreos. Los gránulos de estos almidones se hinchan enormemente al cocinarlos en agua, pero las fuerzas internas de enlace son débiles de manera que se rompen con facilidad. El amilograma muestra un pico de viscosidad pronunciado seguido por una rápida disminución de la viscosidad.

Tipo B: Lo presentan almidones con un hinchamiento moderado como los cereales comunes. Estos muestran un hinchamiento no tan excesivo como para que los gránulos hinchados sean frágiles. El amilograma muestra un pico menos pronunciado con menor pérdida de viscosidad durante la cocción.

Tipo C: Lo presentan almidones con un hinchamiento restringido y son especialmente los modificados químicamente. La modificación reduce considerablemente el hinchamiento y solubilización del gránulo y estabiliza los gránulos hinchados con respecto al rompimiento. El gráfico no muestra un pico de viscosidad, pero se mantiene constante una viscosidad alta durante la cocción y en algunos casos aumenta.

Tipo D: Lo presentan almidones con un hinchamiento altamente restringido, como los de maíz con alto contenido de amilosa (55-70%), lo que imparte una gran rigidez interna debido al alto contenido de moléculas lineales asociadas. En estos casos se requiere una cantidad de almidón mucho mayor (dos a tres veces más) para formar una pasta con la viscosidad que alcanza un almidón tipo C.

Schoch y Maywald (1968), reportan que de acuerdo con sus resultados, el almidón de frijol mungo presenta un patrón de viscosidad mixto, o sea que a bajas concentraciones es tipo C (6-7% bs) y a mayores concentraciones es tipo B (más de 8% bs).

El calentamiento en seco de un almidón produce inicialmente la formación de dextrinas y posteriormente la molécula se va degradando progresivamente.

### 3.2.2 Proceso general de extracción de almidón

En las zonas tropicales, el almidón se obtiene de diferentes partes de las plantas que lo contienen (raíces, tubérculos, tallos, etc.). En la mayoría de los casos los procesos incluyen cinco etapas básicas: preparación, molienda, tamizado, separación y secado (4).

Preparación: en la preparación se pretende remover la tierra adherida al material, piedras y la capa externa no almidonosa (epidermis). Las operaciones realizadas en esta etapa dependen más del tipo de material con que se está trabajando que de las operaciones siguientes. Aquí normalmente se incluyen el lavado y pelado del material (4).

Molienda: el objetivo de esta etapa es el de destruir la estructura celular del material, con el fin de liberar el almidón sin dañar los gránulos (4). Para determinar el grado adecuado de molienda, debe hacerse un balance entre dos situaciones: una es que si el material se muele demasiado fino, resultará difícil separar el material fibroso que debe desecharse, y la otra, que si la molienda es insuficiente, permanecerá una alta proporción de los gránulos de almidón en el residuo fibroso (4).

Tamizado: por medio del tamizado se separa el material molido en dos fracciones, el material fibroso y el almidón. Para esta



operación se han diseñado tamices de diferentes formas, pero todos sirven para retener el residuo fibroso en una malla porosa a través de la cual puede pasar la suspensión de almidón (4).

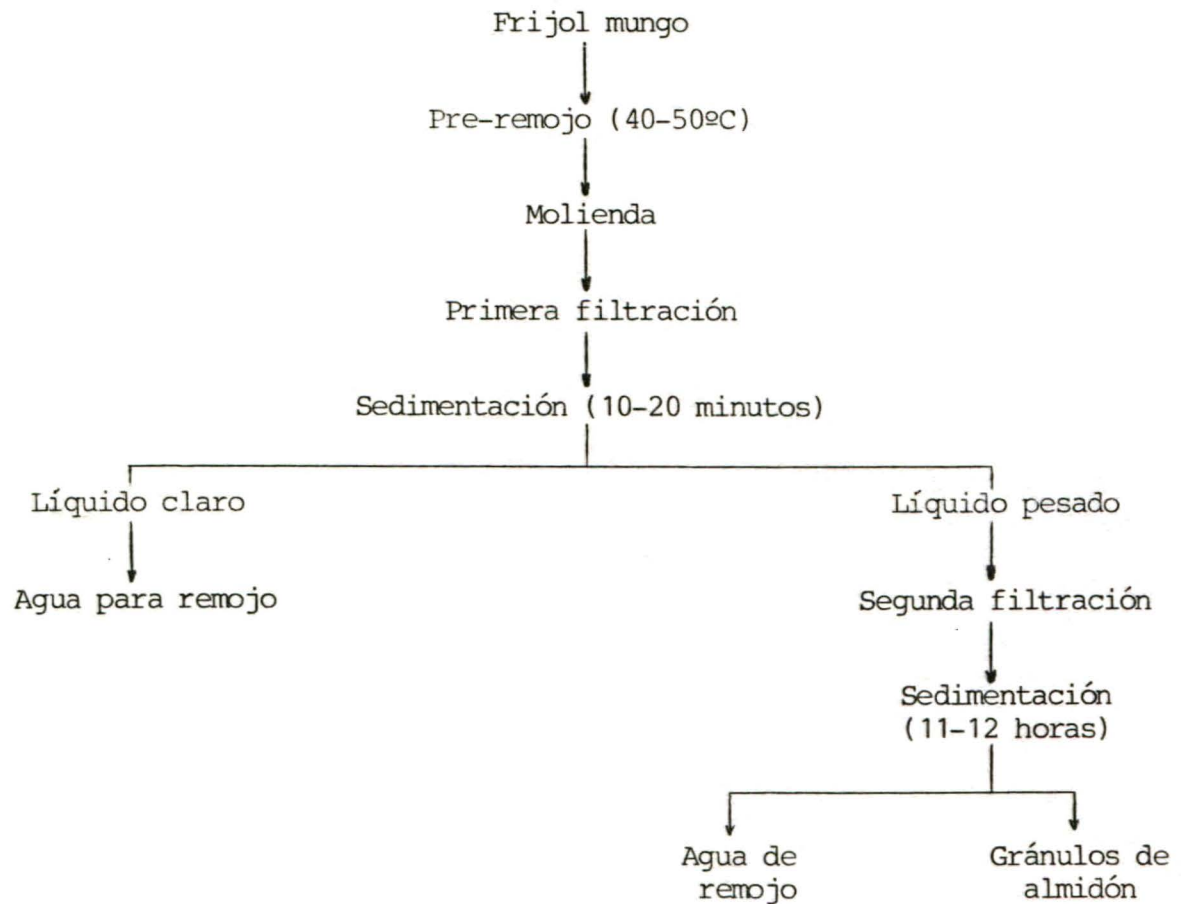
Separación del agua del almidón: para llevar a cabo esta separación sólido-líquido, se pueden utilizar dos métodos, sedimentación gravitacional en tanques de sedimentación o en tablas de asentamiento y separación mecánica del agua utilizando filtros de vacío o centrífugas (4).

Secado: en el secado se pretende remover la cantidad de agua necesaria, para reducir el contenido de humedad de la torta de almidón a 12-14%, lo que asegura un período amplio de conservación del producto. Para esta operación se puede utilizar secado natural o secado forzado (4).

### 3.2.3 Proceso de extracción del almidón del frijol mungo

La información que se ha podido obtener sobre este tema es poca y muy general, debido principalmente a que estos procesos se llevan a cabo en forma artesanal y están poco documentados; sin embargo, constituye una guía para el planteamiento del presente estudio.

Chi Yu (2) indica que el almidón del frijol mungo puede obtenerse a partir de la harina o por medio del método húmedo, que es el más común y cuyo flujo de proceso se presenta a continuación:

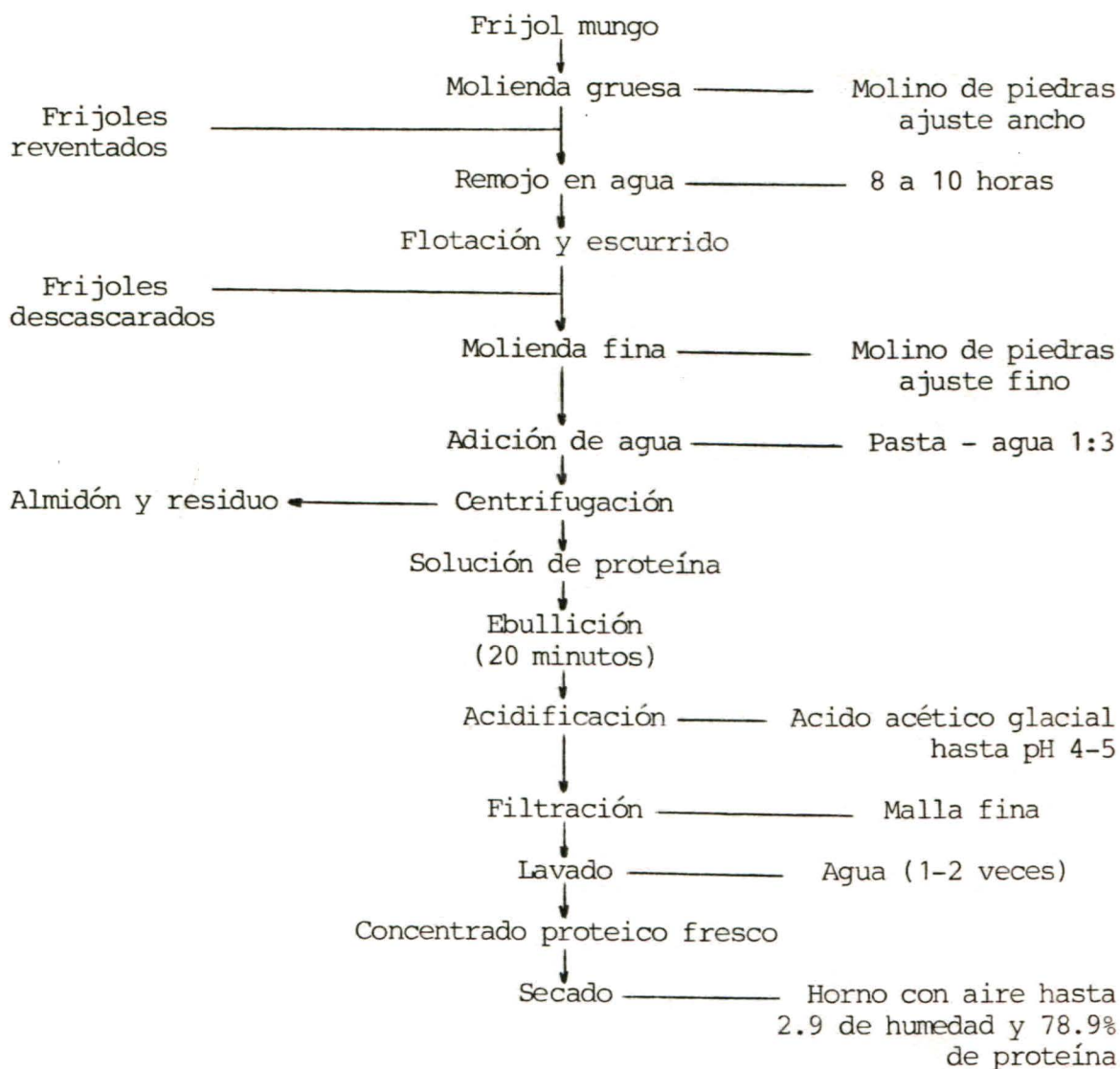


El almidón puede separarse por un proceso mecánico como la centrifugación o por sedimentación como en los procesos tradicionales (2).

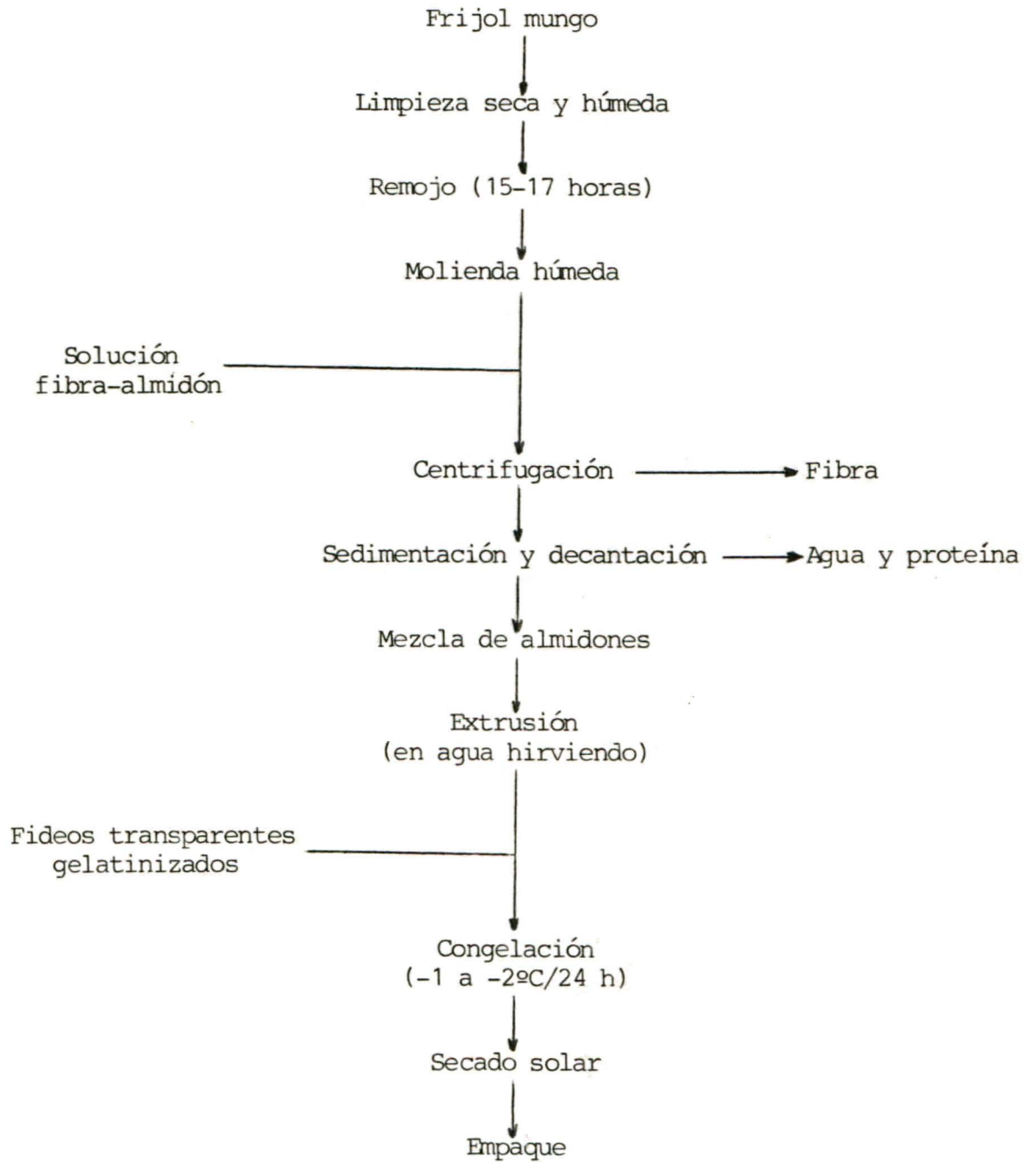
La adición de ácido sulfuroso ( $H_2SO_3$ ) al agua de remojo, le da claridad al almidón sin afectar sus características en cuanto a viscosidad (2).

El proceso que se utiliza para la elaboración de concentrados proteicos a partir del frijol mungo es similar al proceso de fabricación de almidón por el método de extracción húmeda, y en algunas

industrias el almidón es un subproducto en la elaboración de concentrados proteicos. El flujo de proceso que se utiliza para la elaboración de concentrados proteicos es el siguiente (1):



Con respecto a los fideos transparentes, un flujo de proceso que se sigue para su elaboración, se puede apreciar a continuación (8):



La limpieza en seco puede realizarse utilizando tamices vibratorios y la centrifugación utilizando una centrífuga con malla de 120 mesh, 500 r.p.m. y 5 hp de poder (8).

El almidón decantado puede secarse al sol fumigándolo con dióxido de azufre para luego preparar la mezcla por extruir (8).

En este flujo de proceso se puede apreciar que los fideos se hacen a partir de una mezcla de almidones, sin especificar si se trata de almidones diferentes o del mismo almidón con diferentes contenidos de humedad, que formen una mezcla adecuada para extruir. Al respecto, no se pudo encontrar mayor información; sin embargo, la etiqueta de los fideos que se venden en Costa Rica, indica que son hechos solamente del frijol mungo.

Es importante mencionar, que de acuerdo con Cheng y Shuh (1981), el almidón ideal para la preparación de fideos transparentes se caracteriza por tener un alto contenido de amilosa, hinchamiento restringido y un patrón de viscosidad Brabender tipo C.

## 4. MATERIALES Y METODOS

### 4.1 Localización

El trabajo fue realizado en las instalaciones del Centro de Investigaciones en Tecnología de Alimentos (CITA) de la Universidad de Costa Rica.

### 4.2 Materia prima

Para la caracterización físico-química y para las pruebas de extracción de almidón, se utilizó frijol mungo sembrado el 16 de mayo de 1986 y cosechado el 24 de julio del mismo año, en una finca ubicada a 9 km del centro de la provincia de Limón. Las vainas se secaron al sol y se les extrajeron los granos, los cuales también se sometieron al secado solar hasta alcanzar una humedad de 20%. Para evitar el crecimiento de hongos durante el almacenamiento, los frijoles se secaron en un secador para granos a 45°C, hasta una humedad de 10 a 12%.

Los cultivares estudiados (VC-2768A, VC-2771A, VC-3061A y VC-3301A), de acuerdo con los resultados obtenidos por la Misión China, son los que han presentado mejores características de adaptación agrícola a la zona de Limón. Estos cultivares fueron desarrollados en el Centro Asiático de Investigación y Desarrollo en Vegetales (The Asian Vegetable Research and Development Center), de Taiwán (22).

Para las pruebas de extracción de almidón se utilizó frijol mungo del cultivar VC-2768A.

Los fideos transparentes que se analizaron en este estudio son de la marca Wermicelli, elaborados en la República Popular China, y obtenidos en un supermercado nacional.

#### 4.3 Equipo

El equipo y reactivos utilizados en los análisis químicos se muestran en el Cuadro 4.

En el Cuadro 5 se puede observar el equipo utilizado durante las pruebas de extracción de almidón, tanto en el de laboratorio como en el nivel piloto.

Cuadro 4

Equipo y reactivos utilizados en los análisis químicos

Equipo y Reactivos	Características
Balanza analítica	Mac Mettler, HK160
Digestor-destilador de proteína (Macro-Kjeldahl)	LabConco, Serie 10 Ad 11
Extractor de grasa	LabConco, Goldfish, Serie 66934
Estufa con vacío	National Appliance, 5831
Digestor de fibra	LabConco
Espectrofotómetro	Shimadzu, PR-1
Calentador-agitador	Corning, PC-351
Capilla de extracción de gases	LabConco, Serie 31825
Mufla	Sybron-Thermolyne, 105000 Furnace
Termómetro	VWR Scientific, N. 61010-020
Cristalería en general	
Reactivos:	<p>Eter de petróleo  Sulfato de potasio anhidro  Sulfato de cobre pentahidratado  Solución sulfato de cobre al 10%  Acido sulfúrico concentr. y 0.1 N  Rojo de metilo (indicador)  Hidróxido de sodio 0.1N y 6N  Fosfato dibásico de sodio  Tartrato de sodio y potasio tetrahidratado  Sulfato de potasio  Arsenito dibásico de sodio heptahidratado  Acido clorhídrico 6N  Fenofaleína  Acido perclórico concentrado  Acido acético 2N  Yoduro de potasio 10%  Yodato de potasio 0.01N</p>



Cuadro 5

Equipo utilizado en las pruebas de extracción de almidón

Equipo	Características
Molino de discos	Marca Hobart Modelo Kitchen aid, GMA
Molino de martillos	Marca Fitz Patrick Modelo 37 Malla de abertura de 0.838 mm (0.033 pulgadas)
Molino de carne	Marca Hobart, Modelo Kitchen aid, FGA Dado utilizado: agujeros de 3.5 y 10 mm de diámetro
Licuadaora	Marca Waring
Estufa	Marca National, Modelo 5851
Tamiz	Malla nylon, abertura de 1.588 mm Dimensiones: 50 x 30 cm
Tamiz	Malla acero inoxidable (#80) Tamaño de orificio: 0.178 mm (0.007 pulgadas) Dimensiones: 50 x 30 cm
Mallas	Serie ASTM, USA N°170, N°230, N°325
Tinas	Capacidad: 35 l Dimensiones: Largo 60.5 cm, Ancho 34.5 cm, Altura 20 cm
Baldes	Capacidad: 20 l Dimensiones: Diámetro 28.5 cm, Altura 34 cm
Selladora	Marca TEW Electric Heating Equipment Co, Ad Impulse sealer Tipo TISF-300

#### 4.4 Métodos

##### 4.4.1 Caracterización físico-química del frijol mungo

Se observó la forma, color y tamaño de los granos de los cuatro cultivares de frijol mungo.

Para el color se usó la escala de Munsell y el tamaño se midió en función del porcentaje de granos retenidos en mallas con abertura de 2.36, 2.88, 3.35, 4.00 y 5.60 mm. Además, a cada cultivar se le determinó el contenido de humedad, proteína, almidón, grasa, fibra, azúcares totales y cenizas, para lo cual se utilizaron los siguientes métodos:

Humedad: método #7.003 del A.O.A.C. (1980) hasta obtener peso constante.

Grasa: método #7.056 del A.O.A.C. (1980) utilizando éter de petróleo en extracciones de ocho horas.

Proteína: método #2.057 del A.O.A.C. (1980) con las modificaciones que se mencionan a continuación:

-Como catalítico en la digestión, se adicionaron aproximadamente 15 g de una mezcla de  $K_2SO_4$  anhidro y  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  en una relación 90:3.

-Para la destilación, se adicionaron aproximadamente 80 ml de una solución de NaOH al 50% y se emplearon perlas de ebullición. Además, se utilizó rojo de metilo como indicador.

Cenizas: método #31.012 del A.O.A.C. (1980).

Azúcares totales: método de Nelson-Somogy, citado por Southgate (1976). Para la extracción de azúcares se tomaron aproximadamente 10 g de la muestra molida, añadiendo 200 ml de agua destilada, calentando después a 70°C con agitación durante 30 min. Luego se llevó la mezcla a un volumen de 1000 ml.

Fibra: método #7.065 del A.O.A.C. (1980).

Almidón: método de Nielsen (1943), con las siguientes modificaciones: a 1 g de muestra se le adicionaron 2 ml de agua destilada y 2.7 ml de ácido perclórico concentrado gota a gota con agitación constante. Después de 10 min de reposo la muestra se llevó a un volumen de 100 ml en un balón aforado. Luego de la filtración, se tomó una alícuota de 0.5 ml del filtrado y se trató como indica el método aforando al final a un volumen de 100 ml. La curva estándar para el almidón de frijol presenta la siguiente ecuación:

$$\text{concentración} = 75.800 \times \text{absorbancia} + 0.4230$$

#### 4.4.2 Composición química aproximada de los fideos transparentes

A una muestra de fideos transparentes se les determinó el contenido de humedad, proteína, grasa, azúcares totales, almidón y ceniza; utilizando los métodos mencionados anteriormente.

#### 4.4.3 Extracción del almidón del frijol mungo

Luego de realizar una serie de pruebas preliminares con el fin de definir las bases del estudio y analizando la información encontrada en la literatura, se establecieron cuatro procesos para la extracción del almidón, con el propósito de estudiarlos y determinar cuál de ellos presentaba mayores ventajas en términos técnicos y de rendimiento, teniendo presente que se desea trabajar con métodos sencillos.

Para la selección de estos procesos también se tomó en cuenta la situación actual de las industrias almidoneras nacionales, considerando que eventualmente estas almidoneras ya establecidas, podrían encargarse de la producción del almidón a partir del frijol mungo utilizando el método propuesto en el presente trabajo; de manera que el proceso no debe representar un problema tecnológico para estas industrias. Para esto se visitaron algunas almidoneras y se observaron tanto los métodos utilizados como los equipos de que disponían.

Los diagramas de flujo de los procesos que se estudiaron se presentan a continuación:

Diagrama de Flujo

Proceso Nº1

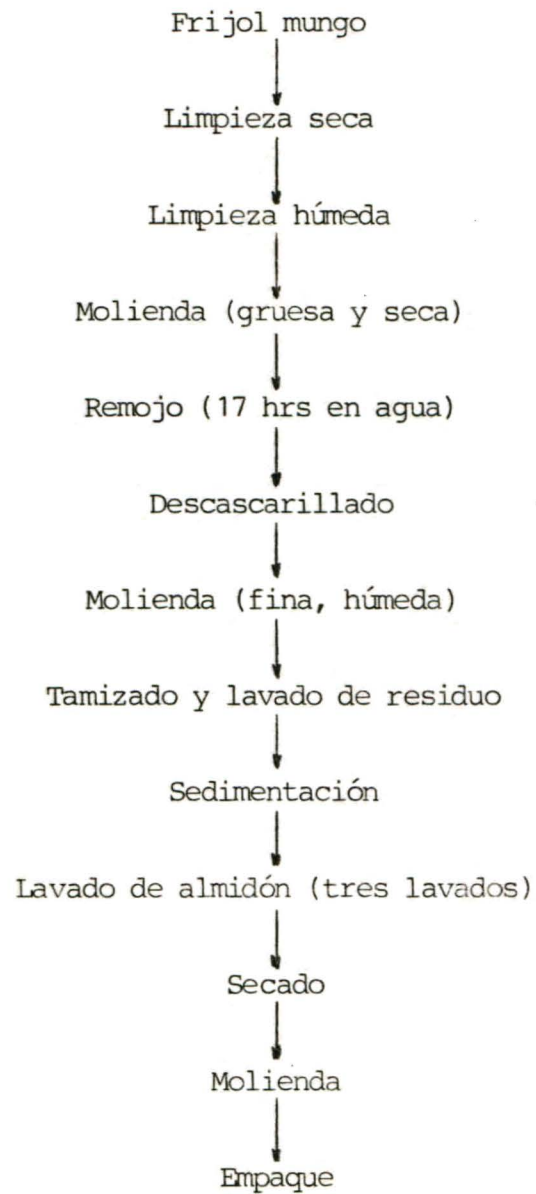


Diagrama de Flujo

Proceso Nº2

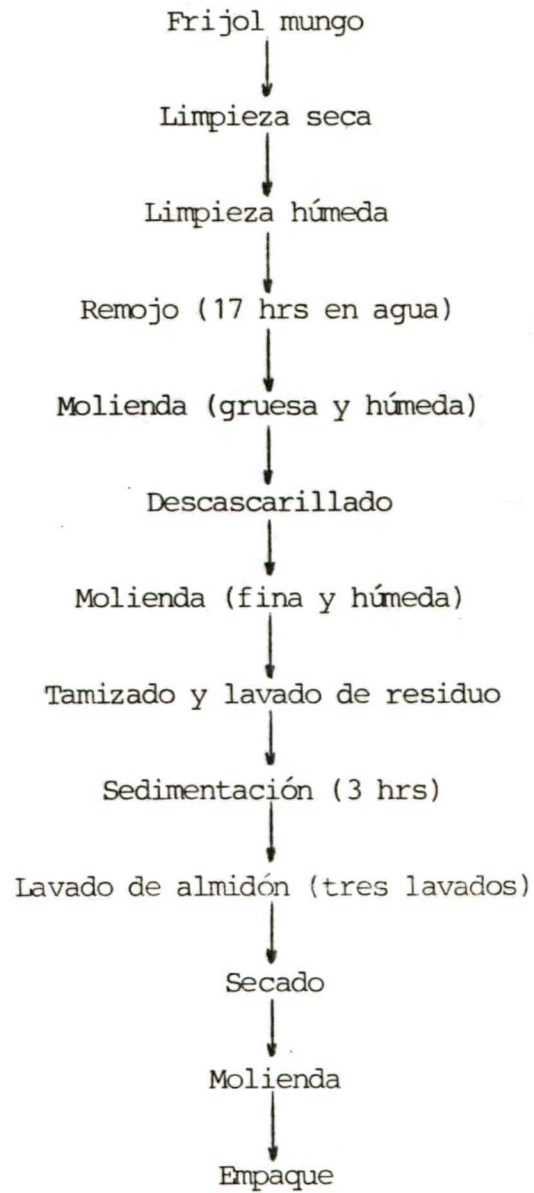


Diagrama de Flujo

Proceso Nº3

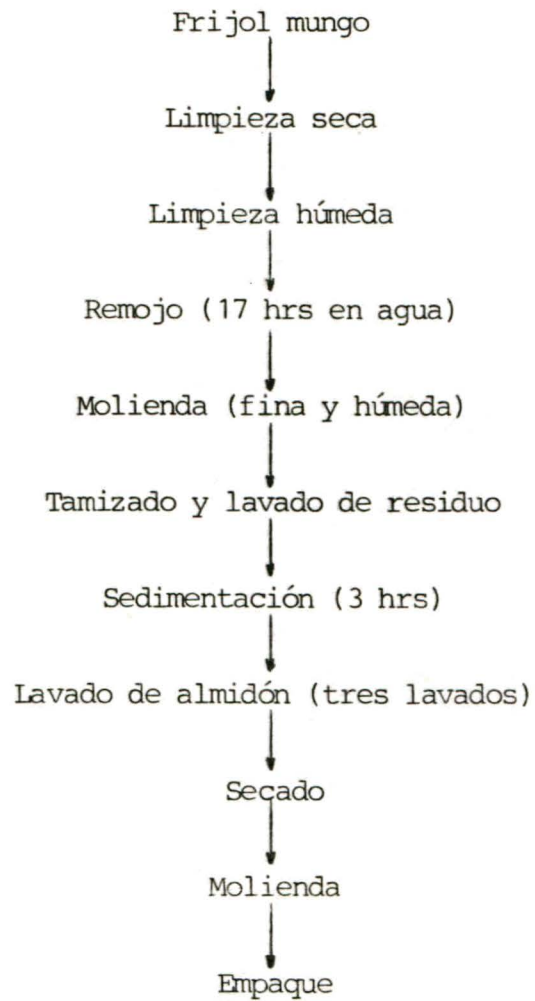
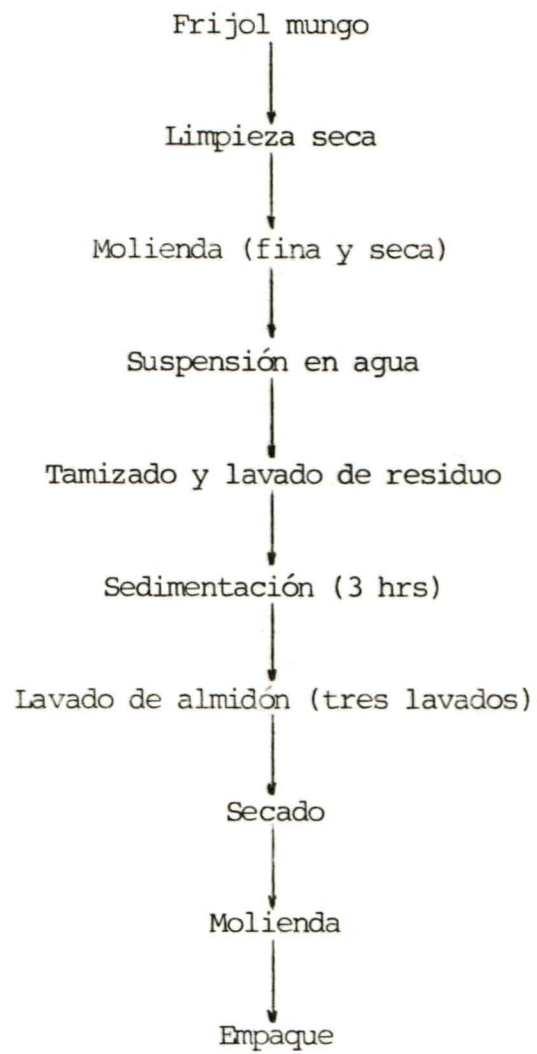


Diagrama de Flujo

Proceso N°4





### Descripción de las etapas de proceso

1) Limpieza: la limpieza en seco se llevó a cabo eliminando manualmente el material extraño grande (piedras, trozos de las vainas, etc.), y el material fino se eliminó tamizando los frijoles sobre la malla de nylon. La limpieza húmeda se realizó por aspersión de agua sobre los frijoles colocados en el tamiz de nylon.

2) Molienda gruesa: en general la molienda gruesa, tanto húmeda como seca, tuvo como fin fraccionar el grano en dos partes (los dos cotiledones), de manera que facilitara la separación de la cascarilla del frijol. En esta operación se utilizó el molino de discos, con el que se obtuvieron los mejores resultados. También se hicieron ensayos con el molino de carne con troqueles de agujeros de 3.5 y 10 mm de diámetro. La distancia entre los discos se ajustó de manera que apenas se partiera el grano, evitando en lo posible la formación de trozos pequeños. En la molienda gruesa húmeda (Proceso Nº2) los frijoles venían hidratados de la fase de remojo haciendo necesario colocar en la entrada del molino una fuente de agua que evitara la formación de una torta entre los discos, ayudando al producto a pasar entre ellos. En las pruebas realizadas se logró una molienda gruesa húmeda adecuada utilizando de 20 a 25 l de agua.

3) Remojo: en la literatura se indica que el remojo hidrata los granos, los suaviza y facilita la separación de la cascarilla. Además, permite moler el grano de manera que no se genere mucho calor, factor que afecta los gránulos de almidón y por consiguiente la calidad del producto final (13). Esta fase se llevó a cabo en baldes de 20 l de capacidad, en los cuales se adicionaron 5 l de agua a los 2 kg de frijoles que se emplearon en cada prueba. El remojo duró 17 hrs de acuerdo con lo que se recomienda en la literatura (8) y a temperatura ambiente (17 a 22°C). Después de este tiempo se drenó y desechó el agua de remojo.

4) Separación de la cascarilla: una de las variables considerada es el descascarillado del frijol, con el cual se pretendió estudiar el efecto de esta operación sobre la extracción y purificación o limpieza del almidón. En esta operación se utilizaron tinajas, a las que se agregó agua hasta ajustar el volumen total a 30 l para facilitar la extracción de la cascarilla. Aún cuando la cascarilla no flota en el agua, ésta es más liviana que el resto del frijol, de manera que se eliminó agitando el agua con los frijoles y extrayéndola con un colador antes de que se asentara sobre los granos.

5) Molienda fina: la molienda fina pretendió reducir el grano a un tamaño de partícula lo suficientemente pequeño para facilitar la extracción del almidón, pero no tan fino que dificultara separarlo

posteriormente del residuo. En la molienda húmeda puede hacerse uso del molino de martillos y el de discos, pero para la molienda seca da mejores resultados el de martillos. En las pruebas se utilizó el molino de martillos con malla de 0.838 mm de abertura para los dos tipos de molienda fina. Este molino tiene la ventaja de que el tamaño de partícula se puede fijar más fácilmente, pues depende de la malla que se utilice, lo que permitió eliminar esta etapa como variable del estudio. En la molienda seca se colocó un saco en la salida del molino para recoger el producto evitando en lo posible la pérdida del material. La molienda húmeda se realizó haciendo pasar por el molino los frijoles y el agua del descascarillado. En el Proceso Nº3 se adicionó agua a los frijoles provenientes de la etapa de remojo, hasta ajustar un volumen total de 30 l para luego pasar la mezcla por el molino de martillos.

6) Tamizado, lavado de residuo y sedimentación: el tamizado permitió eliminar partículas de tamaño mayor que los gránulos de almidón. Es una fase de suma importancia en términos de la pureza del producto final y se realizó haciendo pasar la mezcla a través de una malla fina. En este estudio se utilizó una malla de acero inoxidable que se conoce en el comercio como #80, con un tamaño de abertura de 0.178 mm. El producto proveniente de la molienda fina se hizo pasar a través de la malla, moviendo con una cuchara para evitar que el almidón se depositara sobre la torta. En el Proceso

Nº4, donde la molienda fina se realizó en seco, la harina íntegra se suspendió en agua (volumen total de 30 l), mezclando bien para eliminar todos los grumos. Posteriormente, la mezcla se hizo pasar a través de la malla. El filtrado se recogió en una tina y el residuo se sometió a dos lavados con 30 l de agua cada uno. Cada lavado se recogió en una tina. Tanto el filtrado inicial como los lavados, se dejaron sedimentar durante 3 hrs, después de lo cual se eliminó el líquido supernatante, se unieron los residuos y se procedió al lavado del almidón.

7) Lavados del almidón: al almidón se le aplicaron tres lavados con 20 l de agua cada uno y con períodos de asentamiento de 1 hr. De acuerdo con las pruebas preliminares estas condiciones permiten obtener un producto aparentemente limpio.

8) Secado: después de eliminar el agua del último lavado, el producto se colocó en una estufa de laboratorio y se secó a 40°C, de acuerdo con lo que recomienda la literatura (15).

9) Molienda: el almidón se pulverizó en una licuadora, debido a que no se disponía de un molino pequeño, adecuado para moler la cantidad de almidón que se obtuvo en los procesos.

10) Empaque: el producto se empacó en bolsas de polietileno selladas.

#### 4.4.4 Evaluación de los procesos

Los procesos fueron evaluados utilizando los criterios que se mencionan a continuación:

a) Rendimiento de los procesos: se analizaron los rendimientos de producto final obtenido, con respecto a cantidad de materia prima utilizada.

b) Calidad del almidón:

-Apariencia: se evaluaron el color y la textura de los productos, comparándolos como patrón de referencia, con almidones de maíz y yuca comerciales, elaborados en Costa Rica.

-Pureza de los productos: los almidones disponibles en el comercio, normalmente vienen mezclados con pequeñas cantidades de otros compuestos provenientes también de las materias primas y que en la industria los denominan "contaminantes" (12). Los diferentes métodos que existen para la extracción de almidón intentan separar la mayor cantidad de esas "impurezas", sin embargo, la eficiencia del aislamiento varía de un método a otro (12).

En las muestras obtenidas en cada prueba, se determinó el contenido de almidón utilizando el método de Nielsen (10) y con el fin de evaluar la naturaleza de las impurezas presentes, se determinó también el contenido de proteína y cenizas utilizando los métodos del A.O.A.C. (1980) mencionados anteriormente.

-Propiedades de gelificación: para el estudio de las características de gelificación de los almidones obtenidos en los diferentes procesos, se hicieron amilogramas de cada almidón utilizando un amilógrafo Brabender. Se ensayaron suspensiones de los almidones a concentraciones del 6% en base seca, en una solución buffer de pH 5.55 - 5.60. Las pruebas se realizaron con el amilógrafo propiedad de la empresa Molinos de Costa Rica, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

Preparación del buffer:

Concentrado: se disolvieron 15.2 g de fosfato disódico anhidro ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) y 10.3 g de ácido cítrico monohidratado, en agua destilada. Se diluyó 1 l y se ajustó el pH a 5.40 - 5.45. Esta solución se almacenó en refrigeración para evitar el crecimiento microbiano.

Solución de trabajo: se diluyó el buffer concentrado en una proporción de 1:10 con agua destilada. Se alcanzó un pH de 5.55 a 5.60.

Preparación de la suspensión de almidón:

Después de determinar el contenido de humedad del almidón, se

calculó la cantidad de muestra que se debe tomar para preparar una suspensión al 6% (base seca), si se van a adicionar 450 ml de la solución buffer:

$$\text{Peso de muestra} = \frac{28.7234}{[100 - \text{contenido humedad (\%)}] / 100}$$

La muestra pesada se colocó en un beaker de 600 ml y se le adicionaron aproximadamente 300 ml de la solución buffer a temperatura ambiente, se mezcló bien durante 3 min con un agitador de vidrio y la suspensión se traspasó al recipiente del amilógrafo. Con los 150 ml restantes de la solución buffer se realizaron dos lavados del beaker, los cuales también fueron colocados en el recipiente del equipo. Luego se montó la pieza superior del aparato.

Elaboración del amilograma: con la perilla de control en la posición 0, se ajustó el termómetro a 40°C, se encendió el aparato y al apagarse la luz de calentamiento, indicando que se había alcanzado la temperatura de 40°C, se colocó el graficador en la posición 0 y la perilla de control se pasó a la posición "up". Cuando la temperatura llegó a 90°C, la perilla de control se colocó en la posición 0 y se mantuvo así durante 20 min. Luego la perilla se pasó a la posición "down" y se siguió graficando hasta alcanzar una temperatura de 50°C. En el equipo utilizado las razones de calentamiento y de enfriamiento fueron iguales (1.5°C/min).

c) Grado de dificultad de los procesos: como en todos los procesos las operaciones que se realizan a partir del tamizado son las mismas, la diferencia en el grado de dificultad entre los procesos se debe a la diferencia entre estas operaciones iniciales y a su efecto sobre la facilidad de limpieza de los productos antes del secado. Para el análisis de este criterio se tomó en consideración el tiempo de proceso, el equipo necesario y la utilización de mano de obra.

#### 4.4.5 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó en este estudio corresponde a un diseño simple al azar. De acuerdo con este diseño, se realizaron cuatro repeticiones de cada proceso y cada proceso necesitó tres días para completarse.

La aleatorización de las pruebas se realizó llenando 16 bolsas con 2 kg de frijoles cada una, las cuales se enumeraron de 1 a 16 y luego se asignaron en forma aleatoria al día de la semana en que cada proceso se inició. Estos días de inicio fueron: lunes, martes, miércoles o jueves, de manera que se completó la primera repetición de todos los procesos en la primera semana, la segunda repetición en la segunda y así sucesivamente. La asignación del día de inicio de los procesos se hizo considerando que para un proceso dado, los días de inicio de cada repetición no deberían repetirse (Cuadro 6).



Cuadro 6

Aleatorización de las pruebas de extracción de almidón

Días Proceso	SEMANA 1						SEMANA 2						SEMANA 3						SEMANA 4					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	14*						7*						12*						6*					
2	16*						15*						8*						2*					
3	1*						9*						10*						11*					
4	3*						4*						13*						5*					

\* Número de bolsa

Al concluirse las pruebas se determinó el rendimiento y calidad de los productos obtenidos de acuerdo con lo mencionado en el punto 4.4.4.

Para el estudio del rendimiento, la pureza (% de almidón) y de las características de gelificación de los productos, se realizó inicialmente un análisis de varianza. En los casos donde se detectó diferencia estadísticamente significativa entre los procesos, se aplicó la distribución t student, con el fin de evaluar entre cuáles procesos se presentó esa diferencia.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1 Evaluación físico-química de los granos de frijol mungo

Los granos de frijol mungo tienen forma ovalada y color verde oliva similar al patrón 2.5GY 5/4 de la escala de colores de Munsell. Con respecto a estas características no existe diferencia entre los cultivares considerados en este estudio.

El tamaño de los granos se muestra en el Cuadro 7. Se aprecia que son bastante pequeños si los comparamos por ejemplo con el frijol común (Phaseolus vulgaris). Entre los cultivares no se presenta una diferencia importante en tamaño; en todos los casos, la mayor parte de los granos pasan la malla de 4.0 mm y son retenidos en la de 3.35 mm.

Esta forma de expresar el tamaño de grano resulta de gran utilidad desde un punto de vista práctico, debido a que facilita la selección de series de tamices adecuados para la limpieza de los frijoles.

En el Cuadro 8 se presenta la composición química de cada cultivar de frijol mungo. La diferencia en el contenido de humedad de las muestras (de 7.0% a 9.5%) se debe a que en el momento del análisis no habían alcanzado su humedad de equilibrio. Por esta razón, se presentan los datos en base seca, lo que permite establecer comparaciones.

Observando los Cuadros 1 y 8, se aprecia que existe bastante similitud entre los resultados obtenidos en este estudio y los reportados por otros investigadores.

Cuadro 7

Tamaño del grano de frijol mungo

Cultivar	Tamaño de abertura de la malla (mm)	% de semillas retenidas en el tamiz
VC 2768A	4.00	6.3
	3.35	90.1
	2.88	3.6
VC 2771A	4.00	4.8
	3.35	91.5
	2.88	3.7
VC 3301A	4.00	0.7
	3.35	87.9
	2.88	11.4
VC 3061A	4.00	1.3
	3.35	92.1
	2.88	6.6

Cuadro 8

Composición química de los cuatro cultivares de frijol mungo  
que se producen en Costa Rica

Cultivar	PORCENTAJE (%)							
	Humedad	Almidón	Proteína <sup>1</sup>	Fibra	Azúcares totales	Cenizas	Grasa	Carbohi- dratos <sup>2</sup>
VC 2768A	9.2	47.2	19.9	3.8	4.0	3.1	0.7	67.1
	0.0	52.0	21.9	4.2	4.4	3.4	0.8	73.9
VC 3301A	9.5	43.0	21.4	4.5	4.2	3.1	0.9	65.1
	0.0	47.5	23.6	5.0	4.6	3.4	1.0	72.0
VC 2771A	8.8	47.3	21.4	3.6	3.8	3.1	0.5	66.2
	0.0	51.9	23.5	3.9	4.2	3.4	0.5	72.6
VC 3061A	7.0	42.4	24.3	4.3	4.7	3.4	0.5	64.8
	0.0	45.6	26.1	4.6	5.1	3.7	0.5	69.7

1 : N x 6.25

2 : por diferencia

En general, se puede ver que el frijol mungo se caracteriza por tener un bajo contenido de grasa, y un alto contenido de proteínas y carbohidratos, siendo el almidón su principal carbohidrato.

No existe una diferencia importante en la composición de los cuatro cultivares estudiados, especialmente en cuanto al contenido de fibra, azúcares totales, cenizas y grasa. Con respecto a los contenidos de almidón y proteína, la diferencia también es pequeña, pero se puede apreciar que el cultivar VC 3061A presenta el mayor contenido de proteína y el menor contenido de almidón, mientras que el cultivar VC 2768 tiene el menor contenido de proteína y el mayor de almidón.

La composición química es un aspecto muy importante en la selección del cultivar que resulta conveniente sembrar, pensando en su utilización para la producción de almidón. Sin embargo, como en este caso la diferencia no es grande, toma gran importancia como criterio de selección, la adaptación agrícola a la zona. En este sentido, la Misión Técnica Agrícola de China ha informado que los cuatro cultivares considerados en este trabajo son los que mejor se han adaptado a la zona de Limón, comparándolos con aproximadamente 40 cultivares más que fueron estudiados. De estos cuatro cultivares los mejores son el VC 2768A y VC 3301A. De manera que la para zona de Limón, el cultivar VC 2768A presenta mayores ventajas en cuanto a contenido de almidón y adaptación agrícola se refiere.

## 5.2 Evaluación de la composición química de los fideos transparentes

Aún cuando este estudio se centra en la extracción de almidón, es muy importante tener presente, que se pretende utilizar este almidón en la elaboración de fideos transparentes. En el Cuadro 9 se muestra la composición química de los fideos marca Wermicelli, de la cual cabe resaltar que este tipo de pasta está compuesta básicamente por almidón. La etiqueta de los fideos indica que sus ingredientes son "guisantes verdes", que es otro de los nombres comunes del frijol mungo, y agua; de manera que la presencia de proteína y grasa en el producto final, es un indicador de la pureza del almidón utilizado para su elaboración. En este caso no se encontró ni proteína ni grasa en los fideos analizados, por lo que se deduce que el almidón utilizado para su elaboración es muy puro.

En este cuadro, llama la atención el hecho de que el contenido de almidón sobrepasa el contenido de carbohidratos, esto se atribuye al método de determinación de almidón que aún cuando es de gran precisión, su exactitud es menor que la de los métodos utilizados para la determinación de los otros componentes.

Cuadro 9  
Composición química del fideo transparente  
marca Vermicelli

Componente %	Fideo transparente
Humedad	11.0
Proteína	0.0
Grasa	0.0
Cenizas	0.1
Azúcares totales	0.7
Almidón	89.6
Carbohidratos <sup>1</sup>	88.8

1 : por diferencia



### 5.3 Evaluación de los procesos estudiados

#### 5.3.1 Observaciones generales de los procesos

A continuación se anotan una serie de observaciones efectuadas durante la realización de las pruebas de extracción de almidón, cuyo valor no se limita al presente trabajo, donde constituye un complemento del análisis que se presentará posteriormente, sino que podría ser de gran utilidad como parte del material para iniciar futuros estudios, por ejemplo en la elaboración de concentrados proteicos.

1) Limpieza del grano: los procesos 1, 2 y 3 incluyen los dos tipos de limpieza, seca y húmeda. En estos casos se observó que con la limpieza húmeda se separa una gran cantidad de sustancias solubles, responsables del fuerte color pardo del agua que se desecha después de la operación. Además, se elimina cierta cantidad de sustancias insolubles muy finas (tierra, etc.) que se asientan en el fondo del recipiente de lavado. Esta situación permite comprobar la importancia de la operación, y evidencia la necesidad de asegurarse de que en los casos en donde sólo se lleve a cabo una limpieza en seco, como ocurre en el proceso 4, ésta sea lo suficientemente efectiva, para lo cual se utilizan diferentes tamices y sistemas vibratorios; de manera que la mayor parte de las sustancias insolubles sean eliminadas. De no ser así resultará imposible su separación del almidón en las etapas posteriores del proceso.

2) Operaciones anteriores al descascarillado: en los procesos 1 y 2, se incluyen algunas operaciones que preparan el grano para su descascarillado, lo cual no se lleva a cabo en los procesos 3 y 4.

En el proceso 1, el grano fraccionado por medio de una molienda gruesa en seco, se pone a remojar para luego separarle la cascarilla. En el proceso 2, es el grano hinchado después del remojo, el que se somete a una molienda gruesa en condiciones húmedas, antes del descascarillado. La comparación entre estas operaciones en ambos procesos se hace posible, pues como se mencionó en la sección 4.4.3, en los dos casos se utilizaron los mismos equipos e igual cantidad de materia prima. Se observó que la molienda gruesa en seco se lleva a cabo en menor tiempo (de 5 a 10 min) que la misma operación en condiciones húmedas (de 40 a 55 min), lo cual constituye una ventaja. Sin embargo, en la molienda en seco se produce una mayor cantidad de fragmentos de grano muy pequeños (astillas), debido a que el grano duro, no siempre se fracciona a la mitad (los dos cotiledones). Esto es un factor negativo, pues hace que durante el descascarillado, sólo pueda separarse de un 70 a un 75% de la cascarilla. Si se intenta separar una mayor cantidad, se pierde una parte del grano, pues los trozos pequeños tienden a separarse con esta última parte de cascarilla.

En el descascarillado del proceso 2, es posible separar de un 90 a un 95% de la cascarilla. Esto se debe a que durante la molienda gruesa en húmedo el grano suave tiende a fraccionarse a la mitad sin que se produzca una gran cantidad de trozos pequeños. Además,

este tipo de molienda gruesa presenta la ventaja de que con la fricción entre los granos y con los discos del molino, la cascarilla que se suavizó durante el remojo, tiende a separarse del grano, facilitando la operación de descascarillado.

3) Remojo: en los procesos 2 y 3, los granos enteros son sometidos al proceso de remojo, durante el cual estos se suavizan, se hinchan y algunos de ellos se revientan. En el Cuadro 10 se puede apreciar el aumento en el volumen de 2 kg de frijoles mungo, después de 17 hrs de remojo en agua. Estos datos varían de una leguminosa a otra, y son de mucha importancia para calcular las dimensiones tanto de recipientes o tanques de almacenamiento de grano seco, como de los tanques de remojo.

En las pruebas de los procesos 2 y 3 se observó que durante todo el tiempo de remojo los frijoles permanecieron bajo la superficie del agua ( 5 l para 2 kg del grano). Pero en el proceso 1, donde se ponen a remojar los frijoles fraccionados, al final del período el material molido e hidratado tiende a orientarse a la superficie, produciéndose además, un fuerte olor desagradable (a descomposición). Es importante vigilar esta situación, ya que durante el remojo el pH del agua tiende a disminuir debido a la acción microbiana sobre los componentes del frijol, y se debe recordar que la proteína del grano, al ser soluble en agua, se separa durante los lavados, pero si el pH baja hasta 4.0, disminuye su solubilidad precipitándose

Cuadro 10

Volumen de los frijoles mungo antes y después de la operación de remojo<sup>1</sup>

Material	Volumen promedio (ml)	Desviación estándar	C.V. (%)
Frijoles enteros secos	2451	34	1.4
Frijoles enteros húmedos <sup>2</sup>	5738	92	1.6

1 : 2 kg de frijoles

2 : 17 hrs de remojo

y dificultando su separación del almidón (18). En ninguna de las pruebas se presentaron problemas en ese sentido, pero dependiendo de factores como calidad del agua o temperatura ambiental, la actividad microbiana puede aumentar causando problemas.

4) Molienda fina: en la molienda fina en húmedo, llevada a cabo en los procesos 1, 2 y 3, se produce una gran cantidad de espuma que dificulta las operaciones posteriores de tamizado y lavado del residuo. Es importante tomar en cuenta esta situación al calcular las dimensiones de los equipos de tamizado y lavado, pues esta espuma se genera por el material proteico del grano que en caso de derramarse, tenderá a descomponerse con facilidad produciendo malos olores y focos de contaminación en la planta.

En la molienda fina en seco que se lleva a cabo en el proceso 4, es importante controlar los "polvos finos" de harina que se suspenden en el aire a la salida del molino, con el fin de evitar la pérdida de material en la operación. Durante las pruebas realizadas, la pérdida fue de aproximadamente un 5%. Además, es importante controlar la generación de calor que se produce en este tipo de molienda, que tiende a calentar el producto. En las pruebas, la temperatura de la harina a la salida del molino fue de aproximadamente 35°C, lo cual no se considera alto. Sin embargo, esto depende del equipo que se utilice (tipo, materiales, carga, etc.). Una excesiva generación de calor puede causar daño de los gránulos de almidón, haciendo variar sus propiedades de gelificación.

5) Tamizado y lavado del residuo: durante estas operaciones el residuo tiende a actuar como una barrera o filtro que retiene el almidón, dejando pasar solamente el agua. Por esta razón, es muy importante mantener el material en movimiento, asegurándose de que la mayor parte del almidón atraviesa la malla junto con el agua.

6) Sedimentación: en todas las pruebas, se puso a sedimentar por aparte el filtrado proveniente del tamizado, y cada uno de los lavados del residuo. Luego del período de asentamiento y de la eliminación de los líquidos supernatantes, se pudo observar que la mayor cantidad de almidón se recogió en las tinas del filtrado y del primer lavado del residuo, aunque en esta última la cantidad de almidón era poca. Pero en la tina del segundo lavado del residuo, prácticamente no se obtuvo almidón, demostrando que este lavado de la manera en que se llevó a cabo, es innecesario. Sin embargo, esto no implica que el residuo haya quedado totalmente libre de almidón.

Es importante mencionar que después de eliminar los líquidos supernatantes por efecto de sifón, se puede observar sobre la capa de almidón, un residuo de color verdoso que debe eliminarse antes de suspender el almidón en agua para su lavado. Para esto, se adiciona con cuidado una pequeña cantidad de agua en la superficie, y luego se desecha. De no hacerse este lavado, el material coloreado es absorbido por el almidón y no se elimina en los lavados posteriores, de manera que se obtienen al final del proceso, productos de color amarillento.

Con respecto a las capas del almidón sedimentado, en los procesos 1, 2 y 3 éste se asienta, como es normal, en forma de un sólido blanco que puede cortarse en bloques, ya que es una estructura compacta; pero en el proceso 4 el material que se recoge en el fondo es como una pasta suave, muy densa, color crema y brillante, que no se puede separar en trozos o bloques. Además, se observa que este material está mezclado con un sólido oscuro muy fino.

En la capa de almidón sedimentada en los procesos 1, 2 y 3 se pueden diferenciar tres zonas: la parte superior es almidón ligeramente amarillento, en la zona intermedia es blanco y en la parte inferior se forma una capa muy delgada de un material oscuro finamente dividido, que puede ser tierra no separada en la limpieza o producto de contaminación durante el proceso.

### 5.3.2 Análisis de los criterios de evaluación

En el Apéndice 1 se presentan los resultados experimentales de las determinaciones del contenido de humedad, almidón, proteína, cenizas y del peso de muestra obtenidos en las cuatro repeticiones de cada proceso. Para poder establecer comparaciones, también se incluyen los mismos datos en una base húmeda de 12%, la cual se acerca a la humedad de equilibrio del almidón y del grano de frijol mungo.

a) Rendimiento: el rendimiento promedio obtenido en cada proceso se puede apreciar en el Cuadro 11. Comparando estos resultados con los datos reportados por otros investigadores, se puede ver que en algunos casos existe bastante similitud. Srisawas et al. (1985), por ejemplo, utilizando un proceso de extracción para el almidón del frijol mungo, parecido al proceso 3 de este estudio, obtuvieron un rendimiento en base seca de 32.8% que corresponde a un 37.3% en una base húmeda de 12%. Este dato concuerda con el resultado obtenido en el proceso 3, de 35.0%. Schoch et al. (1968), realizaron extracciones de almidón de frijol mungo, utilizando muestras provenientes de Hong Kong, Filipinas y Estados Unidos, encontrando rendimientos que oscilaban entre 32% y 43% en base seca (36% y 49% para un 12% de humedad), que se consideran altos con respecto a los encontrados en este estudio. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que el rendimiento depende tanto del método de extracción empleado como del contenido de almidón de los granos, y esto último varía dependiendo de la variedad y de las características del cultivo.

Para el análisis de los procesos ensayados, se toma en cuenta la información del Cuadro 11, unida a la información estadística presentada en el Cuadro 12, lo cual permite hacer los siguientes comentarios:

Con el proceso 4 se presenta un rendimiento menor que los obtenidos en los otros procesos. La posible causa de esta situación es que al no llevarse a cabo una etapa de remojo, las estructuras del grano permanecen bastante rígidas, especialmente la matriz de proteína



Cuadro 11

Rendimiento promedio obtenido en cada proceso<sup>1</sup>

Proceso	Rendimiento promedio (%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
1	31.1	2.1	6.6
2	32.9	2.5	7.7
3	35.0	1.0	2.8
4	25.2	3.0	12.0

1 : Datos calculados para muestras con un 12% de humedad

Cuadro 12

Resultados de los cálculos estadísticos con respecto al rendimiento promedio obtenido en cada proceso

Comparación de procesos	Valor de t calculado	Evidencia de diferencia significativa <sup>1</sup>
1 y 2	1.533	-
1 y 3	5.073	+
1 y 4	4.409	+
2 y 3	2.206	-
2 y 4	5.577	+
3 y 4	8.765	+

1 :  $t(6, 0.05) = 2.447$

que retiene el almidón, de manera que parte del almidón se pierde con el residuo y otra parte con las aguas de desecho, pues como se mencionó en el punto 5.3.1, el material asentado presenta gran tendencia a suspenderse de nuevo en el agua durante el decantado.

Entre los procesos 1 y 2, no se encontró diferencia significativa en cuanto a rendimiento, esto no resulta extraño si se considera que ambos procesos son bastante parecidos.

Entre los rendimientos de los procesos 2 y 3, no se encontró diferencia significativa, obteniéndose con ellos los mejores resultados. Sin embargo, se observó un mejor rendimiento en el proceso 3, en comparación con el proceso 1.

Aún cuando se detectaron las diferencias mencionadas, la magnitud de estas variaciones es tan pequeña, que como criterio de selección el resultado de mayor importancia es el que indica que el proceso 4 presenta el rendimiento más bajo.

b) Calidad de los productos:

-Apariencia: para efectos del presente estudio la característica de mayor importancia en cuanto a apariencia, es el color y específicamente la presencia de algún pigmento extraño que pueda incidir en el color de los fideos transparentes que se elaboren con el almidón. En este sentido, todos los almidones obtenidos en las pruebas son blancos. La repetición 1 de los procesos 1, 2 y 3, presentó un ligero tono amarillo verdoso, causado por un lavado deficiente de la capa

superficial del líquido supernatante, que queda en la superficie del almidón después del primer decantado (ver sección 5.3.1). Esta situación se corrigió en las pruebas que se realizaron posteriormente, eliminándose la coloración en los productos.

Los almidones obtenidos con el proceso 4, parecen tener un color grisáceo, que en realidad se debe a que el almidón está mezclado con una cantidad considerable de un material oscuro, muy fino. Como se mencionó anteriormente, es probable que este material sea de naturaleza fibrosa, debido a la falta de remojo y a la molienda fina en seco.

Como marco de referencia, se puede mencionar que aún cuando todos los almidones son de color blanco, presentan un tono ligeramente más "oscuro" que el almidón de maíz producido en Costa Rica y ligeramente más "claro" que el almidón de yuca también producido en Costa Rica. Los almidones del proceso 4, son más "oscuros" que el de yuca.

Pensando en una eventual utilización del almidón de frijol mungo en la preparación de otros productos, otra característica que en cuanto a apariencia resulta importante, es la textura. Todas las muestras, excepto las del proceso 4, son pulverulentas y sin tendencia a la aglomeración. Estas características son similares a las de los almidones de maíz y yuca.

Las muestras del proceso 4 presentan tendencia a aglomerarse dando la impresión de estar húmedas. Esto podría tener un efecto negativo en cuanto a comercialización del producto.

-Pureza: la pureza de los almidones depende de la eficiencia de la extracción y de las contaminaciones durante y después del proceso.

En este punto se analiza la pureza en términos del contenido de almidón presente en cada producto. El Cuadro 13 incluye los promedios obtenidos para cada uno de los procesos.

En general se observa que la pureza obtenida en todos los productos es bastante alta, y es posible hacer una comparación favorable con el dato reportado por Srisawas et al. (1985), de 98.05% de almidón de frijol mungo en base seca, que corresponde a un 86.28% para una base de 12% de humedad.

La información estadística que permite establecer comparaciones entre los procesos estudiados se presenta en el Cuadro 14. De acuerdo con esta información se puede afirmar que utilizando el proceso 2 se obtienen productos más puros que con el proceso 1. Aún cuando ambos procesos son similares, la diferencia puede deberse a que como se mencionó en el punto 5.3.1, en el proceso 1 se realiza una molienda gruesa en seco, que produce mayor cantidad de fibra fina difícil de separar del almidón.

La pureza de los productos obtenidos por medio del proceso 2, también es superior que la de los productos del proceso 3, evidenciando el efecto positivo del descascarillado por ese método sobre la calidad del producto final. Sin embargo, no se encontró diferencia entre los procesos 1, que también incluye un descascarillado y 3; esto indica que existe la posibilidad de que con mayor experimentación

Cuadro 13

Contenido de almidón promedio de los productos obtenidos en cada proceso<sup>1</sup>

Proceso	Contenido promedio de almidón (%)	Desviación estándar	Coficiente de variación (%)
1	87.8	3.5	4.0
2	91.6	2.6	2.8
3	87.2	1.2	1.3
4	74.6	1.5	1.9

1 : Datos calculados para muestras con un 12% de humedad.

Cuadro 14

Resultados de los cálculos estadísticos con respecto  
al contenido de almidón promedio obtenido en  
cada proceso

Comparación de procesos	Valor de t calculado	Evidencia de diferencia significativa <sup>1</sup>
1 y 2	2.465	+
1 y 3	0.459	-
1 y 4	9.805	+
2 y 3	4.346	+
2 y 4	16.019	+
3 y 4	18.552	+

<sup>1</sup> :  $t(6, 0.05) = 2.447$

se logre detectar diferencia entre ambos métodos, o que realmente el descascarillado por el proceso 1, no represente ninguna ventaja sobre el proceso 3, en cuanto a pureza. Esto último podría deberse a la molienda gruesa en seco que se incluye en el proceso 1 y la consecuente formación de fibra muy fina.

Aún cuando se comprobaron las diferencias anteriormente planteadas, los valores de pureza para los procesos 1, 2 y 3 son muy buenos y la diferencia entre ellos no es muy grande.

Con el proceso 4, si se presenta una diferencia importante, pudiéndose afirmar claramente, que este proceso genera los productos de menor pureza. En este caso se debe considerar que al no llevarse a cabo una fase de remojo, y al realizarse la molienda fina en seco, se produce una gran cantidad de fibra muy fina, difícil de separar del producto. Supúlpeda et al. (1985) comenta al respecto, que es difícil separar almidón puro de las leguminosas, debido a la presencia de una alta fracción de fibra fina proveniente de la pared de las células que contienen el almidón.

En el Cuadro 15 se aprecia el contenido promedio de proteína y de cenizas obtenido en los diferentes procesos. El contenido de proteína se acostumbra evaluar cuando se estudia la pureza de un almidón, pues se considera que la eficiencia del aislamiento depende de la separación individual de los gránulos de la matriz proteica (9). En este caso los bajos contenidos de proteína concuerdan con la afirmación efectuada sobre la alta pureza que en general se obtuvo en los



Cuadro 15

Contenido de proteína y cenizas promedio de las muestras de almidón

Proceso	Contenido de proteína promedio (%)	Desviación estándar	Contenido de cenizas promedio (%)	Desviación estándar
1	0.1	0.1	0.1	0.0
2	0.1	0.1	0.1	0.0
3	0.2	0.0	0.1	0.0
4	1.0	0.4	0.1	0.1

1 : Resultados de los almidones con un contenido de humedad de 12%.

procesos estudiados. Un contenido alto de cenizas revela la presencia de tierra o suciedad, en este caso los valores obtenidos son bajos y son comparables con el obtenido por Srisawas et al. (1985), de 0.13%.

-Características de gelificación: el tratamiento al cual se ve sometido un almidón durante su proceso de manufactura, puede dañar sus gránulos, ya sea física, química o mecánicamente. Por ejemplo, una molienda muy fuerte aumenta la proporción de gránulos dañados, lo que a su vez afecta las propiedades reológicas de los geles (12).

Los gránulos dañados tienden a hincharse en agua fría; esto en algunos casos puede ser ventajoso. Sin embargo, la curva de viscosidad presentará considerables diferencias con respecto a la curva que formaría el mismo almidón con una menor proporción de gránulos dañados (12).

Salazar y Pardo (1973), indican que cuando se tiene una mayor proporción de gránulos dañados, el aumento de viscosidad es menos pronunciado.

En el Apéndice 2 se incluyen los amilogramas obtenidos en las repeticiones de cada proceso. En ellos se puede observar que a la concentración ensayada (6% en base seca), se tiene un patrón de viscosidad tipo C, lo que concuerda con los resultados de Schoch y Maywald (1968).

En el Cuadro 16 se presentan los promedios de algunas características de gelificación de los productos obtenidos en cada proceso. En el Apéndice 3, se puede encontrar la misma información para cada

Cuadro 16

Características de gelificación promedio de los procesos estudiados

Proceso	$t_o$ min	S	$T_o$ (°C)	S	$t_{max}$ min	S	$T_{max}$ (°C)	S	$V_{max}$ U.B.	S	$V_{ret_o}$ U.B.	S	$V_{ret_f}$ U.B.	S	$V_e$ U.B.	S	F.C. min	S	I.G. U.B.	S	I.S. U.B.	S
1	22.5	0	73.8	0	31.3	0.96	86.9	1.44	595	33.17	595	33.17	642.5	55	842.5	51.88	8.8	1.0	200	39.2	-47.5	-22.2
2	22.6	0.25	74.0	0.35	31.5	0.58	87.3	0.87	605	12.9	605	12.9	650	16.3	897.5	23.6	8.9	0.75	248	12.58	-45	-12.91
3	22.6	0.25	74.0	0.35	32.3	0.96	88.4	1.44	602	5.0	602	5.0	625	19.15	842.5	26.3	9.6	0.85	218	17.08	-22.5	-17.08
4	22.9	0.48	74.4	0.71	30.8	0.96	86.1	1.44	630	14.14	628	18.93	640	59.44	782.5	78.05	7.9	1.11	142.5	20.6	-20	48.99

1 : La razón de calentamiento y de enfriamiento son iguales (1.5°C/min)  
 El tiempo de retención a 90°C fue de 20 min  
 Concentración de las suspensiones = 6% (base seca)

2 : Ver apartado de abreviaturas para simbología.

repetición, la cual fue extraída de los amilogramas.

El análisis de varianza aplicado a estos datos (Cuadro 17) indica que no se presenta diferencia entre los procesos con respecto a las características de gelificación estudiadas, excepto para la viscosidad que se alcanza cuando el gel se ha enfriado a 50°C ( $V_e$ ) y para el índice de gelificación (IG).

Entonces, se puede decir que el almidón de frijol mungo de la variedad VC 2768A, extraído por cualquiera de los métodos estudiados, presenta las siguientes características aproximadas:

La viscosidad comienza a aumentar a una temperatura ( $T_o$ ) de 74°C, alcanzándose una viscosidad máxima ( $V_{max}$ ) de 605 U.B. a aproximadamente 87°C ( $T_{max}$ ). Esta viscosidad máxima es prácticamente igual a la viscosidad al iniciarse el período de temperatura constante a 90°C ( $V_{ret_o}$ ).

La diferencia entre la viscosidad máxima ( $V_{max}$ ) y la viscosidad al finalizar el período de retención a 90°C ( $V_{ret_f}$ ), conocida como inestabilidad de la suspensión (IS), es un indicador de la tendencia de los gránulos hinchados a romperse cuando se mantienen a temperaturas altas. En este caso se puede ver que los datos son de signo negativo indicando que durante ese período la viscosidad, aunque levemente, tiende a subir. Esto evidencia una alta resistencia de los gránulos del almidón de frijol mungo.

Otra característica importante de los almidones es la facilidad de cocimiento (FC), que también se conoce como razón de gelatinización.

Cuadro 17

Análisis de varianza de las características de  
gelificación de los productos obtenidos  
en cada proceso

Característica estudiada	Valor de F calculada	Evidencia de diferencia entre los 4 procesos <sup>1</sup>
$t_o$ (min)	1.16	-
$T_o$ (°C)	1.17	-
$t_{max}$ (min)	2.32	-
$T_{max}$ (°C)	2.32	-
$V_{max}$ (U.B.)	2.86	-
$V_{ret_o}$ (U.B.)	2.14	-
$V_{ret_f}$ (U.B.)	0.51	-
$V_e$ (U.B.)	6.17	+
F.C. (min)	2.69	-
I.G. (U.B.)	16.51	+
I.S. (U.B.)	1.75	-

1 :  $F(3,9; 0.05) = 3.86$

Para el almidón de frijol mungo se obtuvo que la facilidad de cocimiento es de aproximadamente 9 min, o sea que el almidón requiere de 9 min para alcanzar la viscosidad máxima, desde el momento en que se detecta el aumento de viscosidad.

Con respecto a las características de viscosidad en el enfriamiento (Ve) y de índice de gelificación (IG), con las cuales el análisis de varianza detectó diferencia entre procesos, se realizó el análisis t student.

De los resultados obtenidos (Cuadro 18), se puede ver que en cuanto a Ve se encontró diferencia entre los procesos 2 y 3, y 2 y 4, obteniéndose en ambos casos una mayor viscosidad en el proceso 2. Sin embargo, las diferencias son muy pequeñas, de manera que si se hiciera el análisis a un 99% de confianza ( $t$  tabular = 3.71), no existiría diferencia entre ninguno de los procesos.

Con respecto al índice de gelificación (IG), las diferencias más importantes indican que los productos del proceso 4 presentan valores inferiores que los de los otros procesos.

La posible causa de variación en las características de gelificación de los productos del proceso 4, es principalmente la molienda seca fina que es la operación que no se lleva a cabo en los otros procesos y que se puede considerar fuerte, en el sentido de que puede producir mayor daño mecánico y físico (por generación de calor), que las otras etapas del proceso.

En el Cuadro 19, se incluyen las características de gelificación

Cuadro 18

Comparación estadística entre los procesos con respecto a la viscosidad en el enfriamiento (Ve) y al índice de gelificación (I.G.)

Comparación de Procesos	Ve (U.B.)		I.G. (U.B.)	
	Valor de t calculado	Evidencia de diferencia significativa <sup>1</sup>	Valor de t calculado	Evidencia de diferencia significativa <sup>1</sup>
1 y 2	1.930	-	2.310	-
1 y 3	0.000	-	0.819	-
1 y 4	1.280	-	2.599	+
2 y 3	3.111	+	2.828	+
2 y 4	2.820	+	8.695	+
3 y 4	1.457	-	5.603	+

1 :  $t(6, 0.05) = 2.447$

Cuadro 19

Características de gelificación del almidón de maíz  
y de yuca comerciales elaborados en Costa Rica

Característica	Almidón de maíz	Almidón de yuca
$t_o$ (min)	31	23
$T_o$ (°C)	86.5	74.5
$t_{max}$ (min)	36.5	33.3
$T_{max}$ (°C)	94.8	90
$V_{max}$ (U.B.)	370	420
$V_{ret_o}$ (U.B.)	370	420
$V_{ret_f}$ (U.B.)	390	470
$V_e$ (U.B.)	870	710
F.C. (min)	5.5	10.3
I.G. (U.B.)	480	240
I.S. (U.B.)	-20	-50



de los almidones de maíz y de yuca comerciales.

Aún cuando esta información no es importante para este estudio en particular, puede ser de valor en caso de que se desee elaborar fideos transparentes a partir de otros almidones que no sean de frijol mungo o que se piense utilizar el almidón del frijol mungo en otras aplicaciones. Se puede apreciar que existe mayor similitud entre ellos que con respecto al almidón de frijol mungo.

c) Grado de dificultad de los procesos: evaluando el tiempo de proceso y la necesidad de equipo y mano de obra, el proceso 4 se puede considerar como el más sencillo, debido a que no incluye remojo, ni operaciones para el descascarillado. Las únicas etapas de este proceso que lo hacen más difícil son la eliminación de las aguas de los lavados, que deben llevarse a cabo con bastante cuidado, por la tendencia del material que contiene el almidón a mezclarse de nuevo; y posteriormente la recolección del material asentado, que por su consistencia es difícil de manejar.

Entre los otros tres procesos, el 3 es el más sencillo. Se puede observar que las operaciones que incluye también se realizan en los procesos 1 y 2, pero que no se hace la molienda gruesa ni el descascarillado, lo que implica un menor tiempo de proceso y la utilización de menos equipo y mano de obra.

Los procesos 1 y 2 presentan un grado de dificultad similar, puesto que las operaciones, el equipo y la necesidad de mano de obra

es igual en ambos. La única diferencia se encuentra en el tiempo requerido para la molienda gruesa, que es menor en el proceso 1; sin embargo, esta diferencia no es importante.

d) Análisis general: tomando en consideración los resultados más relevantes mencionados en los análisis de rendimiento, calidad y grado de dificultad de los procesos, se puede realizar un análisis global con el fin de definir el mejor proceso para la extracción del almidón del frijol mungo.

El proceso 4, aún cuando se puede considerar como el proceso con menor grado de dificultad, es el que presenta un menor rendimiento, y sus productos son los de más baja calidad.

Con respecto a los otros tres procesos, en algunos casos se detectaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a rendimiento y a calidad de productos. Sin embargo, para efectos prácticos estas diferencias son bastante pequeñas, de manera que toma gran importancia como criterio de selección, el grado de dificultad de los procesos.

En general, los procesos 1 y 2, presentan un grado de dificultad considerablemente mayor que los procesos 3 y 4. Como el proceso 4 presenta las desventajas mencionadas, se puede considerar que el proceso 3 resulta más conveniente, pues además de presentar un rendimiento alto, comparado con los otros procesos estudiados, sus productos son de buena calidad.

## 6. CONCLUSIONES

1. El constituyente del frijol mungo que se encuentra en mayor proporción es el almidón, y en segundo lugar las proteínas.

2. No existe una diferencia importante en cuanto a características físicas ni composición química entre los cultivares VC 2768A, VC 2771A, VC 3301A y VC 3061A, del frijol mungo.

3. Los fideos transparentes comerciales marca Wermicelli elaborados en la República Popular China, están compuestos básicamente por almidón y el almidón utilizado para su elaboración es bastante puro.

4. Los procesos 1, 2 y 3 presentan rendimientos bastante parecidos, pero el proceso 4 tiene un rendimiento inferior con respecto a los otros tres procesos.

5. La apariencia general de los almidones obtenidos en los procesos 1, 2 y 3 es similar, tanto entre ellos mismos como con respecto a los almidones comerciales de maíz y yuca. La apariencia del almidón elaborado mediante el proceso 4 es inferior a la de los almidones obtenidos por los otros procesos.

6. El proceso 2 genera productos más puros que los obtenidos por los otros procesos, y el proceso 4 genera productos considerablemente menos puros.

7. Los almidones obtenidos por medio del proceso 4 presentan un índice de gelificación inferior a los obtenidos por los otros procesos.

8. El proceso 4 se puede considerar como el que tiene menor nivel de dificultad seguido por el proceso 3. Los procesos 1 y 2 tienen un nivel de dificultad similar, mayor que los otros dos procesos.

9. Evaluando globalmente el rendimiento de los procesos, la calidad de los productos y el grado de dificultad de los procesos, el proceso 3 es el que ofrece mejores resultados.

## 7. RECOMENDACIONES

1. El presente trabajo ofrece un método para la extracción del almidón de frijol mungo, sin entrar en aspectos de optimización. De manera que es importante que utilizando el proceso 3 de este estudio, se evalúen los siguientes aspectos:

- tiempo y temperatura óptimos de remojo;
- efecto de la adición de ácido sulfuroso ( $H_2SO_3$ ) al agua de remojo; y
- tamaño de partícula adecuado en la molienda fina.

2. Estudiar otras posibilidades de utilización del almidón de frijol mungo.

3. Realizar un estudio con respecto a la recuperación del material proteico que se desecha en el proceso de extracción del almidón del frijol mungo.

4. Realizar una evaluación económica del proceso propuesto en este estudio.

## 8. BIBLIOGRAFIA

1. ANONIMO. s.f. Food legume processing and utilization. Ottawa, I.D.R.C. s.p.
2. ASIAN VEGETABLE RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTRE. 1978. International mungbean symposium. Taiwán: Chin Yu. 262 p.
3. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST. 1980. Official methods of analysis of The Association of Official Analytical Chemists. 12ed. Washington, Howest. p.
4. BIRSE, D.G. y CECIL, J.E. 1980. Starch extraction: a check list of commercially available machinery. Londres. Tropical Products Institute. 16 p.
5. CHEN, Y.L. y SHUH, M.CH. 1981. Characterization of red bean (*Phaseolus radiatus* var. Aurea) starch and its noodle quality. *Journal of Food Science* 46:78.
6. DUKE, J.A. 1977. Handbook of legumes of world economic importance. Londres, Plenum. 356 p.
7. HOWITZ, W., ed. 1970. Official Methods of Analysis of the Association of Officials Analytical Chemist (A.O.A.C.).
8. INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTRE. 1984. Improving small-scale food industries in developing countries. Ottawa. p. inc.
9. KAY, D. 1985. Food legumes. Zaragoza, Acribia. 435 p.
10. NIELSEN, J. 1943. Rapid determination of starch. *Industrial and Engineering Chemistry; Analytical edition* 15(3):176.
11. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. 1982. Las leguminosas en la nutrición humana. Roma. 136 p.
12. RADLEY, J.A., ed. 1976a. Examination and analysis of starch and starch products. Londres: Applied Science. 220 p.
13. \_\_\_\_\_. 1976b. Starch production technology. Londres: Applied Science. 587 p.
14. SALAZAR, T. y PARDO, C. 1973. Estudio de seis métodos analíticos para la medida del grado de modificación del almidón de harinas precocidas. *Tecnología*. no. 80:8.

15. SCHOCH, T. y MAYWALD, E. 1968. Preparation and properties of various legume starches. *Cereal Chemistry*. 45(6):564.
16. SRISAWAS, S. et al. 1985. Processing of Job's tear and beans. In Asean. Thailand Food Technology Research and Development. Banghoh: IFRPD. p. 35-41.
17. SUPULPEDA, E. et al. 1985. Almidón de tres cultivares de frijol (Phaseolus vulgaris). *Alimentos* 10(1):31.
18. THOMPSON, L.U. 1977. Preparation and evaluation of mung bean protein isolates. *Journal of Food Science* 42(1):202.
19. UNIVERSIDAD DE COSTA RICA. Facultad de Agronomía. 1987. Informe de progreso de agosto 1985 a julio 1986. Proyecto: Desarrollo, adaptación y transferencia de tecnología agrícola para los sistemas de cultivo de asentamientos campesinos de Río Frío, Costa Rica. Convenio UCR-CIID. San José. 126 p.
20. WHISTLER, R. y PASCHALL, E., eds. 1965. *Starch: Chemistry and Technology*. Londres: Academic Press. 579 p.
21. WURZBURG, O.B. 1972. Starch in the food industry. In Furia, T.E., ed. Handbook of food additives. 2ed. Ohio. CRC Press p. 361-395.
22. YANG, Ch. 1986. Experiencias con el frijol mungo en Costa Rica. Misión Técnica Agrícola de China. Comunicación personal.

9. APENDICES



APENDICE 1

PESO DE PRODUCTO FINAL Y CARACTERISTICAS QUIMICAS  
DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS EN LAS REPETICIONES  
DE CADA PROCESO

PESO DE PRODUCTO FINAL Y CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS  
PRODUCTOS OBTENIDOS EN LAS REPETICIONES REALIZADAS  
DE CADA PROCESO

Repetición		Porcentaje (%)				Peso de <sup>2</sup> muestra (g)
		Humedad	Almidón	Proteína <sup>1</sup>	Cenizas	
Proceso 1	1	8.51	95.83	0.05	0.07	553.5
		12.00	92.17	0.04	0.07	575.5
	2	8.70	91.93	0.00	0.10	457.9
		12.00	88.60	0.00	0.10	475.1
3	11.04	87.41	0.17	0.09	643.8	
	12.00	86.46	0.17	0.09	650.8	
4	8.98	86.70	0.08	0.09	620.4	
	12.00	83.82	0.08	0.09	641.71	
Proceso 2	1	13.70	92.20	0.00	--	602.3
		12.00	94.01	0.00	--	590.7
	2	8.00	97.70	0.16	--	681.0
		12.00	93.45	0.15	--	712.0
3	10.20	92.20	0.15	0.08	658.9	
	12.00	90.35	0.15	0.08	672.4	
4	5.90	94.60	0.25	0.10	616.16	
	12.00	88.46	0.23	0.09	658.9	
Proceso 3	1	6.50	94.40	0.20	0.10	646.2
		12.00	88.84	0.19	0.09	686.6
	2	4.10	93.90	0.14	0.10	624.5
		12.00	86.16	0.13	0.09	680.6
3	9.40	89.04	0.23	0.10	698.7	
	12.00	86.48	0.22	0.10	719.4	
4	7.20	92.00	0.21	0.10	677.7	
	12.00	87.24	0.20	0.09	714.7	
Proceso 4	1	9.70	78.50	0.40	0.10	416.7
		12.00	76.50	0.39	0.10	427.6
	2	4.40	79.70	1.50	0.20	526.9
		12.00	78.36	1.38	0.18	572.4
3	8.90	77.70	1.00	0.00	473.5	
	12.00	75.05	0.97	0.00	490.2	
4	6.80	77.90	1.20	0.20	493.6	
	12.00	73.55	1.13	0.19	522.8	

1 : N x 6.25

2 : a partir de 2 kg de materia prima

APENDICE 2

AMILOGRAMAS DE LOS ALMIDONES OBTENIDOS EN CADA  
REPETICION DE CADA PROCESO

Figura 1

Amilograma de la repetición 1 - proceso Nº1

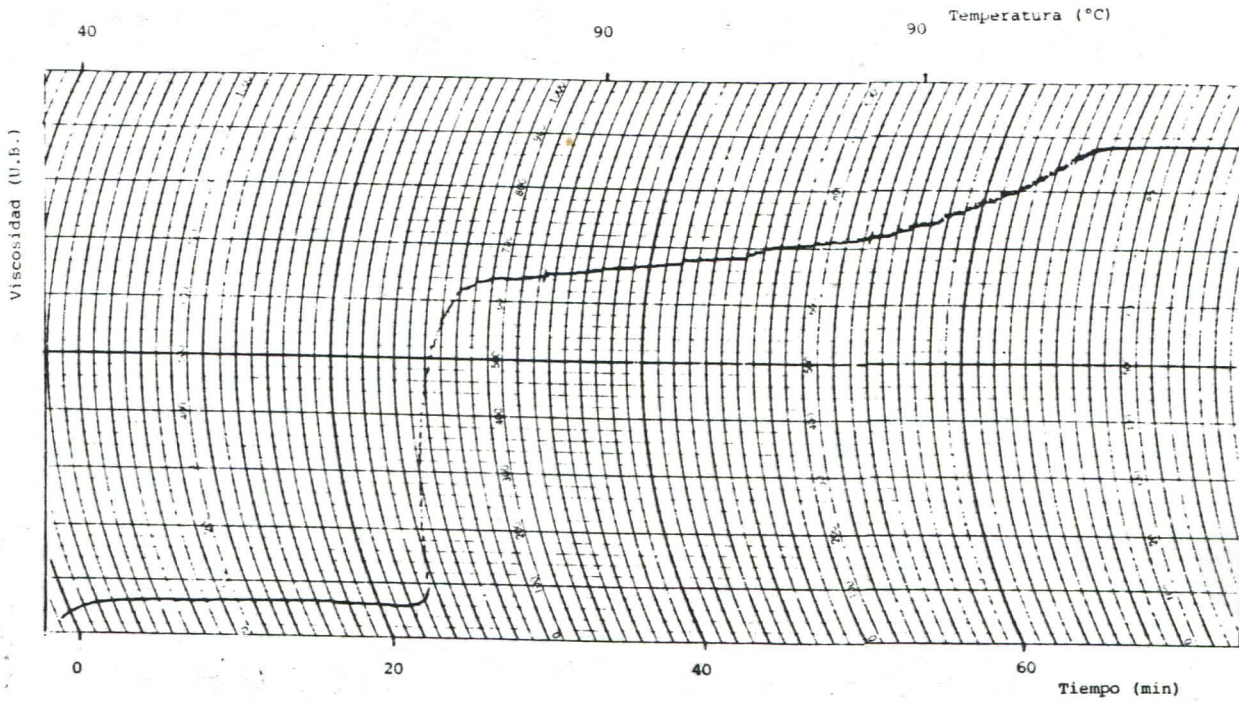


Figura 2

Amilograma de la repetición 2 - proceso Nº1

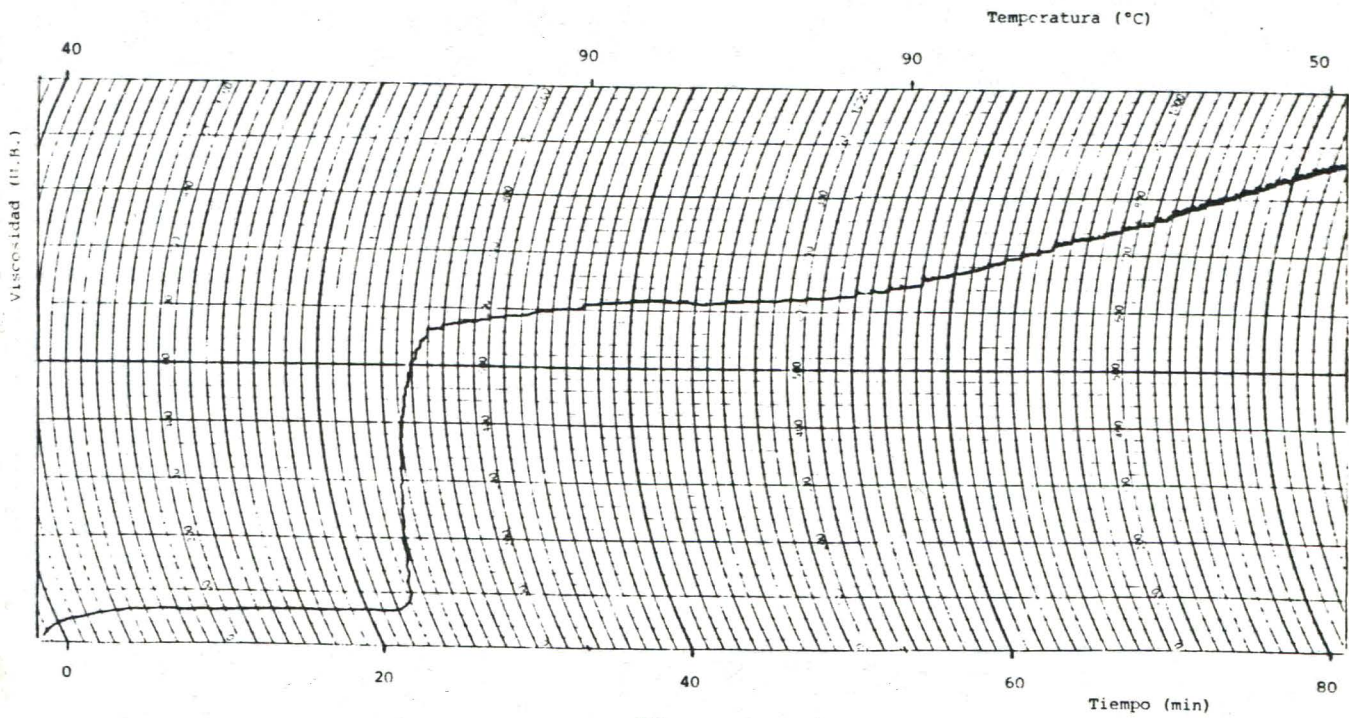


Figura 3

Amilograma de la repetición 3 - proceso Nº1

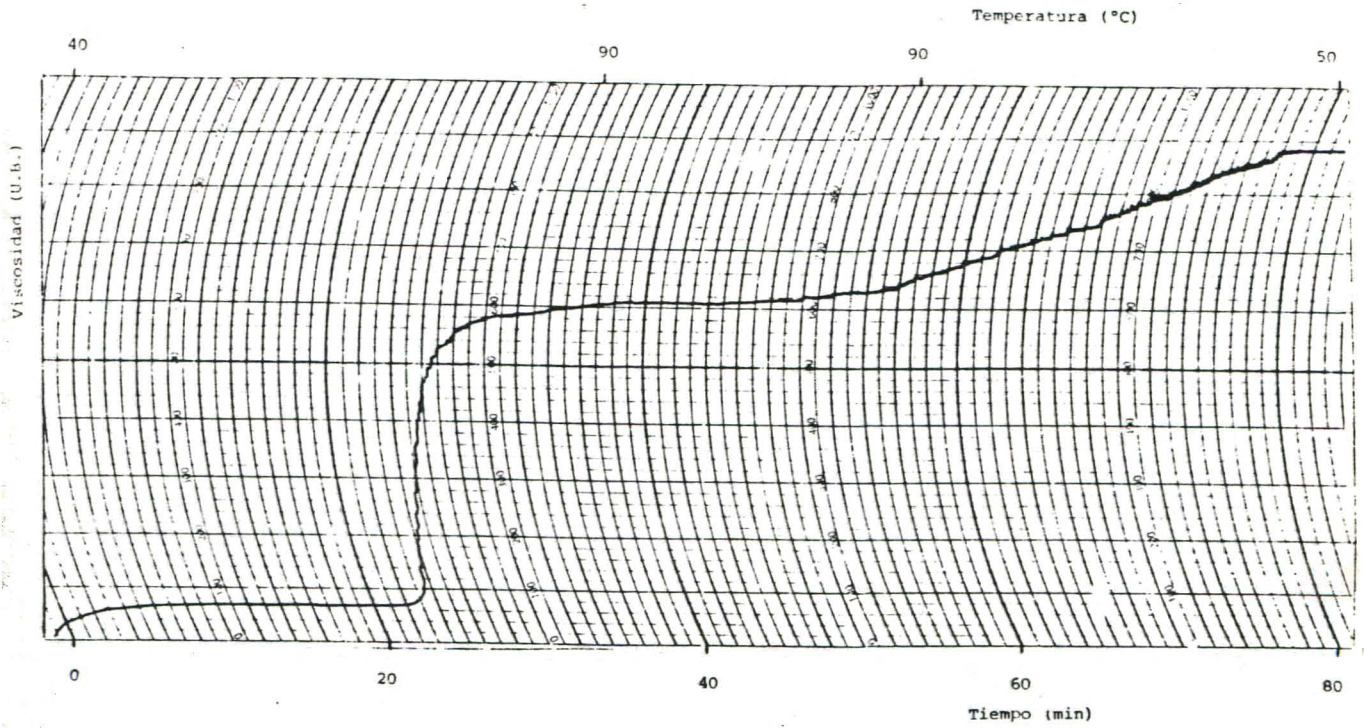


Figura 4

Amilograma de la repetición 4 - proceso Nº1

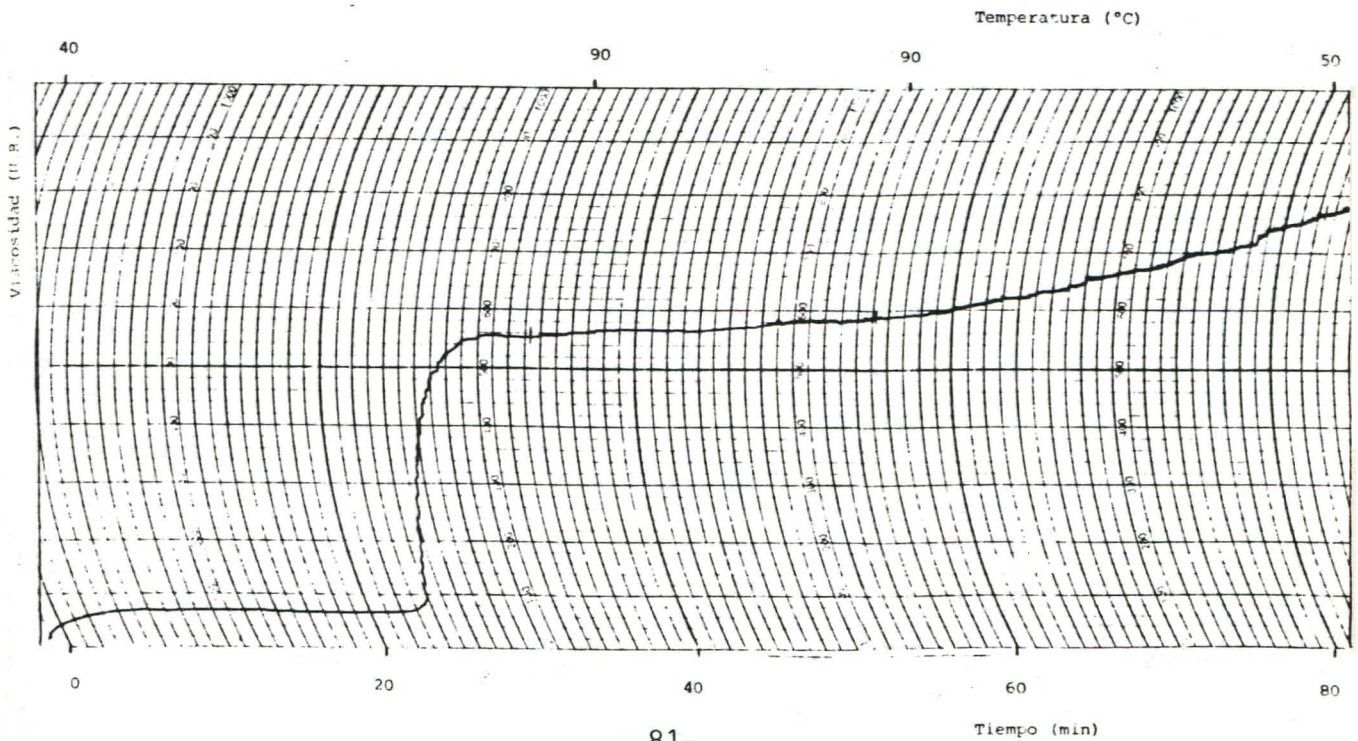


Figura 5  
Amilograma de la repetición 1 - proceso Nº2

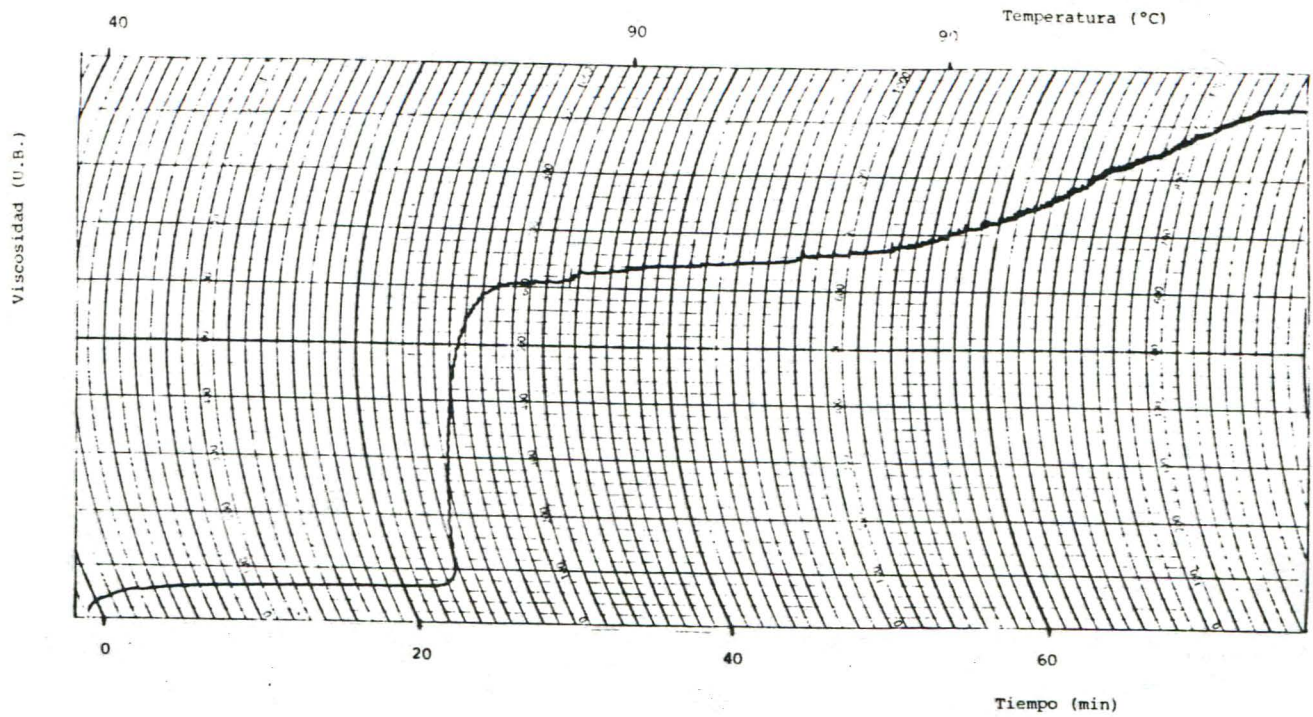


Figura 6  
Amilograma de la repetición 2 - proceso Nº2

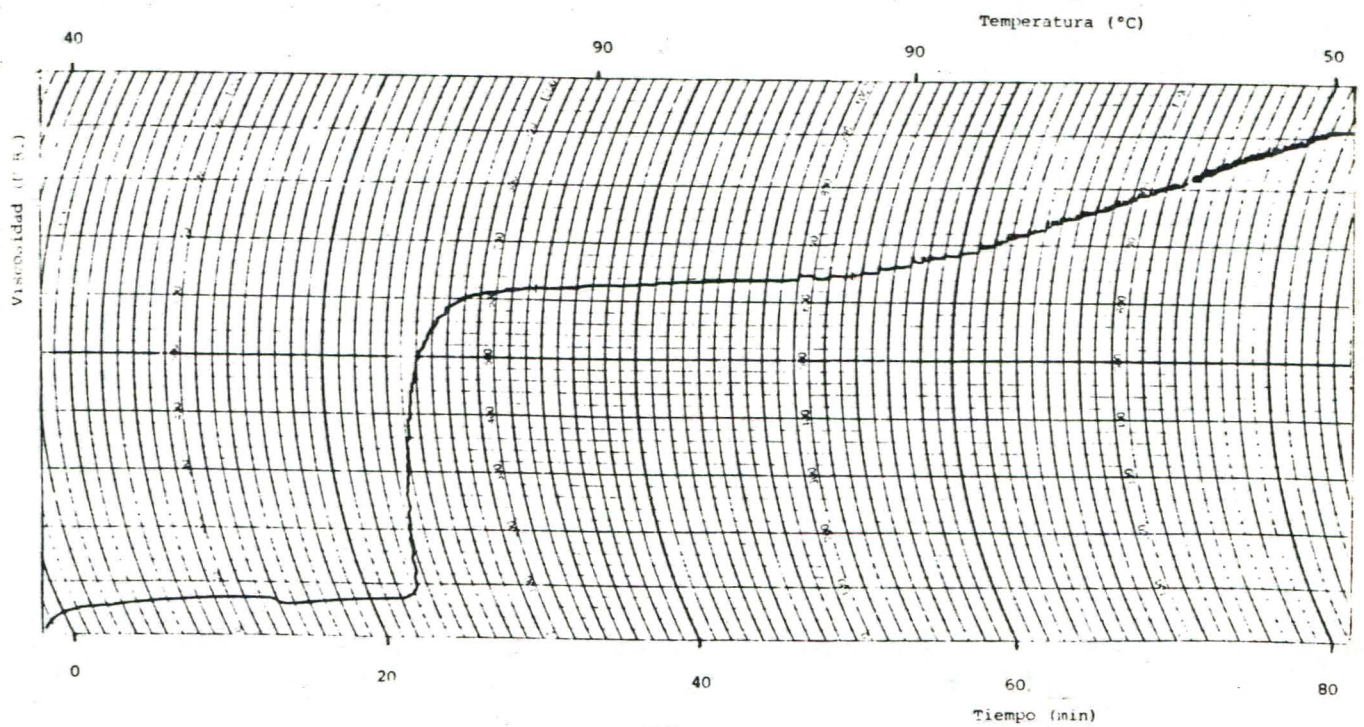


Figura 7  
Amilograma de la repetición 3 - proceso Nº2

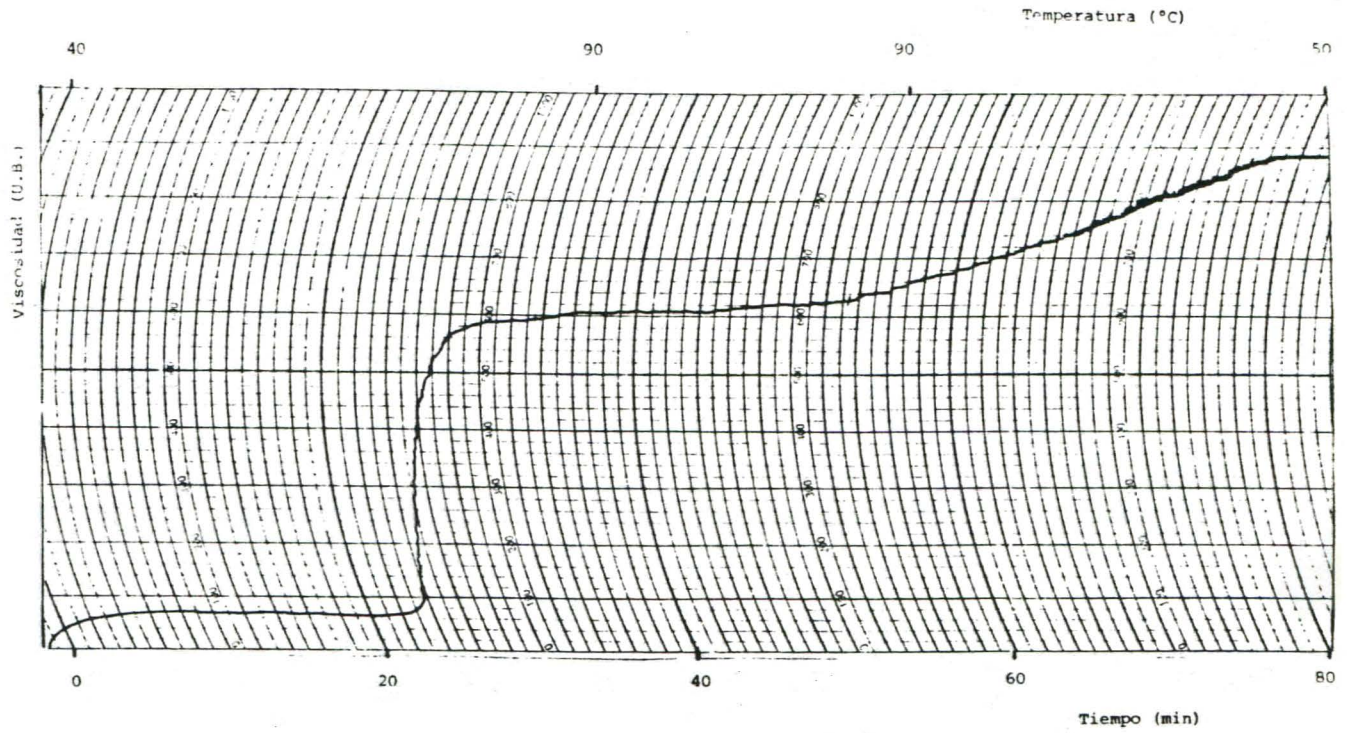


Figura 8  
Amilograma de la repetición 4 - proceso Nº2

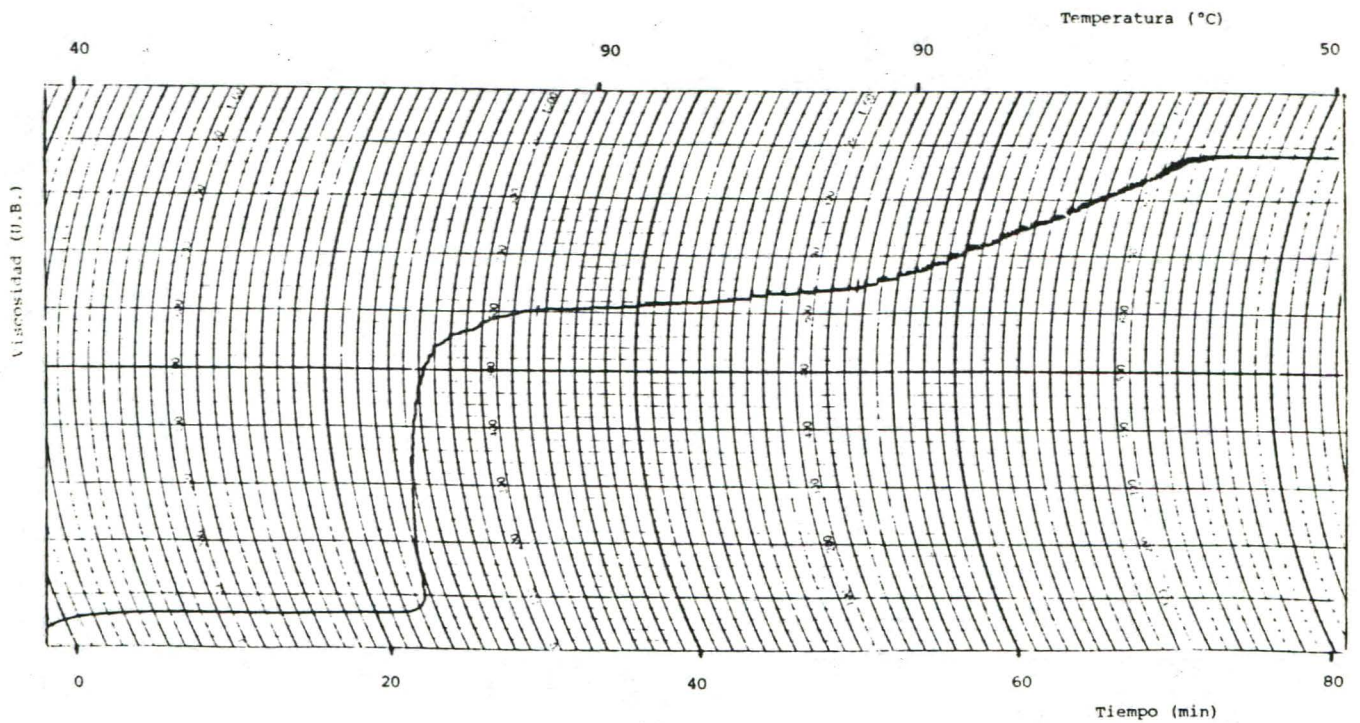


Figura 9  
Amilograma de la repetición 1 - proceso N°3

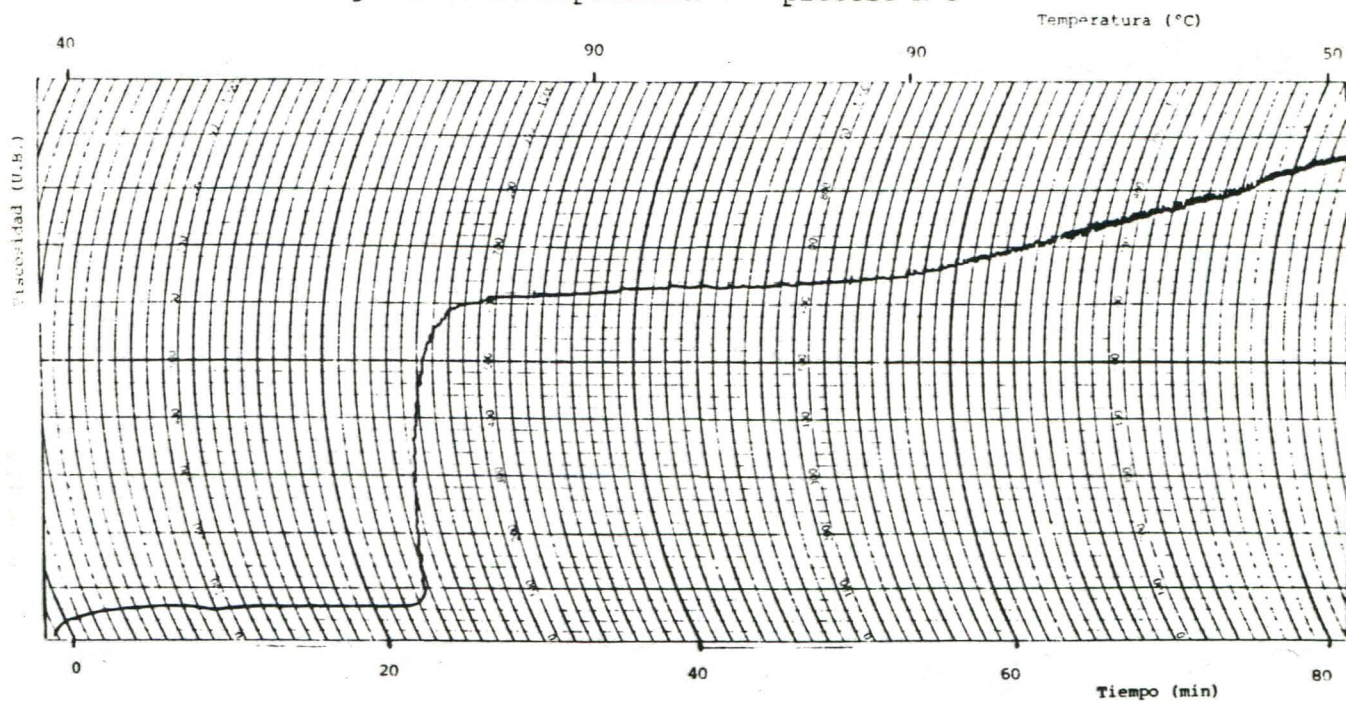


Figura 10  
Amilograma de la repetición 2 - proceso N°3

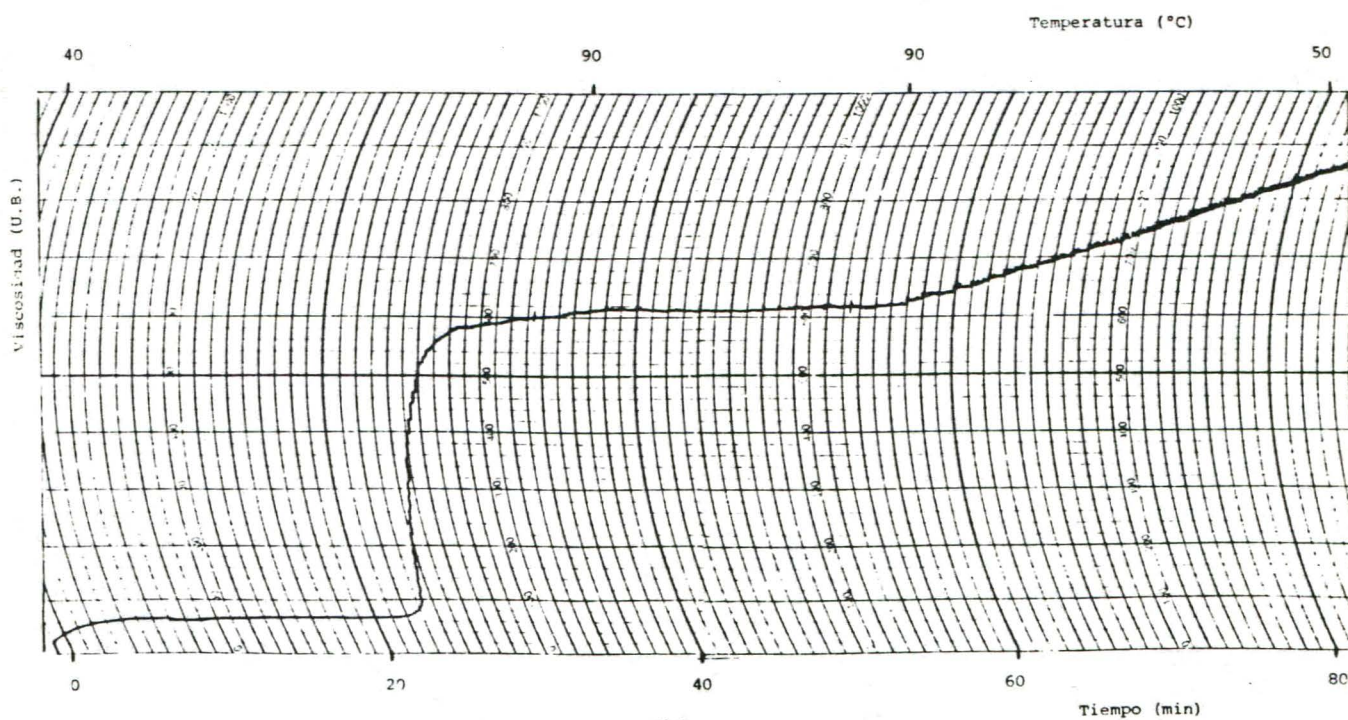




Figura 11

Amilograma de la repetición 3 - proceso Nº3

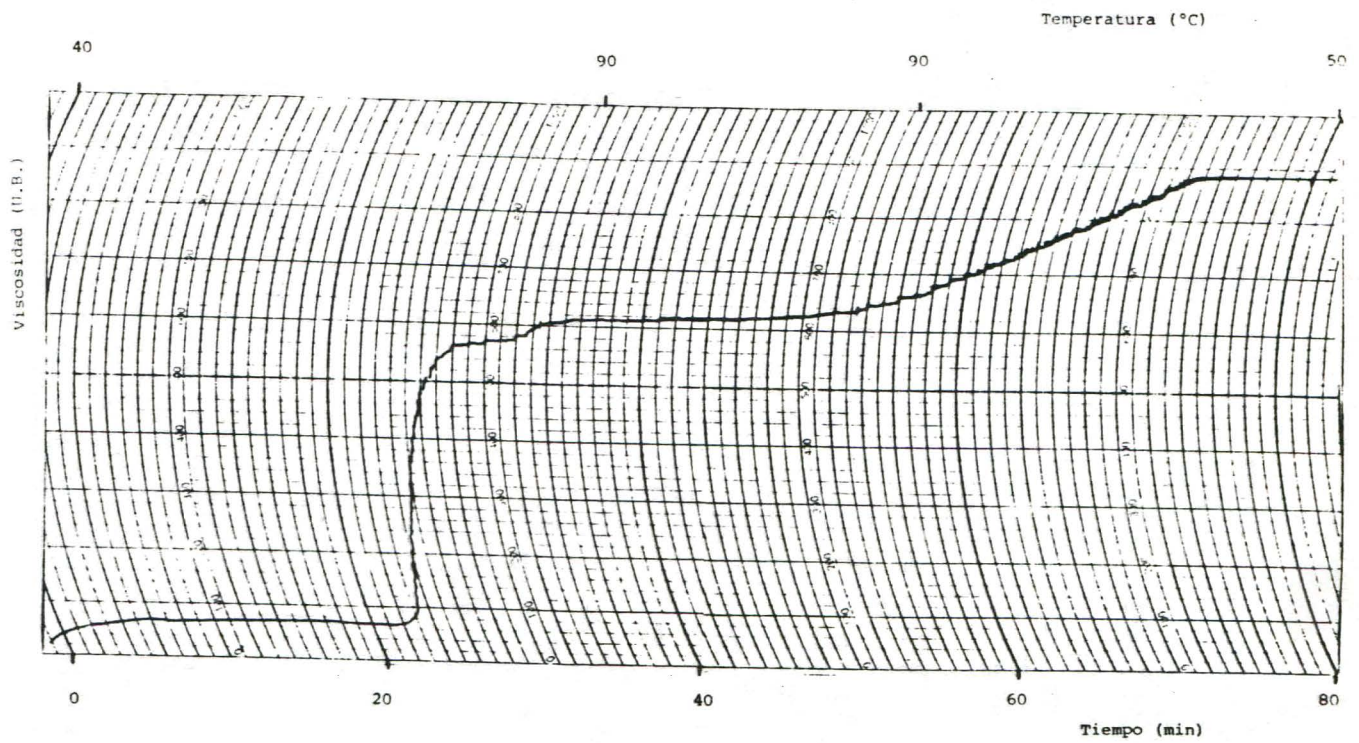


Figura 12

Amilograma de la repetición 4 - proceso Nº3

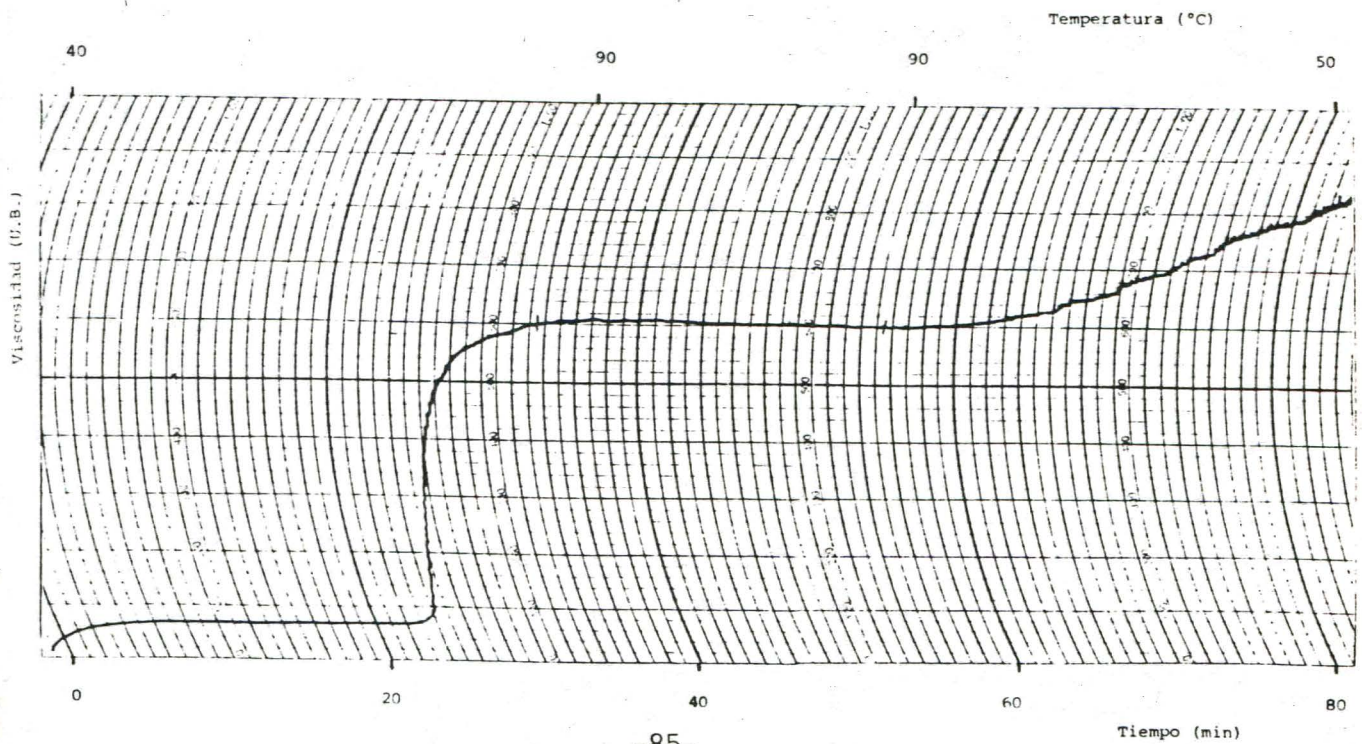


Figura 13  
Amilograma de la repetición 1 - proceso Nº4

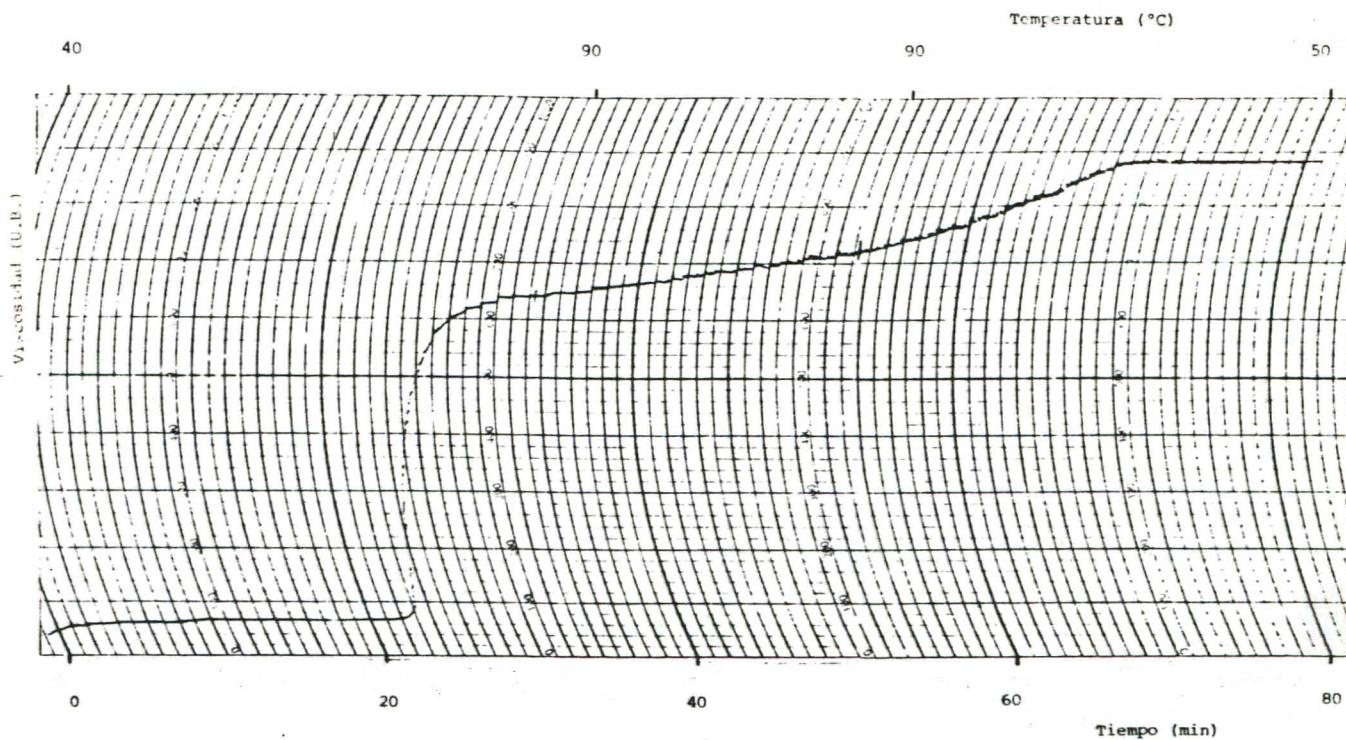


Figura 14  
Amilograma de la repetición 2 - proceso Nº4

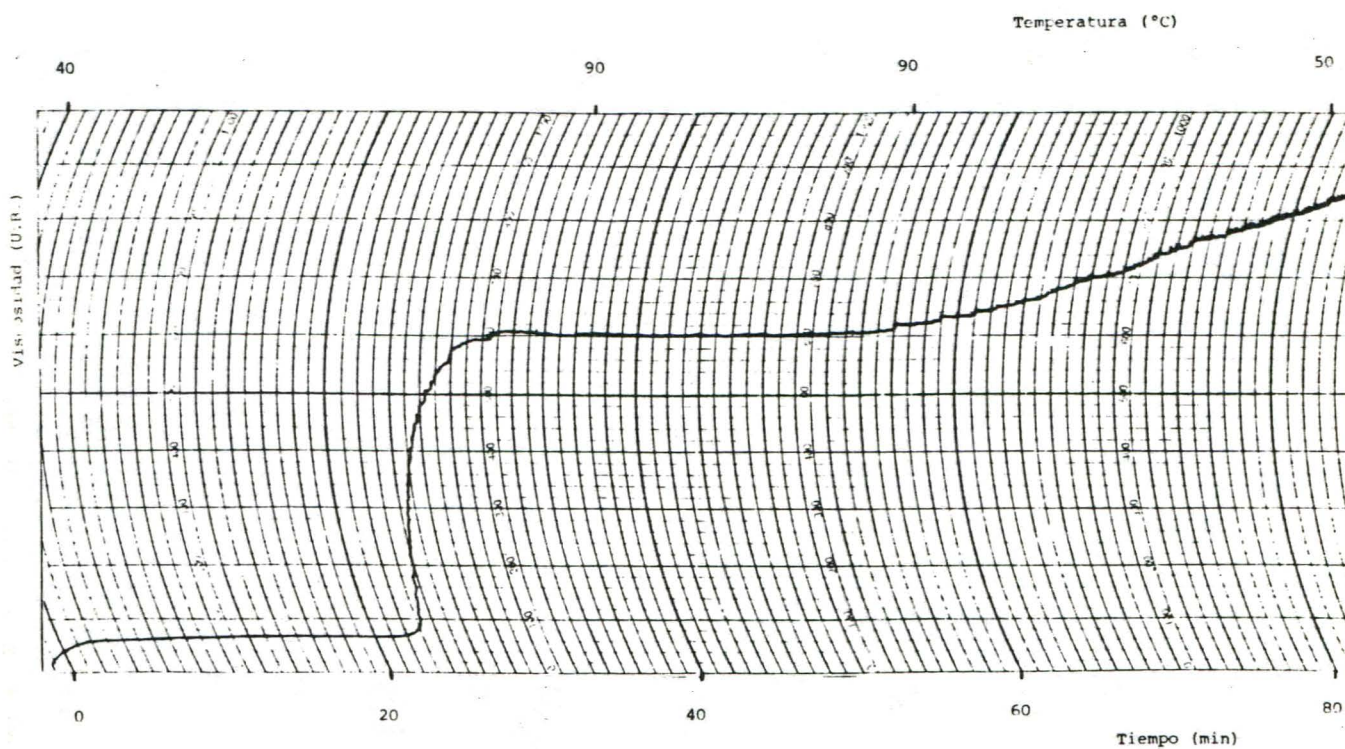


Figura 15

Amilograma de la repetición 3 - proceso N°4

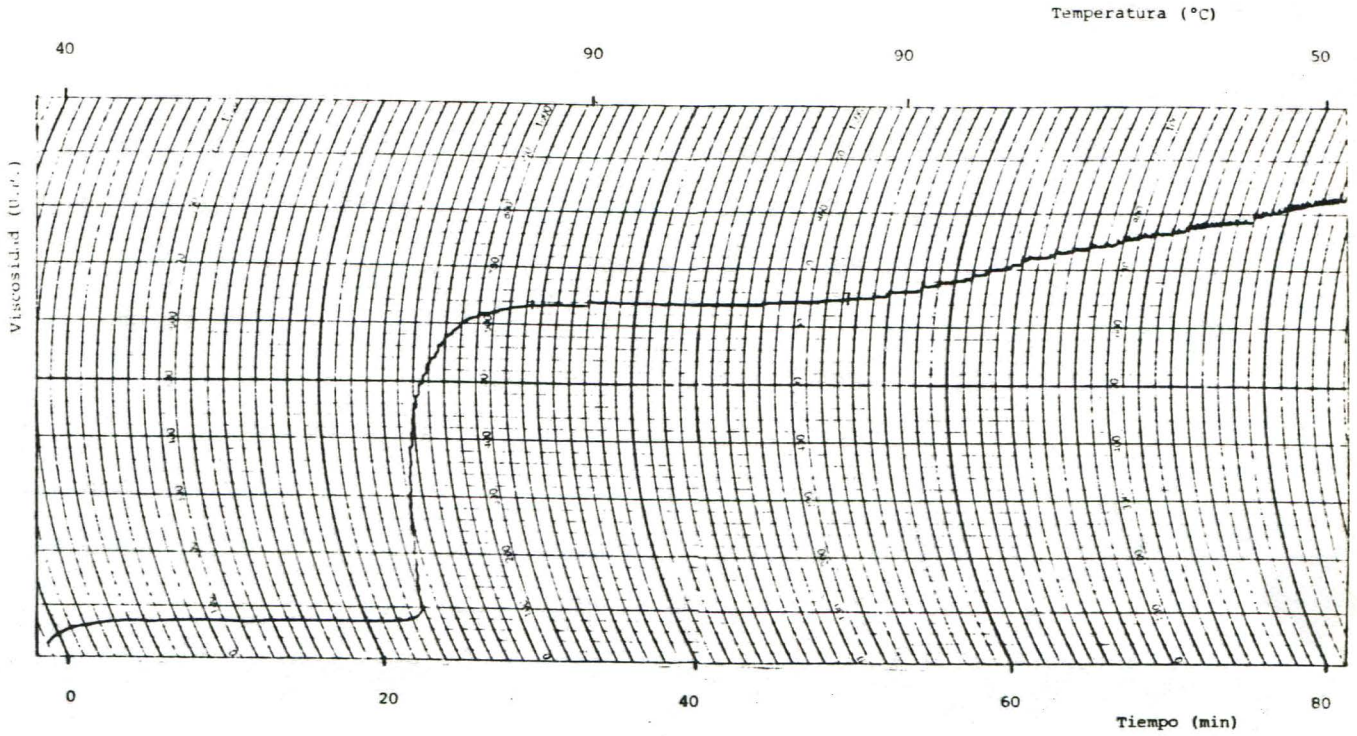


Figura 16

Amilograma de la repetición 4 - proceso N°4

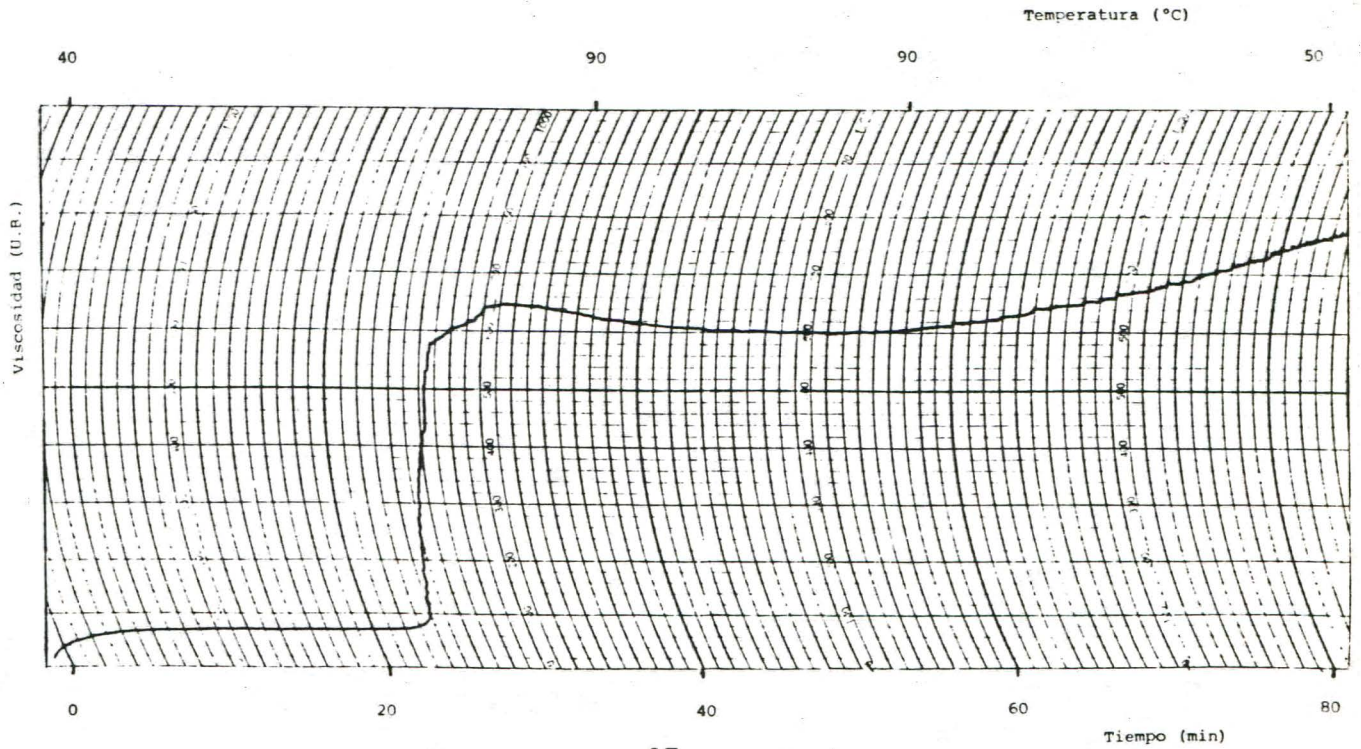


Figura 17

Amilograma del almidón comercial de maíz

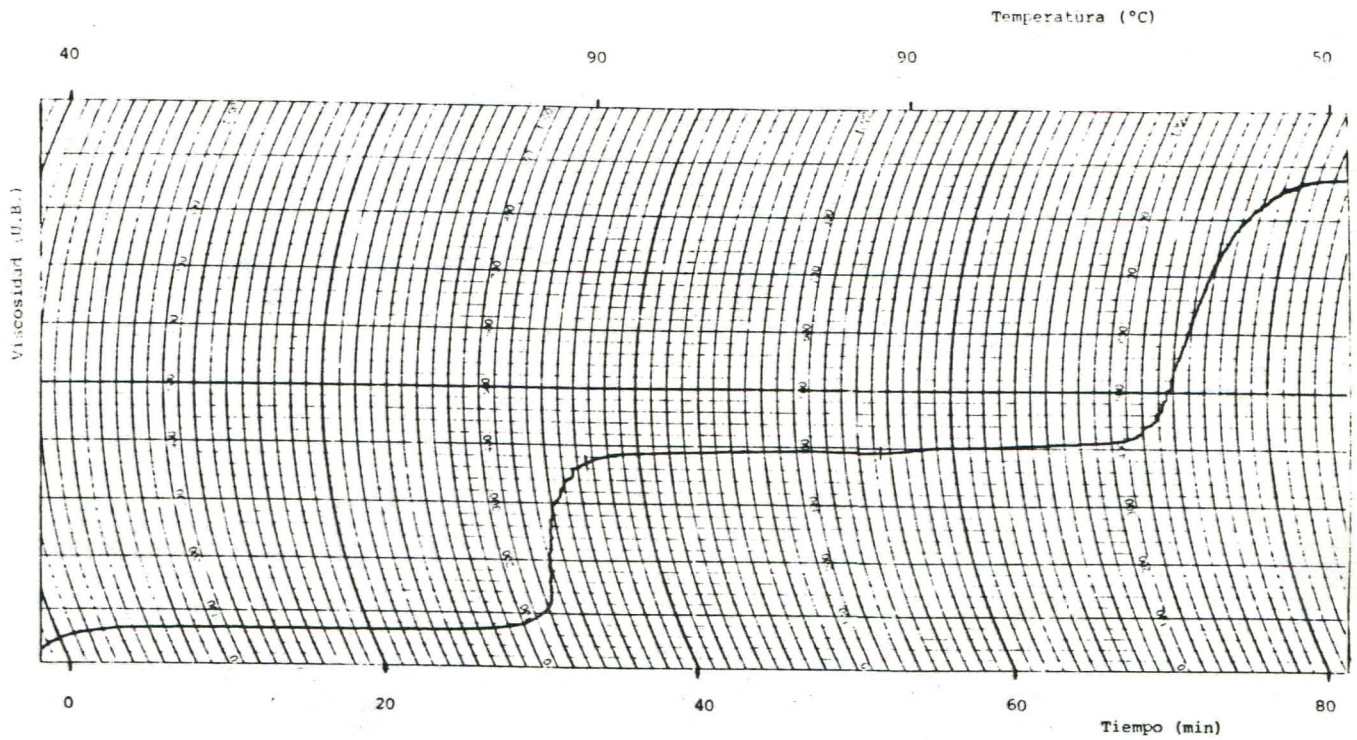
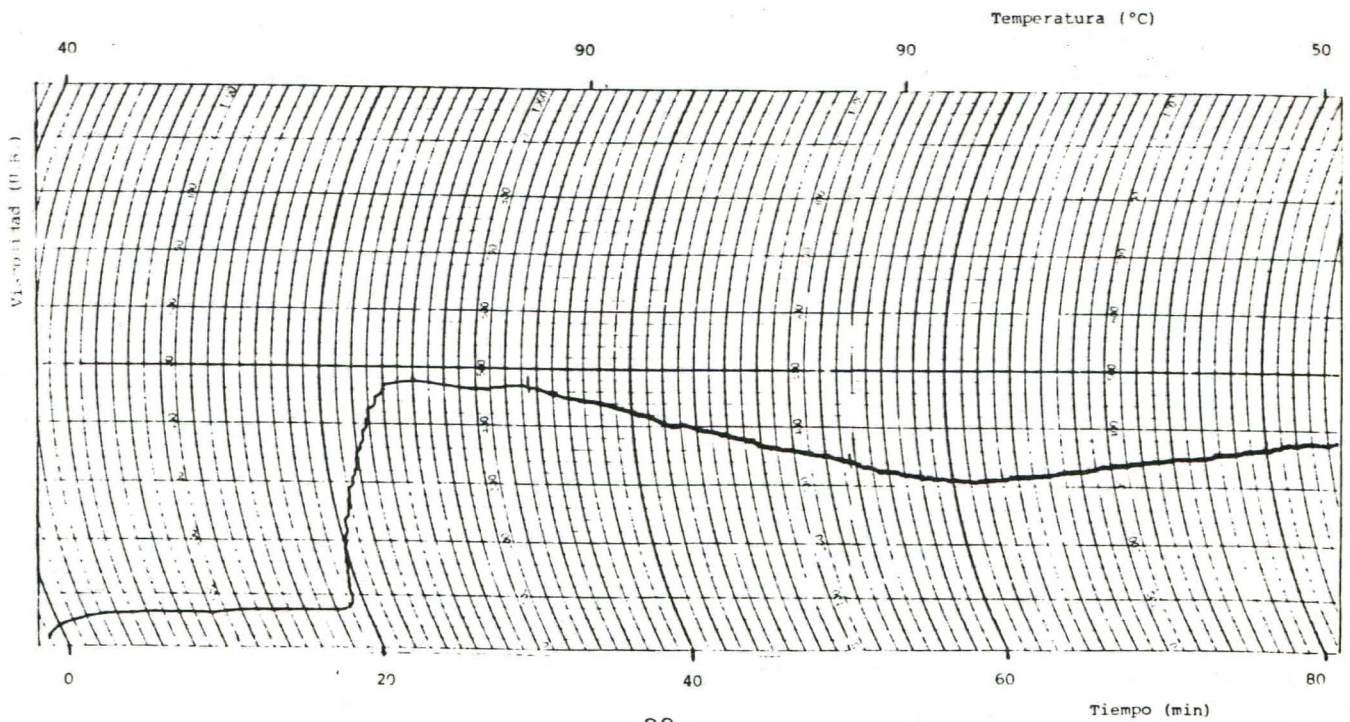


Figura 18

Amilograma del almidón comercial de yuca



APENDICE 3  
CARACTERISTICAS DE GELIFICACION DE LOS  
ALMIDONES OBTENIDOS EN CADA PRUEBA

CARACTERISTICAS DE GELIFICACION DE LOS ALMIDONES DE  
FRIJOL MUNGO OBTENIDOS EN CADA PRUEBA<sup>1</sup>

Muestra		t <sub>0</sub> (min)	T <sub>0</sub> (°C)	t <sub>max</sub> (min)	T <sub>max</sub> (°C)	V <sub>max</sub> U.B.	V <sub>ret<sub>0</sub></sub> U.B.	V <sub>ret<sub>f</sub></sub> U.B.	Ve (U.B.)	F.C. (min)	I.G. (U.B.)	I.S. (U.B.)
Proceso	Repe- tición											
1	1	22.5	73.8	30	85	640	640	720	880	7.5	160	-80
	2	22.5	73.8	32	88	590	590	630	840	9.5	210	-40
	3	22.5	73.8	32	88	590	590	630	880	9.5	250	-40
	4	22.5	73.8	31	86.5	560	560	590	770	8.5	180	-30
2	1	23.0	74.5	31	86.5	610	610	670	930	8.0	260	-60
	2	22.5	73.8	32	88.0	620	620	650	900	9.5	250	-30
	3	22.5	73.8	31	86.5	590	590	630	880	8.5	250	-40
	4	22.5	73.8	32	88.0	600	600	650	880	9.5	230	-50
3	1	22.5	73.8	31	86.5	610	610	640	840	8.5	200	-30
	2	22.5	73.8	32	88.0	600	600	620	830	9.5	210	-20
	3	22.5	73.8	33	89.5	600	600	640	880	10.5	240	-40
	4	23.0	74.5	33	89.5	600	600	600	820	10.0	220	0
4	1	22.5	73.8	31	86.5	640	640	720	880	8.5	160	-80
	2	22.5	73.8	30	85.0	610	600	590	710	7.5	120	-20
	3	23.0	74.5	32	88	630	630	650	810	9.0	160	-20
	4	23.5	75.3	30	85	640	640	600	730	6.5	130	+40

1 : Información extraída de los amilogramas.