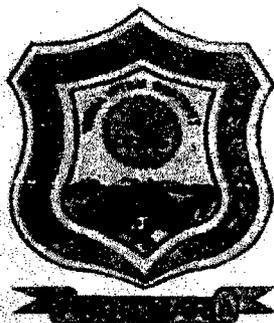


**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**Tingo María**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Departamento Académico de Ciencia , Tecnología e Ingeniería de Alimentos**



**"POLIGALACTURONASA (E.C.3.2.1.15) EN EL TRATAMIENTO DE PULPA DE PLATANO (*Musa sp*), PARA LA OBTENCION DE ZUMO"**

**TESIS**

**Para optar el Título de:**

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**NOEMI LEON ROQUE**

**Tingo María - Perú**

**1999**



47 16  
16/3/00



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
TINGO MARÍA - PERÚ  
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



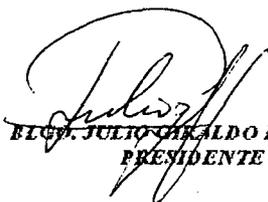
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el viernes 14 de mayo de 1999, a horas 6:00 p.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentada por la Bachiller en Ciencias Industrias Alimentarias: NOEMI LEON ROQUE, con el título:

**"POLIGALACTURONASA (E.C.3.2.1.15), EN EL TRATAMIENTO PARA LA PULPA DEL PLATANO (Musa sp), PARA LA OBTENCION DEL ZUMO"**

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, se declara aprobado con el Calificativo de **MUY BUENO**, en consecuencia la Bachiller **NOEMI LEON ROQUE**, queda apto para recibir el Título de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** del Consejo Universitario, de conformidad con el Art. 22 de la Ley Orgánica de la Universidad Peruana 23733; con los artículos 43° y 45° del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva; con los artículos 95° y 96° del Reglamento General de la UNAS.

Tingo María, 17 de mayo de 1999.

  
EL C. **JULIO GERARDO HUAYTA**  
PRESIDENTE

  
ING. **RAIDA MATOS BUSTAMANTE**  
VOCAL

  
ING. **ALIPIO ORTEGA RODRIGUEZ**  
VOCAL

  
ING. **PEDRO FELA EZ SANCHEA**  
PATROCINADOR

TINGO MARÍA

Av. Universitaria S/n., Apartado postal 156  
Teléf. (064) 561385 - 562341 - 562343  
E-mail: unas@unas.edu.pe  
<http://www.unas.edu.pe>

LIMA

Calle Aldabas 337  
Urb. Las Gardenias - Surco  
Telefax: (014) 48-6440

## DEDICATORIA

A mis queridos padres  
Juan y Antonia

Con mucho amor  
A mi esposo  
Luis Alberto

Con cariño y amor  
A mi hijo  
Juan Luis

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. MSc. Pedro P. Pelaez Sánchez, patrocinador del trabajo de investigación.

Al Ing. Williams Roldán Carbajal, por su valiosos apoyo durante la culminación de dicha carrera.

A los docentes de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María, que de una u otra manera brindaron su apoyo a la realización del presente trabajo.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de dicho trabajo.

## INDICE GENERAL

|  | Pág. |
|--|------|
| I. INTRODUCCION  | 1    |
| II. REVISION BIBLIOGRAFICA                                   | 3    |
| A. ANTECEDENTES SOBRE TRABAJOS REALIZADOS CON<br>PLATANO     | 3    |
| B. ASPECTOS GENERALES DEL PLATANO                            | 5    |
| 1. Origen  | 5    |
| 2. Clasificación taxonómica                                  | 6    |
| 3. Descripción botánica                                      | 6    |
| 4. Tipos   | 7    |
| 5. Características físico químicas y<br>químicas del plátano | 8    |
| 6. Valor nutritivo   | 9    |
| 7. Indices de madurez  | 10   |
| 8. Producción de plátano a nivel nacional                    | 10   |
| C. ENZIMAS   | 10   |
| 1. Definición  | 10   |
| 2. Enzimas pécticas o pectinasas                             | 13   |
| 3. Factores que afectan la actividad<br>enzimática           | 17   |
| 4. Clasificación de las enzimas                              | 24   |
| 5. Cinética enzimática                                       | 26   |
| D. ELABORACION DE ZUMOS                                      | 27   |
| 1. Definición  | 27   |
| 2. Requisitos generales                                      | 28   |
| 3. Operaciones en la elaboración de zumos                    | 28   |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.   | Envases de vidrio  | 31 |
| 5.   | Tipos de tapas   | 32 |
| E.   | EMPLEO DE ENZIMAS EN EL PROCESAMIENTO DE FRUTAS                                  | 32 |
| 1.   | Extracción de jugos  | 33 |
| 2.   | Generalidades sobre la pectina y sustancias<br>pécticas                          | 34 |
| 3.   | Influencia de las pectinas sobre las pulpas<br>y turbidez de los zumos de frutas | 36 |
| F.   | ASPECTOS REOLOGICOS DE PULPAS Y ZUMOS DE FRUTAS                                  | 38 |
| 1.   | Reología   | 38 |
| 2.   | Viscosidad   | 40 |
| 3.   | Tipos de fluidos alimenticios  | 40 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS   | 42 |
| A.   | MATERIA PRIMA E INSUMOS  | 42 |
| 1.   | Materia prima  | 42 |
| 2.   | Enzima poligalacturonasa (E.C. 3.2.1.15)   | 42 |
| B.   | EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS  | 43 |
| 1.   | Equipos de laboratorio   | 43 |
| 2.   | Materiales de laboratorio  | 44 |
| 3.   | Reactivos y soluciones   | 45 |
| 4.   | Envases  | 46 |
| C.   | MÉTODOS DE ANÁLISIS  | 46 |
| 1.   | Indices de madurez y caracterización del<br>plátano seleccionado                 | 46 |
| 2.   | Actividad enzimática de la poligalacturonasa<br>(PG) y obtención del zumo        | 48 |
| 3.   | Viscosidad de la pulpa y del zumo  | 51 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.  | Caracterización del zumo y almacenamiento                                 | 51 |
| D.  | METODOLOGIA EXPERIMENTAL  | 52 |
| 1.  | Selección del tipo de plátano de mayor<br>rendimiento de zumo             | 52 |
| 2.  | Indices de madurez y caracterización del<br>plátano seleccionado          | 53 |
| 3.  | Actividad enzimática de la poligalacturonasa<br>(PG) y obtención del zumo | 53 |
| 4.  | Aspectos reológicos de la pulpa y del zumo                                | 60 |
| 5.  | Caracterización del zumo y almacenamiento                                 | 60 |
| E.  | DISEÑO EXPERIMENTAL   | 61 |
| 1.  | Selección del tipo de plátano   | 61 |
| 2.  | Tratamiento enzimático  | 63 |
| F.  | ANALISIS ESTADÍSTICO  | 63 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIONES  | 66 |
| A.  | SELECCIÓN DEL TIPO DE PLATANO DE MAYOR<br>RENDIMIENTO DE ZUMO             | 66 |
| B.  | INDICES DE MADUREZ Y CARACTERIZACION DEL<br>PLATANO SELECCIONADO          | 70 |
| 1.  | Indices de madurez  | 70 |
| 2.  | Caracterización del plátano   | 74 |
| C.  | ACTIVIDAD ENZIMATICA DE LA POLIGALACTURONASA<br>(PG) Y OBTENCION DEL ZUMO | 81 |
| 1.  | Actividad enzimática  | 81 |
| 2.  | Obtención del zumo  | 84 |
| a.  | Acondicionamiento de la pulpa   | 84 |
| b.  | Tratamiento enzimático de la pulpa  | 86 |

|   |     |
|---|-----|
| c. Diagrama de flujo final, balance de<br>materia y rendimiento | 94  |
| D. ASPECTOS REOLOGICOS DE LA PULPA Y DEL ZUMO                   | 98  |
| E. CARACTERIZACION DEL ZUMO Y ALMACENAMIENTO                    | 101 |
| 1. Análisis físico químico                                      | 101 |
| 2. Análisis sensorial   | 104 |
| 3. Análisis microbiológicos                                     | 106 |
| V. CONCLUSIONES   | 107 |
| VI. RECOMENDACIONES   | 109 |
| VII. RESUMEN  | 110 |
| VIII BIBLIOGRAFIA   | 112 |
| IX. ANEXO   | 121 |

## I. INTRODUCCION

En el Perú, en la zona del alto Huallaga existe una considerable producción de frutos en sus distintas especies y variedades, las cuales pueden servir como materia prima para la obtención de zumo, utilizando enzimas para mejorar el tratamiento tecnológico.

El plátano (*Musa sp*), es una de las plantas tropicales más conocidas internacionalmente; el sabor delicado del fruto maduro le ha permitido imponerse en los mercados internacionales.

El Perú posee zonas con características ecológicas que son apropiadas para la producción de plátano, necesitándose con urgencia nuevas técnicas de aprovechamiento, para promover su industrialización, al estado fresco o procesado.

En nuestro país el aprovechamiento del plátano es sólo parcial, por un lado debido a los hábitos de consumo, la mayor parte es demandada al estado fresco, una pequeña proporción es procesada, perdiéndose el 50% por no contar con la infraestructura necesaria.

Frente a este problema se plantea la necesidad de desarrollar métodos adecuados de procesamiento. El proceso para la obtención de jugos de frutas tropicales, es una alternativa de fácil aplicación, sin embargo, como todos los procesos

tecnológicos está sujeto a ciertas limitaciones, que en definitiva son superables.

Algunos de los problemas que se plantean en el procesamiento de jugo de frutas son la estabilidad del color, la clarificación, debido al exceso de agentes enturbiantes, el incremento de la viscosidad, los bajos rendimientos, ocasionado por la alta concentración de los polisacáridos estructurales de las paredes celulares, los que inducen a realizar una hidrólisis enzimática de la pulpa previo a la extracción del jugo y superar estos inconvenientes.

Por este motivo el presente trabajo tiene como objetivos:

1. Seleccionar y caracterizar química y físico químicamente un tipo de plátano para la obtención de zumo.
2. Determinar el efecto de la enzima Poligalacturonasa sobre la pulpa de plátano seleccionado para obtener zumo, el cual será caracterizado físico químico - microbiológico y sensorialmente durante el almacenamiento.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### A. ANTECEDENTES SOBRE TRABAJOS REALIZADOS CON PLATANO

Estudio del Tratamiento Enzimático y Viscosidad de la Pulpa de Plátano tipo Seda (*Musa acuminata*), en la obtención de jarabe; los resultados indican que la pulpa con 15 á 20 días de maduración comercial, presentó el mayor contenido de sólidos solubles, variando entre 23,37 á 23,89 °Brix. El balance de materia realizado hasta la operación de pulpeado y refinado, determinó un rendimiento de 64,13% para la pulpa sin blanquear y de 48,15% para la pulpa blanqueada, se encontró que la pulpa sin blanquear, la dilución pulpa/agua 1:1 y la mezcla de enzimas MEC (Poligalacturonasa (PG), Pectinesterasa (PE), Pectinliasa (PL) y la enzima comercial BIOFASE L); produjeron los rendimientos más altos de extracción de zumo. Las pulpas sin blanquear y blanqueadas antes del tratamiento enzimático se caracterizaron reológicamente por ser fluidos Power Law, presentando un comportamiento pseudoplástico con pérdida del índice de consistencia ( $m$ ); variando los valores entre 39,6524 Pa.s<sup>n</sup> á 20,368 Pa.s<sup>n</sup> para la pulpa sin blanquear y entre 91,2664 Pa.s<sup>n</sup> á 17,7331 Pa.s<sup>n</sup> para la pulpa blanqueada. El rendimiento de zumo a las dos horas de tratamiento enzimático (MEC:0,04%(v/p))

de pulpa sin diluir y después del prensado fue de 84,40% obteniéndose finalmente un rendimiento de jarabe de 26,20% (Peláez, 1998).

Conservación de la pulpa de plátano var. Guayabo (*Musa balbisiano*) y var. seda (*Musa acuminata*), por conservadores químicos; Con la finalidad de dar una alternativa a la utilización del plátano (var. guayabo y var. seda) como pulpa, la cual puede ser empleado en diferentes líneas de producción (néctares, mermeladas, jugos, etc.). La primera parte del estudio presenta información técnica sobre el plátano, uso de aditivos químicos, acción de microorganismos y envases de alimentos. La parte metodológica divide el estudio en dos etapas:

- Caracterización de la materia prima,
- Optimización de los parámetros tecnológicos.

(Vidal, 1994).

Estudio de la producción de jugo clarificado de plátano usando enzimas pectolíticas; con la utilización de dos enzimas comerciales (Ultrazym 100 especial y Claryfine super), en la hidrólisis de pulpa de plátano, obtuvieron rendimientos de 55 a 60% (basado en peso de la pulpa usado), incubando a 45°C/1 h. con 0,01% v/p de enzima,

seguido de una centrifugación a 4000 rpm por 20 min. (Viquez, 1981).

## B. ASPECTOS GENERALES DEL PLATANO

### 1. ORIGEN

El origen del cultivo del plátano al igual que otras especies se conoce poco, al respecto su centro origen probablemente haya sido la Península Malaya, tanto de *Musa balbisiana* C. como de *Musa acuminata* C. cuyos cruzamientos dieron origen a todas las variedades comestibles conocidas en América (Belalcazar, 1991).

El plátano es un frutal nativo del sudeste asiático, probablemente originado entre la India y Península de Malaya. Las primeras referencias históricas de este frutal data de 500 a 600 años A.C., época en que se menciona su presencia en la India.

Los primeros clones de plátano identificados en América fueron el seda y el frances como las especies *Musa paradisiaca* C. y *Musa sapientum* C. (Cesare, 1974).

Los cultivos en actual explotación en el país se han originado de *Musa acuminata* C. y mediante la formulación de híbridos con *Musa balbisiana* C.

## 2. CLASIFICACION TAXONOMICA

|           |   |                  |
|-----------|---|------------------|
| Reino     | : | Vegetal          |
| Sub reino | : | Embriophyta      |
| División  | : | Spermatophyta    |
| Clase     | : | Monocotyledoneas |
| Sub clase | : | Angiospermas     |
| Orden     | : | Scitamineas      |
| Familia   | : | Musáceas         |
| Género    | : | Musa             |
| Especie   | : | <i>Musa sp</i>   |

## 3. DESCRIPCION BOTANICA

El plátano al igual que muchas especies cultivadas es introducido al país desde tiempos de la colonia.

Una planta, árbol, mata, tronco o tallo, está formado por una parte, subterráneos que constituye en tallo denominado zigoma y la parte aérea pseudotallo, formado por las vainas de las hojas grandemente desarrollados. Las hojas están constituidos por: apéndice, lámina, peciolo o vaina. La lámina puede alcanzar 4 mts.de largo y la vaina 5 mts. Las flores se agrupan en inflorecencias que poseen giomeros cubiertos por brácteas de los cuales los 3/4 primeros son caedizos.

Los frutos desarrollan sin que se realice la fertilización esto solo para los clones híbridos, la forma y color del fruto varía a la madurez, según la variedad. Al centro se nota los óvulos ennegrecidos debido a que han abortado o no han sido fecundados (Ministerio de Alimentación, 1976).

#### 4. TIPOS

Los bananos comestibles se han originado de dos especies triploides y de las hibridaciones, los cuales son:

- Musa acuminata AAA
- Musa balbisiana BBB,

En base a estas características los plátanos comestibles se agrupan de la siguiente manera:

Grupo 1: De mesa; conocido como banano, triploide AAA, presenta los siguientes tipos: seda, cavendish y lacatan.

Grupo 2: De cocina; conocido como plátanos triploides AAB, presentan los siguientes tipos: Inguiri, bellaco, guayabo y manzano.

Grupo 3: De mesa y cocina; conocidos como plátanos triploides ABB, no son muy difundidos en el mundo y

presenta al tipo isla (Simonds, 1973; citado por Soto, 1992).

##### 5. CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS Y QUIMICAS DEL PLATANO

El plátano que es un frutal climatérico, presenta dos periodos en su desarrollo. El primer periodo es de reserva del almidón en el curso del cual la fruta, presenta un contenido bajo en azúcar soluble, fija sus reservas de almidón a expensas de los azúcares reductores. El siguiente periodo es de maduración, y aquí los azúcares solubles son formado a partir del almidón, primero es transformado en sacarosa, siendo finalmente hidrolizado a azúcar invertido (Brekke, 1969).

Charles, et al. (1973), citado por Monteiro (1993); observaron en una maduración controlada de plátanos, que el contenido de almidón de 20-23% de la fruta verde, decreció hasta 1-2%, en la fruta madura; al mismo tiempo que los azúcares solubles aumentaban desde cantidades menores a 1%, a casi 20%. Estos azúcares en cada estado de maduración obedecen a la siguiente relación: sacarosa 65%, glucosa 20% y fructosa 15%.

En el cuadro 1, se muestra la composición físico química del plátano.

Cuadro 1: Composición por 100 gr. de porción comestible  
de plátano

| COMPONENTES                   | TIPOS DE PLATANO |      |        |         | GRADO DE MADUREZ |        |
|-------------------------------|------------------|------|--------|---------|------------------|--------|
|                               | Isla             | Seda | Guineo | Manzano | Verde            | Maduro |
| Energía (cal)                 | 91,0             | 83,0 | 120,0  | 90,0    | 152,0            | 112,0  |
| Agua (g)                      | 74,0             | 76,2 | 65,9   | 74,3    | 57,0             | 68,1   |
| Proteína (g)                  | 0,9              | 1,5  | 1,4    | 1,1     | 1,0              | 1,2    |
| Grasa (g)                     | 0,4              | 0,3  | 0,2    | 0,2     | 0,2              | 0,2    |
| Carbohidrato (g)              | 23,6             | 21,0 | 31,7   | 23,4    | 40,9             | 9,6    |
| Fibra (g)                     | 0,5              | 0,4  | 0,4    | 0,3     | 0,8              | 0,3    |
| Ceniza (g)                    | 1,1              | 1,0  | 0,8    | 1,0     | 0,9              | 0,9    |
| Calcio (mg)                   | 8,0              | 5,0  | 10,0   | 6,0     | 8,0              | 0      |
| Fósforo (mg)                  | 20,0             | 27,0 | 23,0   | 47,0    | 43,0             | 37,0   |
| Hierro (mg)                   | 0,6              | 0,6  | 0,6    | 0,8     | 0,5              | 0,4    |
| Retinol (mg)                  | 131,0            | 21,0 | ---    | 6,0     | 130,0            | 82,0   |
| Tiamina (mg)                  | 0,07             | 0,03 | 0,02   | 0,04    | 0,09             | 0,06   |
| Rivoflavina (mg)              | 0,07             | 0,05 | 0,08   | 0,16    | 0,14             | 0,06   |
| Niacina (mg)                  | 0,47             | 0,79 | 0,53   | 0,60    | 0,62             | 0,50   |
| A. Ascórbico<br>reducido (mg) | 4,2              | 4,3  | 1,1    | 7,3     | 10,4             | 5,6    |

Fuente adoptado : Collazos, 1993

## 6. VALOR NUTRITIVO

Se conoce que los "bananos" maduros son esencialmente alimentos azucarados y fáciles de digerir.

La pequeña cantidad de almidón que posee la fruta madura, presenta aproximadamente, un 54 a un 80% de digestibilidad, por lo cual resulta una fruta muy fácil de asimilar (Simonds, 1973; citado por Soto, 1992).

## 7. INDICES DE MADUREZ

El índice de madurez puede ser determinado en muchas formas, incluyendo la estimación de la duración de desarrollo; mediciones de tamaño, peso, o densidad; atributos físicos, tales como color, firmeza y humedad o contenido de sólidos; atributos químicos, como almidón azúcares o contenido de ácidos; evaluación morfológica. Dependiendo de que estos índices puedan ayudar durante el almacenamiento y manipuleo (Shewfelt, 1993).

Según la fisiología postcosecha, los productos "maduros" son aquellos que han terminado su crecimiento y desarrollo natural y, para el caso de las frutas, cuando han alcanzado el estado que asegura la terminación adecuada del proceso de maduración fisiológica.

## 8. PRODUCCION DE PLATANO A NIVEL NACIONAL

En el cuadro 2, se muestra la producción nacional de plátanos según región; apreciándose que las mayores producciones en el año 1998 correspondieron a las regiones Ucayali y Loreto con 366,270 y 318,847 T.M.

## C. ENZIMAS

### 1. DEFINICION

Las enzimas son biocatalizadores complejos de gran especificidad y eficiencia, producidas por células de

Cuadro 2: Producción anual de plátano, según región, período 1988 - 1998 (T.M.).

| REGION                | 1988    | 1989    | 1990    | 1991    | 1992    | 1993    | 1994    | 1995      | 1996      | 1997      | 1998      |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| TOTAL NACIONAL        | 825,801 | 846,276 | 705,251 | 809,229 | 692,439 | 710,157 | 845,403 | 1,065,988 | 1,347,959 | 1,342,479 | 1,322,703 |
| 1. Grau               | 225,120 | 209,084 | 236,895 | 326,305 | 143,930 | 161,698 | 259,613 | 256,256   | 296,978   | 297,178   | 62,378    |
| 2. Nor Oriental       | 127,320 | 128,694 | 84,438  | 68,742  | 53,299  | 49,915  | 56,836  | 62,438    | 79,128    | 74,391    | 75,292    |
| 3. La Libertad        | 2,960   | 3,040   | 1,611   | 1,700   | 15,510  | 1,601   | 3,853   | 5,460     | 5,665     | 7,873     | 10,583    |
| 4. Chavín             | 542     | 455     | 441     | 400     | 400     | 501     | 615     | 389       | 1,766     | 2,004     | 972       |
| 5. Lima               | 8,693   | 8,573   | 6,688   | 7,181   | 9,295   | 6,699   | 11,240  | 10,302    | 10,514    | 10,070    | 7,232     |
| 6. Libertadores Wari  | 4,376   | 5,523   | 4,124   | 5,756   | 2,981   | 58,875  | 4,369   | 6,113     | 7,297     | 7,443     | 10,580    |
| 7. Arequipa           | 199     | 218     | 236     | 250     | 190     | 137     | 273     | 511       | 184       | 235       | 214       |
| 8. José C. Mariategui | 10,356  | 11,045  | 9,336   | 11,767  | 9,487   | 8,712   | 8,331   | 10,378    | 9,118     | 6,882     | 8,153     |
| 9. Inca               | 22,889  | 21,289  | 15,525  | 31,940  | 24,639  | 23,451  | 14,363  | 29,792    | 23,733    | 22,294    | 25,983    |
| 10. Ucayali           | 34,860  | 38,390  | 38,000  | 37,380  | 88,467  | 110,951 | 105,427 | 137,883   | 251,969   | 190,185   | 366,270   |
| 11. Andrés A. Cáceres | 120,168 | 162,705 | 125,315 | 132,520 | 171,516 | 190,475 | 223,994 | 308,624   | 318,035   | 359,708   | 316,741   |
| 12. San Martín        | 155,998 | 142,240 | 66,092  | 66,861  | 64,745  | 62,695  | 52,159  | 75,095    | 91,629    | 92,260    | 119,682   |
| 13. Loreto            | 112,320 | 115,020 | 116,550 | 118,427 | 121,980 | 87,447  | 104,330 | 162,750   | 251,943   | 271,956   | 318,847   |

Fuente: Ministerio de Agricultura, Oficina de información Agraria (1998).

organismos vivos, que aumentan la velocidad de las reacciones biológicas a través de vías bien definidas y cuya actividad está sujeta a regulación. Intervienen en todas las reacciones biológicas energéticamente posibles y permiten alcanzar rápidamente el estado de equilibrio de la reacción sin modificarlo (Schmidt-Hebbel, 1982; Scragg, 1996).

La enzima como una proteína activa transforma específicamente una sustancia natural o una familia de sustancias, son una manifestación de la vida; todas las células vivas producen miles de enzimas (Gist-Brocades, 1991).

Las enzimas son un sistema protéico capaces de catalizar reacciones bioquímicas específicas.

La sustancia que sufre la transformación en presencia de la enzima se conoce como el sustrato de dicha enzima, muchas enzimas son proteínas conjugadas. La parte no protéica, denominada "grupo prostético" se encuentra a menudo débilmente unida a la proteína y puede separarse por diálisis. En estos casos la parte protéica se denomina "apoenzima" y el grupo prostético "coenzima" o "cofactor" el sistema apoenzima-coenzima se conoce como "holoenzima".

Por oposición a los productos químicos, una enzima actúa a pequeña dosis y en condiciones sumamente suaves (Adrián, 1990; Bráverman, 1980).

## 2. ENZIMAS PECTICAS O PECTINASAS

Las pectinasas son un complejo de enzimas que hidrolizan las sustancias pécticas, que se clasifican de acuerdo con el sustrato (pectina o ácido péctico), del tipo de reacción (hidrólisis o transeliminación) y del mecanismo (endo o exo), Figural.

Las enzimas comerciales provienen generalmente de Aspergillus niger, dado que la variedad de microorganismos que producen enzimas pécticas, es el que mayor número de éstas produce (García, G.; Quintero R.; Murguía C. ,1993).

El término pectinas o enzimas pectolíticas conciernen solo a las enzimas que degradan la parte galacturónica de estas sustancias.

En consecuencia, las enzimas que degradan los enlaces  $\alpha(1-4)$  entre los residuos de ácido galacturónico y las

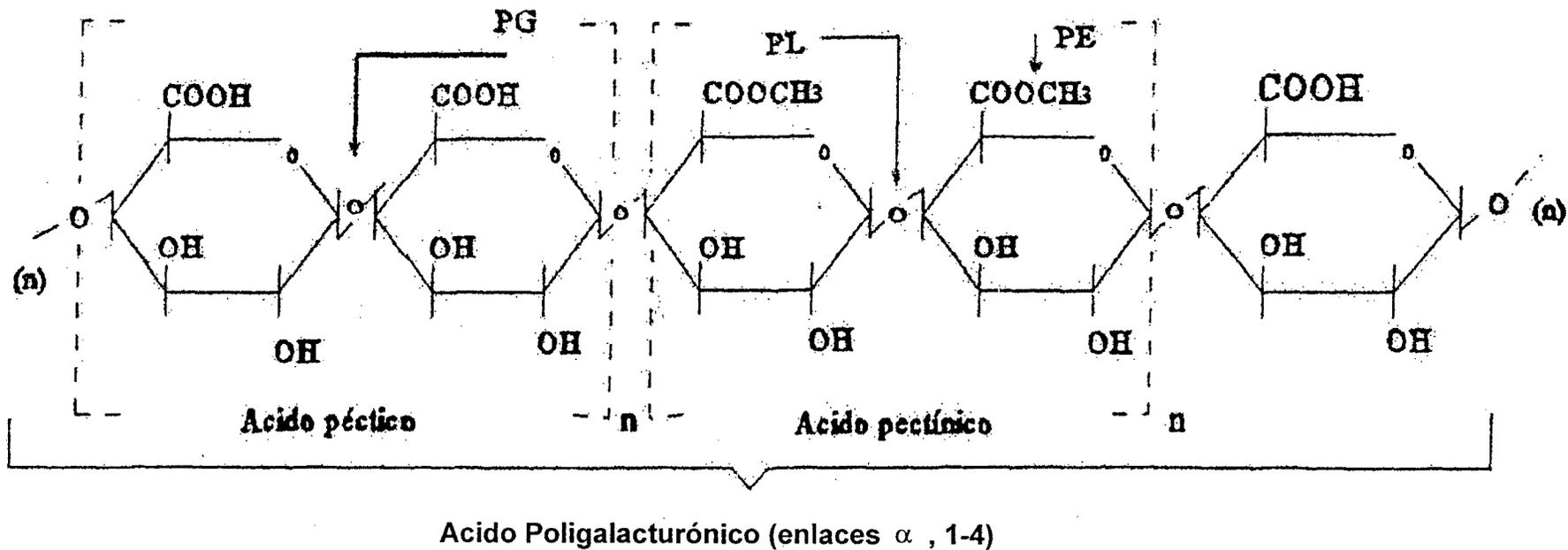


Figura 1: Estructura química del ácido poligalacturónico con localización del sitio de acción enzimática de la poligalacturonasa (PG), de la pectinesterasa (PE) y de la pectinliasa (PL)

Fuente: Chitarra (1990); Fennema (1993)

enzimas desesterificadas de estos ácidos constituyen el grupo de pectinasas (Schmidt-Hebbel, 1982; Badui, 1984).

**a. Poligalacturonasas (PG) (E.C. 3.2.1.15)**

Las poligalacturonasas son producidas por diversos microorganismos como bacterias, mohos y levaduras. Su acción sobre el ácido péctico provoca la aparición en cantidad creciente de grupos reductores y de otra parte una disminución progresiva de la viscosidad. La determinación del aumento del poder reductor y la medida de la disminución de la viscosidad son dos métodos utilizados para determinar la actividad poligalacturonasa (Bráverman, 1980; Badui, 1984 ; Fennema, 1993).

Esta enzima rompe los enlaces  $\alpha$  1- 4 de las cadenas no esterificadas de las pectinas y las transforman en oligogalacturonidos o ácido galacturónico monómero, reduciendo considerablemente su viscosidad (Adrián, 1990).

Hidroliza los enlaces glucosídicos próximos a los grupos carboxilos libres, en consecuencia pectinas de alto grado de metilación (HM) son difícilmente atacados, mientras que pectinas de bajo grado de metilación (LM) son fácilmente atacados, siendo el pectato el mejor sustrato.

Esta enzima además de catalizar la hidrólisis de la unidad glucosídica entre las unidades de ácido galacturónico, también pueden atacar al de las pectinas, su pH óptimo está entre 4,0 y 5,5.

Estas enzimas "licuantes" atacan las moléculas al azar, rompiéndolas en cadenas más cortas y si la hidrólisis se produce en el interior de la molécula, estas reciben el nombre de "endo-PG" (E.C.3.2.1.15) o si la molécula se va acortando desde un extremo, es por las "exo-PG" o enzimas "PG sacarificantes". Las endo-PG tienen la capacidad de reducir rápidamente la viscosidad de una solución de pectina. Todas ellas son activas en presencia de ClNa y algunas también además por los iones  $Ca^{2+}$  (Pilnik, 1978; Bráverman, 1980; Belitz, 1988).

**b. Pectina esterasa (PE) (EC. 3.1.1.11)**

Llamada también pectasa, pectinmetoxilasa, pectinmetilesterasa. La pectin esterasa desmetoxila las cadenas pécticas a ácidos pécticos, esta enzima es una esterasa específica que solo hidrolisa los grupos carboxilo esterificados de la pectina, esta enzima está ampliamente distribuido en las plantas y lo producen los hongos (Aspergillus niger, Fusarium oxysporum), levaduras, bacterias y algunos vegetales,

como tomates, cebollas y frutas cítricas (Adrián, 1990; Belitz, 1988 y Róbinson, 1991).

**c. Pectin liasa (PL) (EC. 4.2.2.10)**

La ruptura de los enlaces glicosídicos  $\alpha$  1-4 de los residuos de metilgalacturonato está catalizada por las endopectin liasas. El modo de acción de esta enzima implica la transeleminación de un protón del átomo de carbono 5 de un residuo urónico y la ruptura simultánea del enlace glicosílico adyacente. La enzima se encuentra en plantas superiores y en los microorganismos y es capaz de emplear como sustrato a pectinas menos metoxiladas (Róbinson, 1991).

**3. FACTORES QUE AFECTAN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA**

Hay numerosos factores que afectan la actividad enzimática, estos tienen que ver con el uso de las enzimas. Entre los más importantes tenemos:

**a. Efecto de la temperatura**

Muchas reacciones químicas transcurren a una velocidad mayor si la temperatura aumenta, un aumento en la temperatura comunica más energía cinética a las moléculas del reactivo, dando más colisiones eficaces por unidad de tiempo, las reacciones catalizadas

enzimáticamente se comporta análogamente hasta cierto tiempo (Segel, 1982).

A medida que aumenta la temperatura, ocurren dos reacciones simultáneas:

- La velocidad de reacción aumenta como sucede en la mayoría de las reacciones químicas.
- La estabilidad de las enzimas disminuye por inactivación térmica (Quintero, 1987).

Las enzimas son moléculas proteicas complejas, su actividad catalítica se debe a una estructura terciaria altamente ordenada y exacta que yuxtapone a los grupos R- de aminoácidos específicos. La estructura terciaria de una enzima se conserva en primer lugar por un gran número de enlaces débiles no covalentes, es decir una molécula de enzima es una estructura frágil y muy delicada. Si la molécula absorbe demasiada energía, la estructura terciaria se rompe y la enzima se desnaturaliza, perdiendo actividad catalítica (Segel, 1982).

Al principio de la desnaturalización los enlaces hidrófobos, iónicos y electrostáticos se debilitan y ante un aumento en la energía cinética permite en conjunto la rotación de las uniones, lo que cambia la posición normal de los grupos radicales importantes.

La temperatura óptima para la mayoría de las reacciones enzimáticas con pocas excepciones está entre 30 y 40°C, donde la actividad es máxima, en casi todas las enzimas la velocidad de reacción se duplica o triplica cuando la temperatura se incrementa en 10°C, pero cuando las temperaturas son superiores a 50°C la mayoría de las enzimas, pero no todas, se desnaturalizan y unas pocas muestran desnaturalización cuando se enfrían aproximadamente a 5°C (Quintero, 1987; Schmidt-Hebbel, 1982).

**b. Efecto del pH y el estado iónico**

El efecto del pH en la actividad enzimática establece el requerimiento de que grupos críticos del centro activo, deben estar en el estado de ionización correcta para que la reacción transcurra (Gacesa, 1991).

Todas las enzimas son sensibles a las variaciones de la concentración de H<sup>+</sup> para la cual la actividad enzimática es máxima (Scriban, 1988).

Los sitios activos de las enzimas se componen a menudo de grupos ionizables que deben encontrarse en la forma iónica adecuada, con el fin de mantener la conformación del sitio activo, unir los sustratos o catalizar la reacción, además uno o más de los

sustratos pueden contener grupos ionizables y solamente una forma iónica del sustrato puede unir al enzima o experimentar la catálisis.

El factor que más influye es la titulación de los grupos ionizables que mantienen la carga en la superficie, actúan en el sitio activo o estabilizan la enzima; cualquier modificación debido al pH altera estas condiciones, es decir existe un pH óptimo para la enzima (Segel, 1982; Quintero, 1987).

Las ionizaciones del sustrato o del producto deben considerarse ya que afectan la velocidad de reacción (Scriban, 1988).

### c. Efecto de la humedad

Las enzimas son proteínas globulares solubles en agua y las reacciones enzimáticas se efectúan en su mayor parte en medio acuoso. Los alimentos que son protegidos del desarrollo microbiano por aplicación de diferentes tratamientos de deshidratación, sufren degradaciones enzimáticas a pesar de su bajo contenido de agua que conducen a la aparición de olor y sabor desagradable.

En estos casos el disolvente de la enzima que habitualmente es el agua, es secundario y no es indispensable. Pero siempre el agua interviene en

todas las reacciones de hidrólisis como segundo sustrato, en este caso el factor a considerar no es en realidad el tenor en agua, sino la actividad del agua en el medio (Scriban, 1988).

**d. Efecto de las radiaciones**

Las radiaciones del tipo electromagnético, o corpuscular pueden tener una acción desnaturalizante sobre las enzimas, esto es provocado por la ruptura de enlaces; desaminación y descarboxilación de los residuos de ácidos aminados o la ruptura de enlaces peptídicos, o sea directamente modificando las características físicas del medio (Scriban, 1988).

La inactivación por luz ultravioleta se debe a la fotólisis de grupos disulfuro y aromático de los aminoácidos que constituyen las proteínas.

Estos efectos sobre las enzimas son de escaso rendimiento, por lo que la luz ultravioleta no es de aplicación práctica, desde este punto de vista, en la tecnología alimentaria (Schmidt-Hebbel, 1982).

**e. Sitio activo y especificidad enzimática**

Cuando una enzima reacciona con su sustrato, sólo ciertas regiones de la molécula de proteína, conocidas como "sitios activos", participan en el proceso, los sitios activos consisten en grupos

especiales de residuos de aminoácidos, cercanos entre sí debido a la secuencia y al plegamiento particular de la proteína enzimática, la existencia de un complejo enzima-sustrato se dedujo a partir de:

- El alto grado de especificidad que presentan los enzimas.
- La forma de la curva de velocidad frente a concentración de sustrato.
- El hecho de que frecuentemente los sustratos protegen a las enzimas de la inactivación.

El alto grado de especificidad explica que el enzima posee esta región llamada sitio activo, que es complementaria en tamaño, forma y naturaleza química de la molécula del sustrato. El sitio activo de una enzima ocupa sólo una porción muy pequeña de la molécula, de hecho puede haber solamente una docena, más o menos, de residuos de aminoácidos rodeando la cavidad de absorción y, de estos, dos o tres pueden realmente participar en la unión con el sustrato y/o en la catálisis (Bráverman, 1980; Segel, 1982).

Dos características estructurales determinar la especificidad de una enzima por su sustrato:

- El sustrato debe poseer el enlace químico específico o unión, que debe ser atacado por la enzima.
- El sustrato debe poseer habitualmente algún otro grupo funcional, un grupo de unión, que se une a la enzima y ubica en posición a la molécula de sustrato de modo que el enlace susceptible se disponga apropiadamente en relación al sitio activo de la enzima (Schmidt-Hebbel, 1982).

**f. Efecto del tiempo**

Cuando se efectúa una reacción enzimática, se observa un aumento en la concentración del producto y una disminución en la concentración del sustrato hasta que la reacción termina o alcanza su punto de equilibrio. El cambio observado en la concentración inicial respecto al tiempo se denomina velocidad inicial de reacción y en general se expresa en Unidades Internacionales o en moles de producto por minuto (Quintero, 1987).

**g. Efecto de la concentración del sustrato**

En una reacción enzimática se pueden distinguir tres etapas, en la primera una enzima(E) se mezcla con un sustrato(S) y la reacción entre ellos produce el complejo enzima-sustrato(ES); esta interacción es tan

rápida que resulta difícil estudiarla sin equipos. El producto(P) aumenta simultaneamente con el aumento de ES hasta este régimen estacionario, momento en que la velocidad de deformación del producto es constante. Esta velocidad constante de deformación se denomina velocidad inicial de reacción (Quintero, 1987).

#### **h. Efecto de la concentración de la enzima**

No solo es necesario conocer si una enzima dada está presente, sino también en que cantidad. Bajo condiciones apropiadas, la velocidad de una reacción catalizada por una enzima será directamente proporcional a la cantidad de enzima presente, pero no es proporcional la velocidad a la concentración de la enzima (Mayes, 1988).

#### **4. CLASIFICACION DE LAS ENZIMAS**

La comisión IUPAC-IUB en Biochemical Nomenclature-Revised Enzyme Nomenclature 1984, nombra y clasifica a las enzimas en seis epígrafes, de acuerdo al tipo de reacción química y a su mecanismo de acción; se clasifican en:

##### **a. Oxidorreductasas**

Son enzimas que catalisan reacciones de óxido-reducción por transferencia de hidrógeno o por la

incorporación de oxígeno al sustrato, como reductasas, oxidasas, oxigenasas, catalasas y otros.

**b. Transferasas**

Transfieren grupos químicos como metilo, glicosilo y amino, como aminotransferasas (transaminasa).

**c. hidrolasas**

Catalizan reacciones hidrolíticas, por ejemplo la hidrólisis de glicósidos y ésteres de fosfato, implican la ruptura de enlaces químicos tales como C=O, C-N, C-C, ejemplo las lipasas, maltasas, pectina esterasa, ureasa y otros.

**d. Liasas**

Catalizan la ruptura de los enlaces carbono-carbono, carbono-oxígeno y carbono-nitrógeno por reacción distinta a las de hidrólisis. Ejemplo la reacción de eliminación de la pectín liasa.

**e. Isomerasas**

Catalizan transposiciones intermoleculares, ejemplo la isomerización y la mutarrotación, como la epimerasas, racemasas y otros.

**f. Ligasas**

Catalizan las reacciones de síntesis bimoleculares que requieren ATP como fuente de energía, están

acopladas a la hidrólisis del enlace de pirofosfato o de un trifosfato semejante.

Cada enzima tiene una clave (E.C.) y viene representada por un número de cuatro dígitos que indica sus principales propiedades como catalizador, nombre de enzima, A,B,C y D..

A. Indica la clase de enzima.

B. Indica la naturaleza del sustrato general del grupo implicado.

C. Indica el coenzima o sustrato específico.

D. Indica el número de serie de la enzima (Róbinson, 1991).

## 5. CINETICA ENZIMATICA

El objetivo de la cinética enzimática es el estudio de las enzimas en su funcionamiento. Se propone en particular, establecer las reacciones que existen entre la velocidad de la reacción enzimática y las concentraciones del sustrato(S) y de la enzima(E), así como la influencia de algunos factores:pH, temperatura, presencia de efectores y eventualmente actividad de agua (Scriban, 1985).

A una concentración de enzima constante[E], la velocidad de la reacción catalizada por la enzima se incrementa

conforme aumenta la concentración de sustrato[S], hasta llegar a una velocidad máxima (V. máx). Esto es debido a la saturación del sitio activo de la enzima con la formación de un complejo enzima-sustrato(ES), la cual es una etapa esencial en la formación del producto(P) (Atkinson, 1985).

#### a. Actividad enzimática

Un gran problema para los enzimólogos es cuantificar la actividad o concentración de una enzima, la única manera para detectar la actividad enzimática es evaluando lo que hace sobre su sustrato específico. Por tanto la única forma de medición de la actividad o cantidad de una enzima, es por determinaciones en los cambios en su sustrato bajo condiciones controladas (Furia, 1972).

### D. ELABORACION DE ZUMOS

#### 1. DEFINICION

El zumo de fruta es el líquido obtenido de la expresión de las frutas, no diluido, no concentrado, no fermentado y sometido a un tratamiento adecuado para asegurar su conservación en envases herméticos (Indecopi, 1976).

## 2. REQUISITOS GENERALES

El jugo deberá ser extraído, en condiciones sanitarias, de frutas maduras, frescas, sanas, limpias, cuidadosamente lavadas y libres de restos de insecticidas, fungicidas y otras sustancias eventualmente nocivas. Podrá llevar en suspensión pulpa del fruto finamente dividida. Deberá estar exento de trozos de corteza, semilla y fragmentos gruesos y duros. No se permitirá la adición de sustancias que modifiquen la naturaleza del jugo, salvo, lo estrictamente necesario de azúcar refinado o ácido cítrico para ajustar la relación de sólidos solubles y acidez titulable, cuando así lo autorice la norma correspondiente; ácido ascórbico como antioxidante y vitaminas como enriquecimiento. Se fijará en cada caso la acidez titulable máxima, no se permitirá la adición de colorantes artificiales. (Indecopi, 1976).

## 3. OPERACIONES EN LA ELABORACION DE ZUMOS

En el procesamiento de zumo se debe seguir las siguientes operaciones :

### Tratamientos preliminares

Preparación de la fruta, en primer lugar las frutas son sometidos a selección, lavado, calibrado, inspección,

acondicionamiento, según modalidades y aparatos adaptados a cada caso.

#### **Extracción de zumos**

Los zumos de frutas se extraen por diversos métodos, según la estructura de la fruta, su composición química y los caracteres que se deseen conseguir para la bebida, como por ejemplo: transparencia, viscosidad, astringencia mas o menos grande. Es común utilizar en esta operación la trituration y el tamizado.

El triturado de la fruta puede ser llevado a cabo en forma mecánica en molinos especiales para frutas. El rendimiento en zumos de las frutas puede ser incrementado por tratamiento con enzimas pectinolíticas (maceración digestiva, especialmente indicados en bayas y drupas) (Belitz, 1988; Cheftel, 1980).

La licuefacción del tejido de las frutas con enzimas pectinolíticas y celulolíticas, ofrecen nuevas perspectivas; las cuales son particularmente indicados para las frutas blandas y/o tropicales, y en las que, siguiendo el esquema preparación, lavado, triturado, licuefacción, filtración, pasteurización, llenado sin adición de agua, se llega directamente a la obtención de zumos listos para su consumo.

**Clarificación**

Se emplea para la preparación de zumos claros, facilitando la separación de partículas responsables de la turbidez, también asegura la estabilización tratando de evitar la aparición de nuevas turbideces.

**Filtración**

Se emplea con la finalidad de conseguir total brillantes; exclusivamente para la terminación de los zumos para ello se debe adoptar una asepsia rigurosa y un filtrado a través de materiales porosos (asbestos, celulosa, tierra de diatomeas) o por centrifugación.

**Desaireación**

Se realiza haciendo pasar el zumo en un recipiente bajo vacío para eliminar el gas disuelto; naturalmente conviene recordar que no tiene interés desairear zumos de frutas si al mismo tiempo no se toman medidas para evitar la reincorporación del aire. Así mismo, no deben desairearse zumos que pueden perder su aroma natural.

**Pasteurización**

El método más utilizado para conservación de zumos es el tratamiento térmico, cuyo pH es inferior a cuatro, este efecto es fácil de alcanzar, sólo se necesita eliminar a las levaduras, mohos y algunas bacterias lácticas y acéticas. El tratamiento térmico manteniendo a una

temperatura escogida durante un tiempo determinado conduce a la muerte de los microorganismos e inactivación de las enzimas que puedan alterar el producto y hacerlo inapropiada para el consumo humano. En el caso de zumos de frutas, cuyo pH es normalmente inferior de 4,0, este efecto es fácil de alcanzar (Belitz, 1988).

#### **Llenado en caliente y Autopasteurización**

Consiste en someter al zumo de fruta a una pasteurización relámpago y enfriarlo inmediatamente hasta 82°C a 85°C, para introducirlo a los envases (previamente calentados si son de vidrio) a esta temperatura (Cheftel, 1980; Belitz, 1988).

#### **4. ENVASES DE VIDRIO**

El vidrio es un silicato complejo compuesto esencialmente de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ); el vidrio a pesar de su consistencia, no es una sustancia sólida, sino un líquido de viscosidad muy elevada, su fluidez varía con la temperatura sin discontinuidad y no se observa ni punto de fusión, ni punto de solidificación (estado vitrio).

Desde el punto de vista químico, el vidrio es inerte a la temperatura ordinaria frente a los productos alimenticios acuosos o lipídicos y a los diversos ácidos orgánicos que pueden existir en forma natural en los alimentos.

Otra propiedad del vidrio llamado "blanco", es la transparencia, ventaja muy considerable para la presentación de algunos productos (Cheftel, 1980).

## 5. TIPOS DE TAPAS

Existen innumerables tipos de cápsulas y tapas, cada uno adaptado a determinado sistema de apertura o boca. Fundamentalmente las primeras materias que se utilizaron fue la hojalata, chapa negra, aluminio y diversos "materias plásticas", presentados bajo la forma de tapones flexibles o bien rígidos.

A esta cápsula se le denomina el "tapón corona" y es el más generalizado para las botellas; se coloca por presión y apretado del metal bajo el bordillo (abultamiento) de la boca (Cheftel, 1980).

## E. EMPLEO DE ENZIMAS EN EL PROCESAMIENTO DE FRUTAS

La tecnología moderna se orienta al uso de una gama, cada vez más amplias de materias primas y al

aprovechamiento integral de estas; esto origina una gran variedad de productos terminados, lo que ha sido posible gracias a las innovaciones de procesos y equipos. En muchos de los procesos modernos, se utilizan enzimas como celulasas, pectinasas, amilasas y proteasas.

Estas enzimas catalizan la degradación de los constituyentes de las paredes celulares tales como la celulosa, hemicelulosa, pectina, almidón y proteína (Bráverman, 1980; Fennema, 1993 ; Fellows, 1994).

En la elaboración de bebidas y jugos vegetales, las enzimas juegan dos roles; una función específica, ejercida por su presencia en forma natural en las materias primas y de otra parte transformaciones específicas cuando se adicionan enzimas (preparaciones industriales), que mejoran las características organolépticas y se realizan nuevos procesos de producción. Este último aspecto demandará importante trabajo, puesto que la acción de enzimas péctica sobre sistemas complejos tales como las bebidas no ha sido totalmente transparente (Campos, 1994; Fellows, 1994).

## 1. EXTRACCION DE JUGOS

El tratamiento enzimático de la pulpa, antes del prensado es necesario para la extracción del jugo de

frutas pequeñas como: fresa, cereza, uvas, etc. En estas frutas ricas en pectinas, la acción mecánica sobre la fruta da un jugo muy viscoso. La pectina podría dar origen a una masa semigelificada, que dificulta la extracción del jugo. Las enzimas pectinolíticas degradan esta estructura gelificada y facilitan la extracción.

Además de mejorar la extracción, la presencia de pectinasas; así como de otras hidrolasas: celulasas y hemicelulasas; favorecen la extracción de pigmentos, sabores y aromas; mejorando así las características organolépticas (Campos, 1994; Dziezak, 1991).

## 2. GENERALIDADES SOBRE PECTINA Y SUSTANCIAS PECTICAS

Las pectinas son un grupo especial de sustancias responsables de la formación de geles, se encuentran en cantidades tan abundante que a menudo forman canales anchos, apartando entre sí a las células, al ser un coloide hidrofílico, la pectina tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de agua (Robinson, 1991; Braverman, 1980).

Las sustancias pécticas se encuentran en las paredes celulares del tejido de la planta y también en la lámina media, también actúan como cemento intercelular entre las paredes de la célula y son polímeros del ácido D-

galacturónico unido por el enlace  $\alpha$ -1,4-glucosídico, un número limitado de residuos del azúcar ramnosa interrumpen la cadena del ácido galacturónico, la cantidad de material péctico varía con cada fruta y con los tejidos de la fruta en particular, la cáscara, el área central, son las fuentes más ricas en pectinas que el tejido parenquimatoso, la savia celular constituye el jugo de la fruta extraído en frío rara vez contiene pectina.

La proporción de proto pectina, pectina y ácido péctico en una fruta varía con su madurez. La proto pectina produce una pectina dispersable en el agua cuando el tejido de la fruta se extrae con agua caliente. A medida que la fruta se acerca a la madurez, el contenido de proto pectina disminuye y predomina la pectina dispersable en agua.

En los ácidos pécticos, los grupos carboxilo de los residuos del ácido galacturónico en el polímero, no están esterificados, forman sales, igual que otros ácidos, se depositan en el tejido de la planta como pectato de calcio o magnesio. Los ácidos pectínicos (llamado pectina), tienen grupos metílicos esterificados en alguno de los grupos carboxilo a lo largo del polímero del ácido galacturónico (Badui, 1984).

### 3. INFLUENCIA DE PECTINAS SOBRE PULPAS Y TURBIDEZ DE LOS ZUMOS DE FRUTAS

Las sustancias pécticas presentes en las frutas se deben tener en cuenta no sólo en la obtención de geles sino también en la fabricación de zumos de frutas, vinos y vinagres.

La pectina, en solución en zumos de frutas, contribuyen a mantener en suspensión las finas partículas de "pulpa" que le dan turbidez, la suspensión es consecuencia de la naturaleza coloidal del fluido, las sustancias que producen esta solución coloidal varían con los distintos zumos , pero por lo general, son pectinas y polisacáridos asociados, derivados del almidón, diversas proteínas y ocasionalmente, taninos y ligninas, dichos zumos se sedimentan muy lentamente y no pueden filtrarse con facilidad por cuanto obstruyen los filtros.

En algunos zumos es de interés protegerlos, pues confiere al producto una cierta viscosidad y actúa como coloide protector, contra la acción de enzimas proteolíticas y se consigue con una pasteurización apropiada; Por el contrario, cuando se desea la obtención de un zumo claro es indispensable eliminar la pectina porque su presencia en solución haría muy

difícil la decantación y filtrado, en este caso se utilizan enzimas pectolíticas comerciales que poseen una fuerte actividad poligalacturonásica, además, ésta es indispensable, porque la poligalacturonasa no actúa sobre el ácido péctico.

La pectina dificulta la liberación del zumo de la pulpa, haciendo que escurra lentamente, debido a su viscosidad elevada (Cheftel, 1980; Belitz, 1988).

Además el almidón es otro de los causantes de la elevada viscosidad del zumo. La pectina actúa como estabilizante de los turbios en el zumo, es decir, los zumos no pueden ser clarificados por centrifugación o filtración; zumos conteniendo pectina no pueden concentrarse mucho, pues gelifican y se quedan durante el proceso.

Los zumos y pulpas turbios, requieren pectina para conseguir su estabilidad a la turbidez. Para la fabricación de confituras se añaden pectinas con alto poder de gelificación. Las enzimas desdobladoras de pectinas las hidrolisan a fracciones de bajo peso molecular, con lo que se elimina la viscosidad y destruyen el poder gelificante (Días, 1992).

La acción de las enzimas pectolíticas se puede controlar por la medición de la viscosidad relativa del zumo o pulpa, también comprobando la pectina restante, mediante

la prueba de alcohol (Viquez, 1981), indicado en la figura 2.

- Las enzimas típicas de pulpas, rebajan fuertemente la viscosidad al principio de la reacción.
- las pectinasas para la clarificación y concentración de zumos , alcanzan con mayor rapidez el punto en el que por la prueba de alcohol ya no se detecta más pectina.

## F. ASPECTOS REOLOGICOS DE PULPAS Y ZUMOS DE FRUTAS

### 1. REOLOGIA

Es la ciencia de la deformación y flujo de la materia. Hay numerosas razones para que los datos reológicos sean necesarios en la industria de los alimentos:

- Para ser utilizados en los cálculos de los procesos de ingeniería.
- Para determinar la funcionalidad de ingredientes en el desarrollo de productos.
- Control de calidad.
- Evaluación de la textura correlacionado con el análisis sensorial (Steffe, 1992).

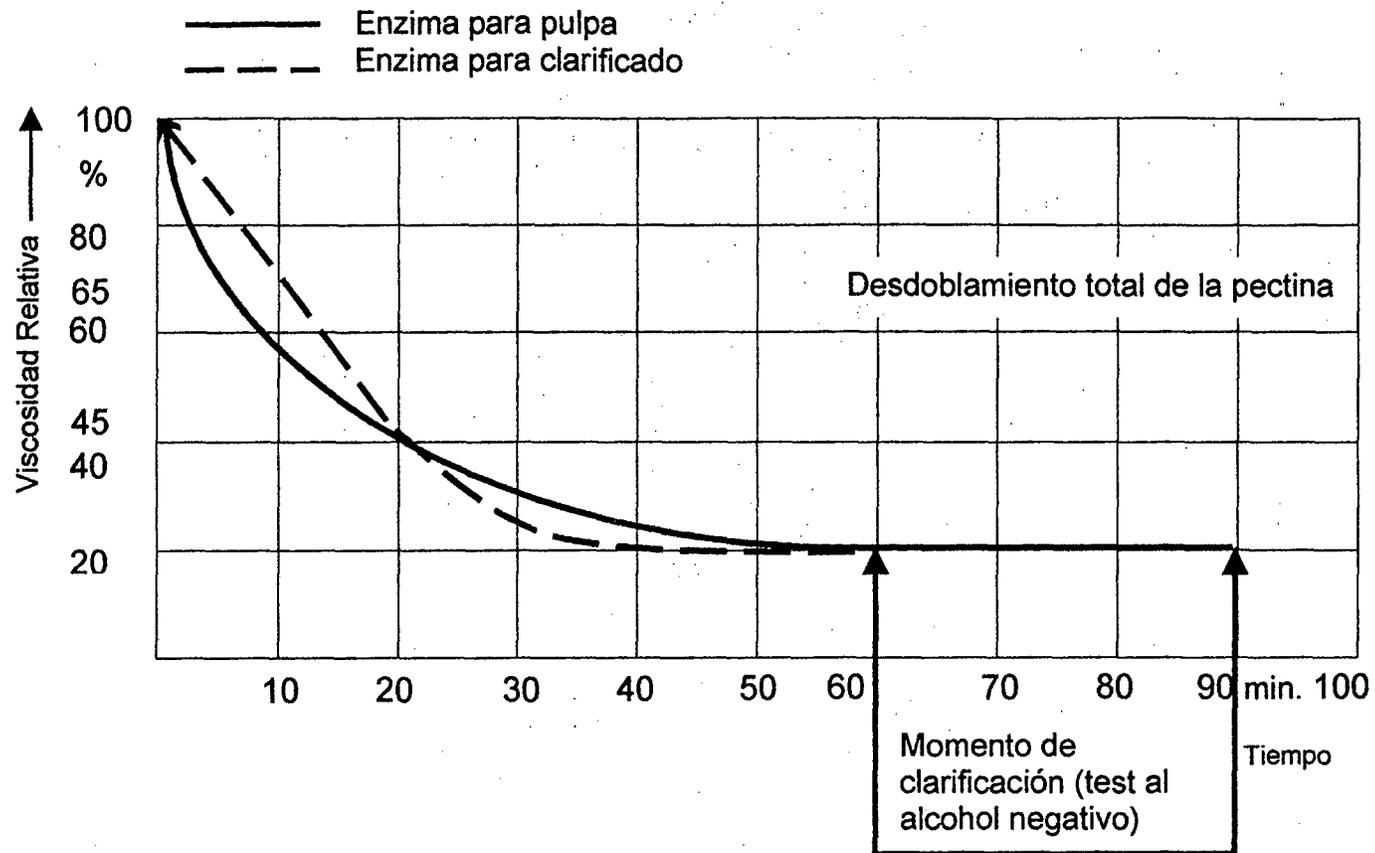


Figura 2: Medición de la acción de la enzima por el cambio de la viscosidad relativa (%) y test al alcohol

Fuente : Rohm enzyme (1978)

## 2. VISCOSIDAD

La viscosidad es la propiedad de un fluido que da lugar a fuerzas que se oponen al movimiento relativo de capas adyacentes en el fluido. Estas fuerzas viscosas se originan entre las moléculas del fluido y son de carácter similar a las fuerzas cortantes de los sólidos (Geankoplis, 1995).

## 3. TIPOS DE FLUIDOS ALIMENTICIOS

Los fluidos alimenticios pueden clasificarse en tiempos independientes y tiempos dependientes (Steffe, 1992). Por otra parte se agrupa a los fluidos alimenticios en función a la ley de Newton de la Viscosidad en Newtonianos y no Newtonianos (Osorio, 1990).

En los fluidos tiempo independientes el esfuerzo cortante no es función del tiempo o duración de la acción cortante (Brito, 1995). Entre estos fluidos tenemos: Fluido Newtoniano, Fluido pseudoplástico, Fluido dilatante, Fluido plástico de Bingham, Fluido pseudoplástico con umbral de fluencia, Fluido dilatante con umbral de fluencia (Barboza, 1993).

### a. Fluido newtoniano

Son aquellos fluidos en la que la relación entre el esfuerzo de corte o cizalla y la velocidad de

deformación o velocidad de corte siguen una relación lineal (Brito, 1995).

$$\tau = u \left( \frac{dv}{dy} \right)$$

Donde:

- $\tau$  : Esfuerzo de corte o cizalla (Pa)
- $u$  : Viscosidad dinámica o coeficiente de viscosidad (Pa.s)
- $dv/dy$  : Gradiente de deformación o velocidad de corte ( $s^{-1}$ )

Los líquidos simples, pastas con bajo contenidos en sólidos presentan comportamiento ideal newtoniano. En este tipo de flujo se incluye a la mayoría de las bebidas como: té, café, cerveza, leche, aceite, zumo de naranja, zumo de manzana, vinos, bebidas gaseosas, etc. (Barboza, 1993).

#### b. Fluido pseudoplástico

Este comportamiento es muy común en fluidos alimenticios. En muchos casos este comportamiento no newtoniano puede ser atribuido a la presencia de sustancias de elevado peso molecular en solución y/o a la dispersión de sólidos en una fase fluida.

Para los fluidos pseudoplásticos el índice de comportamiento de flujo es menor que la unidad (Brito, 1995).

$$\tau = m \left( \frac{dv}{dy} \right)^n$$

Donde:

- $m$  : Índice de consistencia ( $Pa \cdot s^n$ ).
- $n$  : Índice de comportamiento de flujo ( $n < 1$ ).

### III. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la planta piloto de procesamiento de frutas y hortalizas E-5 y en los laboratorios de: Análisis de Alimentos, Microbiología de Alimentos y Análisis Sensorial de Alimentos, de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, situada en Tingo María, en el período comprendido entre Agosto de 1997 a Junio de 1998.

#### A. MATERIA PRIMA E INSUMOS

##### 1. MATERIA PRIMA

Se utilizaron pulpa de bananos de 7 tipos, considerados en el Perú como plátano guayabo, moquicho, de la isla, manzano, bellaco, inguiri y morado, los cuales fueron adquiridos en el mercado minorista de la ciudad de Tingo María.

##### 2. ENZIMA POLIGALACTURONASA (E.C. 3.2.1.15)

Se le conoce como: Polygalacturonase; poly-[1,4, $\alpha$ -D-galacturonide] glyconohidrolase; E.C. 3.2.1.15. Una unidad de actividad enzimática de esta enzima libera un micromol de ácido galacturónico, a partir del ácido poligalacturónico por minuto, a pH 4,0 y a 25°C. Se presenta en solución en KCl y Sorbitol, presenta 31 mg.

de proteína/ml. x 11,8 unidades/mg. de proteína y se codifica como P 9179 en la marca SIGMA.

## B. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

### 1. EQUIPOS DE LABORATORIO

Entre los equipos más utilizados en el presente trabajo se tienen:

- Balanza semianalítica, marca Sartorius sensibilidad 0,1 gr. EEUU.
- Balanza analítica electrónica-OHAUS Modelo AP210s serial #113032314, sensibilidad 0,0001 gr. EEUU.
- Baño maría THELCO-Presicion Scientific Co Chicago 60647 USA. Serie 11-X-4, rango de temperatura de 0° a 100°C.
- Bomba de vacío (precisión Vacuum Pump) Model 535, CGA Corporation USA.
- Cámara congeladora, marca Oliveros.
- Estufa marca Mermet electric tipo LR-202.
- Espectrofotómetro molecular, modelo Espectronic 20, marca Bausch & Lomb. Rango de longitud de 340 a 960 nm.
- Molino coloidal con rango de molienda de 0,0 a 3,9 m.m. tipo M-10-951. Hungría.
- Potenciómetro rango 0 a 14 digital tipo pH Tester USA.

- Pulpeadora o majador, marca Kamplex tipo Ep-9 con juego de tamices. Hungría.
- Refrigeradora tipo L-50 Lehel.
- Refractómetro de mesa, graduado de 0 a 100% de sacarosa tipo ABBE.
- Selladora manual de chapas.
- Viscosímetro capilar Cannon-Fenske, marca KIMAX (USA), Viscometer tube No 100.
- Viscosímetro BROOKFIELD RVT. Brookfield Engineering Laboratories, Inc. Soughton, USA.
- Vernier, marca SOLINGER, made in Germany.

## 2. MATERIALES DE LABORATORIO

- Agitador de vidrio.
- Buretas de 25 y 50 ml. c/u.
- Cronómetro.
- Cuchillo de acero inoxidable.
- Embudos de vidrio y porcelana.
- Fiolas de 50, 100, 250, 500 ml. c/u.
- Kitasato de 250 ml.
- Matraces de 100, 250 ml. c/u.
- Papel filtro rápido.
- Papel filtro Whattman No 40-42.
- Pipetas de 0.25, 1.0, 2, 5, 10 ml. c/u.
- Probetas de 10, 100, 250 ml. c/u.

- Pizeta.
- Tela para filtrado.
- Termómetro graduado en °C.
- Tubos de prueba.
- Vasos de precipitados de 100,250,400,600 ml.c/u.

### 3. REACTIVOS Y SOLUCIONES

Todos los reactivos utilizados fueron químicamente puros, y son:

- Acetato de sodio.
- Acido acético.
- Acido clorhídrico.
- Alcohol etílico al 96% de pureza.
- Acido sulfúrico.
- Almidón soluble.
- Bisulfito de sodio.
- 2,6 diclorofenolindofenol.
- 2,4 dinitrofenol.
- Acido Ascórbico.
- Acido poligalacturónico.
- Hidróxido de sodio 0.1N.
- Fenolftaleina al 1%.
- Glucosa anhidra.
- Buffer acetato de sodio 0.1 M, pH 4.5.
- Buffer acetato de sodio 1 M, pH 5.0.
- Solución de Iodo, 0,1 N.

- Tiosulfato de sodio  $5H_2O$ .

Otros reactivos usados en los análisis físico químicos y microbiológicos.

#### 4. ENVASES

Se utilizaron botellas de vidrio de 180 ml de capacidad, provistos de sus respectivas coronas.

### C. METODOS DE ANALISIS

Los métodos de análisis que se emplearon en el desarrollo del trabajo de investigación se presentan a continuación:

#### 1. INDICES DE MADUREZ Y CARACTERIZACION DEL PLATANO

##### SELECCIONADO

Se realizaron las siguientes determinaciones analíticas cualitativas y cuantitativas:

##### a. Determinaciones físicas

- Características biométricas (Shewfelt, 1993).
- Macrocomponentes (Shewfelt, 1993).

##### b. Análisis químico proximal

Se determinó:

- Humedad, método 12.002 (AOAC, 1984).
- Proteína, método Semimicro Kjeldahl, utilizando

como factor de conversión de nitrógeno a proteína 6.25 (AOAC, 1984).

- grasa, método 13.074 (AOAC, 1984).
- fibra bruta, método 962.09 (E.b) (AOAC, 1997).
- ceniza, método 940.26 (A) (AOAC, 1997).
- carbohidratos totales, se determina por diferencia, después de haber realizado los análisis anteriores (Hart Fisher, 1994; AOAC, 1984).

### c. Análisis físico químico

- Viscosidad aparente; método descrito por (Steffe, 1992; Mitschka, 1982).
- pH; potenciométricamente a 20 °C; método 11.032 (AOAC, 1984).
- Sólidos solubles; método refractométrico (muestras oscuras u opacas) 932.14 (C) (AOAC, 1997).
- Sólidos totales; por diferencia del porcentaje de humedad.
- Acidez titulable; método 942.15 (A, a) (AOAC, 1997).
- Índice de madurez; cociente de dividir los grados brix por la acidez titulable. (Royo, 1977).
- Vitamina C; método espectrofotométrico propuesto por el (Departamento de Agricultura del Canada, 1976).
- Azúcares Reductores, Totales y Almidón; método

espectrofotométrico de (Miller, 1959).

- **Pectina**; método cualitativo y cuantitativo (Rohm Enzyme, 1978; Rangana, 1979).

## 2. ACTIVIDAD ENZIMATICA DE LA POLIGALACTURONASA (PG) Y

### OBTENCION DE ZUMO

#### a. ACTIVIDAD ENZIMATICA

Se determinó mediante el método Iodimétrico (Neufeld et. al., 1968).

#### PRINCIPIO

La enzima produce una hidrólisis al azar del ácido poligalacturónico dando origen a una mezcla de ácidos D-galacturónico y Di-galacturónico en una relación molar aproximada de 4:3, a este nivel el 70% de los enlaces del polímero lineal se encuentran hidrolizados. Se produce una hidrólisis lineal, durante el cual aproximadamente el 25% de los enlaces glucosídicos son hidrolizados después del cual la velocidad de reacción decae.

El ensayo enzimático se basa en la medición de la velocidad inicial del incremento en grupos aldehidos los cuales están relacionados con la oxidación de hipoyodito, durante los primeros 3-5% de hidrólisis también hay un rápido descenso de la viscosidad de la solución del ácido poligalacturónico.

**REACTIVOS**

Enzima; Se diluyó la enzima en concentraciones convenientes: 0,1 ml. de enzima poligalacturonasa/5 ml. de solución.

Pectina; conocido como ácido poligalacturónico obtenido de naranja con una pureza de 86%, codificado como P3889 en la marca SIGMA.

Para preparar una solución de poligalacturonato de sodio al 0,5% se siguió los siguientes pasos:

Suspender un gramo de ácido poligalacturónico en 150 ml. de agua destilada, agregue 20 ml. de buffer acetato de sodio 1 M a pH 5,0. Titular la solución a pH 5,0 con NaOH 1 N y ajustar el volumen a 200 ml. con agua destilada.

- $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 1 M
- Solución de Iodo, 0,1 N
- $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 2 M
- $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 0,1 N

**PROCEDIMIENTO**

Llevar a 30°C 20 ml de una solución de ácido poligalacturónico, adicionar 1 ml de la solución de enzima adecuadamente diluida, mezclar rápidamente y anotar el tiempo. Se toman 5 ml de la mezcla en reacción y se le adiciona 5 ml de la solución de yodo 0,1 N en un frasco erlenmeyer de 50 ml se anota el tiempo en el momento en que se adiciona la solución

de yodo a la muestra. Se adiciona 0.9 ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 1 M inmediatamente, la mezcla es dejada en reposo exactamente 20 min., luego es acidificada con 2 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 2 M y el yodo residual es titulado con  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 0,1 N.

2 ó 3 muestras adicionales son tomadas a partir de la mezcla en reacción (aproximadamente cada 4 ó 5 minutos), el tiempo es registrado como en el caso anterior y son tratados similarmente.

Los valores de la titulación son ploteados como una función del tiempo para determinar la pendiente de la recta obtenida.

Un microequivalente de yodo reducido corresponde a 0,513 micromoles de grupos aldehidos liberados. La actividad de la enzima es calculada y expresada por ml ó mg. de proteína de la solución de enzima.

#### **DEFINICION DE LA UNIDAD ENZIMATICA**

La actividad de la endo-polygalacturonasa de levadura es la cantidad de enzima que producirá un micromol de grupos aldehidos/minuto a 30°C y pH 5,0.

Aunque el pH óptimo está entre 4,4 y 4,5 la curva de actividad tiene un pico ancho y la diferencia en la actividad es el desprecio, la ventaja de usar pH 5,0 es que el ácido péctico de alto peso molecular es más soluble a pH 5,0 que en pH 4,0.

#### b. OBTENCION DEL ZUMO

Tratamiento enzimático; se realizó de acuerdo al método de NOVO (Madden, 1991).

El tratamiento enzimático de la pulpa de plátano en función de la concentración de enzima, temperatura y del tiempo de hidrólisis, evaluándose el rendimiento de zumo. Además se determinó la estabilidad a la sedimentación, las muestras de cada tratamiento se almacenó en refrigeración, siendo observadas a las 24 horas presencia de sedimento (Madden, 1991).

#### 3. VISCOSIDAD DE LA PULPA Y DEL ZUMO

- Análisis reológico mediante el viscosímetro Brookfield, splinde tipo disco (Mitschka, 1982).
- Viscosidad del zumo, empleándose el viscosímetro capilar Cannon Fenske N°100 (Lewis, 1993).

#### 4. CARACTERIZACION DEL ZUMO Y ALMACENAMIENTO

Se realizaron las siguientes determinaciones analíticas: pH, acidez total, vitamina C, azúcares reductores, viscosidad, por los métodos descritos en C.1, además de los siguientes análisis:

Densidad, método de pignómetro (Madrid, 1994).

Transparencia; por espectrofotometría, (Versteeg, 1980).

Espectro de Absorción, longitud de onda de máxima

absorvancia (Ramette, 1983; Gordon, 1987).

Los análisis físico químicos se realizaron cada 30 días (0,30,60,90); el análisis microbiológico se realizó al inicio y al final del almacenamiento, el tiempo de almacenamiento fue de 3 meses y el análisis sensorial al final del almacenamiento.

#### D. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A continuación se presenta las etapas del trabajo de investigación.

1. Selección del tipo de plátano de mayor rendimiento de zumo.
2. Índices de madurez y caracterización del plátano seleccionado.
3. Actividad Enzimática de la Poligalacturonasa (PG) y obtención del zumo.
4. Aspectos reológicos de la pulpa y del zumo.
5. Caracterización del zumo y almacenamiento.

##### 1. SELECCION DEL TIPO DE PLATANO DE MAYOR RENDIMIENTO DE ZUMO

Se realizó la extracción del zumo de la pulpa de siete (7) tipos de plátanos (*Musa sp*) utilizándose en el tratamiento enzimático la enzima poligalacturonasa en una sola concentración, tiempo y temperatura (0,03%, 50 °C,

60 minutos de hidrólisis) (Rohm enzyme, 1980). Se seleccionó el tipo que presentó mayor rendimiento de extracción de zumo basándose en el análisis estadístico.

## 2. INDICES DE MADUREZ Y CARACTERIZACION DEL PLATANO

### SELECCIONADO

Los índices de madurez se determinaron mediante los métodos de análisis físico químicos, evaluándose el pH, °Brix, acidez titulable, humedad, relación del peso pulpa/cáscara y variación del color de la cáscara (Shewfelt, 1993).

1. En las determinaciones físicas, se evaluaron las características biométricas y macrocomponentes.
2. El análisis químico proximal de la pulpa del plátano maduro consideró: humedad, proteína, grasa, fibra, ceniza y carbohidratos.
3. En el análisis físico químico se determinó: °Brix, pH, acidez titulable, pectina, almidón, azúcares reductores, totales y vitamina C; los métodos utilizados se indican en C.1.

## 3. ACTIVIDAD ENZIMATICA DE LA POLIGALACTURONASA (PG) Y

### OBTENCION DEL ZUMO

#### a. ACTIVIDAD ENZIMATICA DE LA POLIGALACTURONASA

Se determinó la actividad enzimática de la poligalacturonasa, teniendo en cuenta el método señalado en la parte de métodos de análisis, C.2.

**b. OBTENCION DEL ZUMO****1) Acondicionamiento de la pulpa**

El acondicionamiento de la pulpa de plátano se realizó tomando como base el flujo de operaciones de la figura 3 (Ponce, 1996).

A continuación se describe cada operación que se indica en la figura:

**Materia Prima**

Se utilizó los frutos maduros del tipo de plátano (*Musa sp*) seleccionado, de acuerdo a los criterios mencionados anteriormente.

**Selección**

Se seleccionaron los frutos que se encontraron aptas para el proceso, teniendo en cuenta la sanidad.

**Lavado**

Se efectuó por inmersión y frotamiento en agua potable, para quitar partículas extrañas de la superficie.

## MATERIA PRIMA

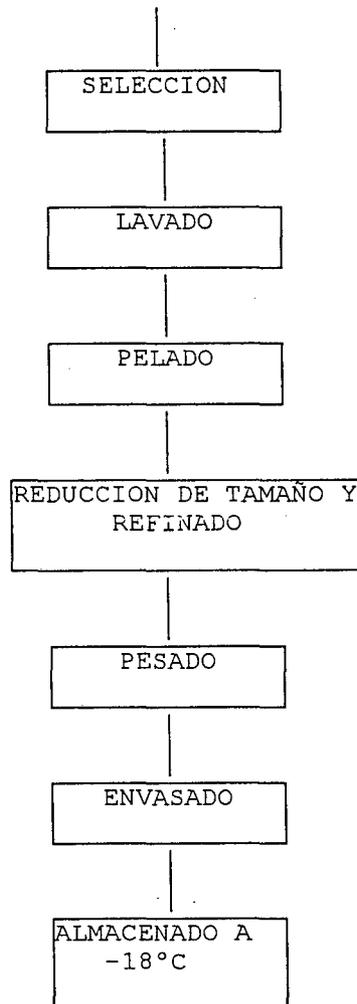


Figura 3: Flujograma para el acondicionamiento de la pulpa de plátano seleccionado.

**Pelado**

Se realizaron en forma manual, utilizando un cuchillo de acero inoxidable.

**Pulpeado**

Se realizó en una pulpeadora con malla de 0,4 mm. de diámetro, lo que nos permitió obtener una pulpa fina.

**Refinado**

Se realizó en el molino coloidal con 0,30 mm. de luz, para obtener una pulpa libre de restos fibrosos.

**Pesado**

Se realizó para cada tratamiento en cantidades de 700 grs.

**Envasado**

Estos son envasados en empaques de polietileno para luego ser almacenado.

**Congelado**

Se congelaron en recipientes a  $-18^{\circ}\text{C}$  durante el período que se realizaron las pruebas experimentales.

**2) Tratamiento enzimático**

Se realizó variando la concentración de enzima, la temperatura y el tiempo de hidrólisis, así como se muestra en la página 64, evaluándose el rendimiento de zumo, mediante un tiempo de filtrado de 15 minutos (Madden, 1991).

La prueba para determinar la presencia de pectina y almidón se trabajó con la concentración de enzima, temperatura y tiempo de hidrólisis óptimo.

### 3) Obtención del zumo

Se realizó de acuerdo al flujograma de la figura 4.

#### **Pulpa Acondicionada**

Se utilizó la pulpa acondicionada de acuerdo al flujograma de la figura 3.

#### **Hidrólisis enzimática**

La pulpa fue tratada con la dosis óptima de poligalacturonasa encontrada en la fase anterior, con la finalidad de hidrolizar la pectina presente en la pulpa.

#### **Prensado**

Se realizó utilizando una prensa manual, con la finalidad de obtener mayor rendimiento de zumo.

#### **Inactivación Enzimática**

Se realizó a 90 °C/60 seg. (Versteg, 1980; Ben-Shalom, 1986), para que no exista presencia de enzima en el zumo obtenido.

#### **Centrifugación**

La centrifugación fue realizada a 1000 rpm./20 min. (Viquez, 1981), para jugo de plátano, pero puede variar de acuerdo a la variedad, para eliminar algunas partículas presentes y clarificar.

# PULPA ACONDICIONADA

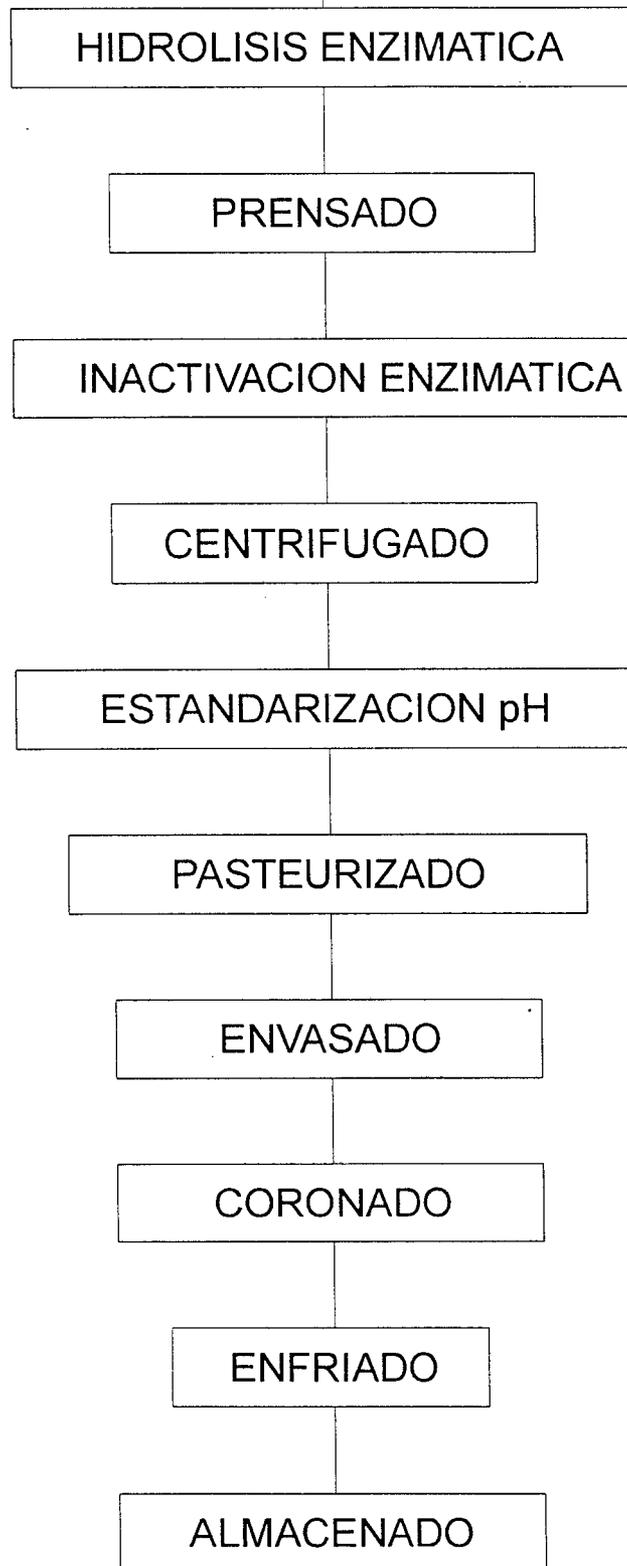


Figura 4: Flujograma definitivo para la obtención de zumo de plátano mediante hidrólisis enzimática de la pulpa.

**Estandarización de pH**

Se evaluó tres valores de pH, el cual se explica en el diseño experimental y en el análisis estadístico, con la finalidad de obtener un pH óptimo mediante prueba organoléptica de preferencia.

**Pasteurización**

Se pasteurizó a 85°C/60 seg. para lograr la asepsia del producto, luego se añade 0,05% de sorbato de potasio como preservante (INDECOPI, 1976).

**Envasado y Coronado**

Se envasaron en caliente siendo inmediatamente sellados, para crear vacío en las botellas (Cheftel, 1980).

**Enfriado**

Se enfriaron por inmersión en agua potable hasta 38°C, que facilita el secado de la superficie de la botella.

**Almacenado**

El zumo se almacenó por 90 días a temperaturas de refrigeración a 4°C y a temperatura ambiente a 25°C; realizándose los análisis físico químicos cada 30 días y el análisis microbiológico al inicio y al final del almacenamiento.

#### 4. ASPECTOS REOLOGICOS DE LA PULPA Y DEL ZUMO

Se determinó el comportamiento reológico de la pulpa de plátano y de igual manera de la pulpa acondicionada a la temperatura de 30 °C; antes del tratamiento enzimático y después del tratamiento enzimático. Para estas pruebas se utilizó el viscosímetro Brookfield RVT con los spindles N°5(disco). Empleándose los parámetros óptimos.

Se evaluó la variación de la viscosidad (mPa.s) a la temperatura óptima durante el tratamiento enzimático.

Para caracterizar la pulpa reológicamente se utilizó el la Ley de la Potencia (Steffe, 1992), así como los datos técnicos AR-82 Brookfield, para el uso de spindles tipo disco (Mitschka, 1982).

Se evaluó la viscosidad del zumo obtenido empleándose el viscosímetro capilar Cannon Fenske N°100 (Lewis, 1993).

#### 5. CARACTERIZACION DEL ZUMO Y ALMACENAMIENTO

##### a. Análisis físico químicos del zumo de plátano

El zumo de plátano tipo isla fue caracterizado teniendo en cuenta la determinación de:acidez total, vitamina C, azúcares reductores, transparencia, absorbancia y viscosidad.

Las evaluaciones en el almacenamiento a temperatura de refrigeración de 4°C y a temperatura ambiente de 25°C se realizan cada 30 días/90 días.

#### **b. Análisis microbiológico**

Se ha realizado siguiendo los métodos de análisis recomendados por la ICMSF (1983). Se realizaron los Índices de Numeración de microorganismos aerobias viables mesófilos (NMAVM) y Numeración de mohos y levaduras, análisis requeridos por las normas del INDECOPI.

#### **c. Evaluación sensorial**

Se tomó como base las características principales usando los atributos de sabor, color, aroma y transparencia; para lo cual se utilizaron una escala hedónica de 9 puntos, los resultados de cada panelista fueron sumados obteniéndose el promedio con el cual se establece la calificación (Anzaldua, 1994).

### **E. DISEÑO EXPERIMENTAL**

#### **1. SELECCION DEL TIPO DE PLATANO**

El diseño experimental se representa en la figura 5, el cual nos permite la evaluación del mayor rendimiento de zumo para los diferentes tipos de plátano.

En este diseño se detallan las variables en estudio, teniendo los parámetros de concentración, temperatura y tiempo de hidrólisis constante.

## TIPOS DE PLATANO

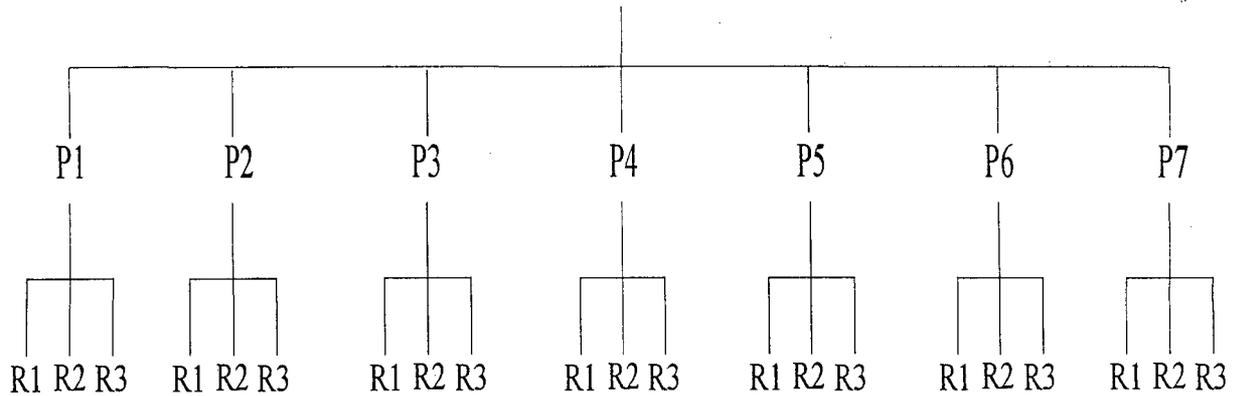


Figura 5: Diagrama del diseño experimental para la selección del tipo de plátano

Donde:

P : Tipos de plátano

P1 : Guayabo      pH = 4,3  
P2 : Manzano      pH = 4,2  
P3 : Isla          pH = 4,6  
P4 : Inguiri        pH = 4,3  
P1 : Moquicho     pH = 4,7  
P1 : Bellaco        pH = 4,2  
P1 : Morado        pH = 4,7

R1, R2, y R3: repeticiones

[enzima] : 0,03%

[sustracto] : 100gr.

Temperatura : 50 °C

Tiempo de hidrólisis : 60 minutos

## 2. TRATAMIENTO ENZIMATICO Y ESTANDARIZACION DEL pH

El diseño experimental se representa esquemáticamente en la figura 6, el cual fue estructurado de tal forma que permite la evaluación de la acción enzimática. Este diseño muestra detalles de las variables en estudio, explicándose el significado de cada variable en la página 65. El mejor tratamiento se determinó teniendo en cuenta el rendimiento de zumo (Rohm enzyme, 1980), para lo cual los valores experimentales fueron evaluados estadísticamente.

### F. ANALISIS ESTADISTICO

El análisis estadístico para el diseño experimental de la figura 5, se adecua a un diseño completo al azar (DCA) con 3 repeticiones (Daniel, 1996).

El análisis estadístico para el diseño experimental de la figura 6, se adecua a un diseño estadístico bloque completo al azar (DBCA) con arreglo factorial de  $3A \times 3B \times 3C$  con 2 repeticiones (Daniel, 1996).

La significación estadística se evaluó con la prueba de Tukey al 5% de probabilidad seleccionándose el mejor tratamiento, posteriormente a este tratamiento se le aplicó un diseño completo al azar con dos repeticiones para determinar la mejor concentración de enzima.

El estandarizado del pH, se realizó mediante una prueba organoléptica de preferencia, realizado mediante el método RANKING (ordenamiento jerárquico) (Wittie, 1984).

# PULPA ACONDICIONADA

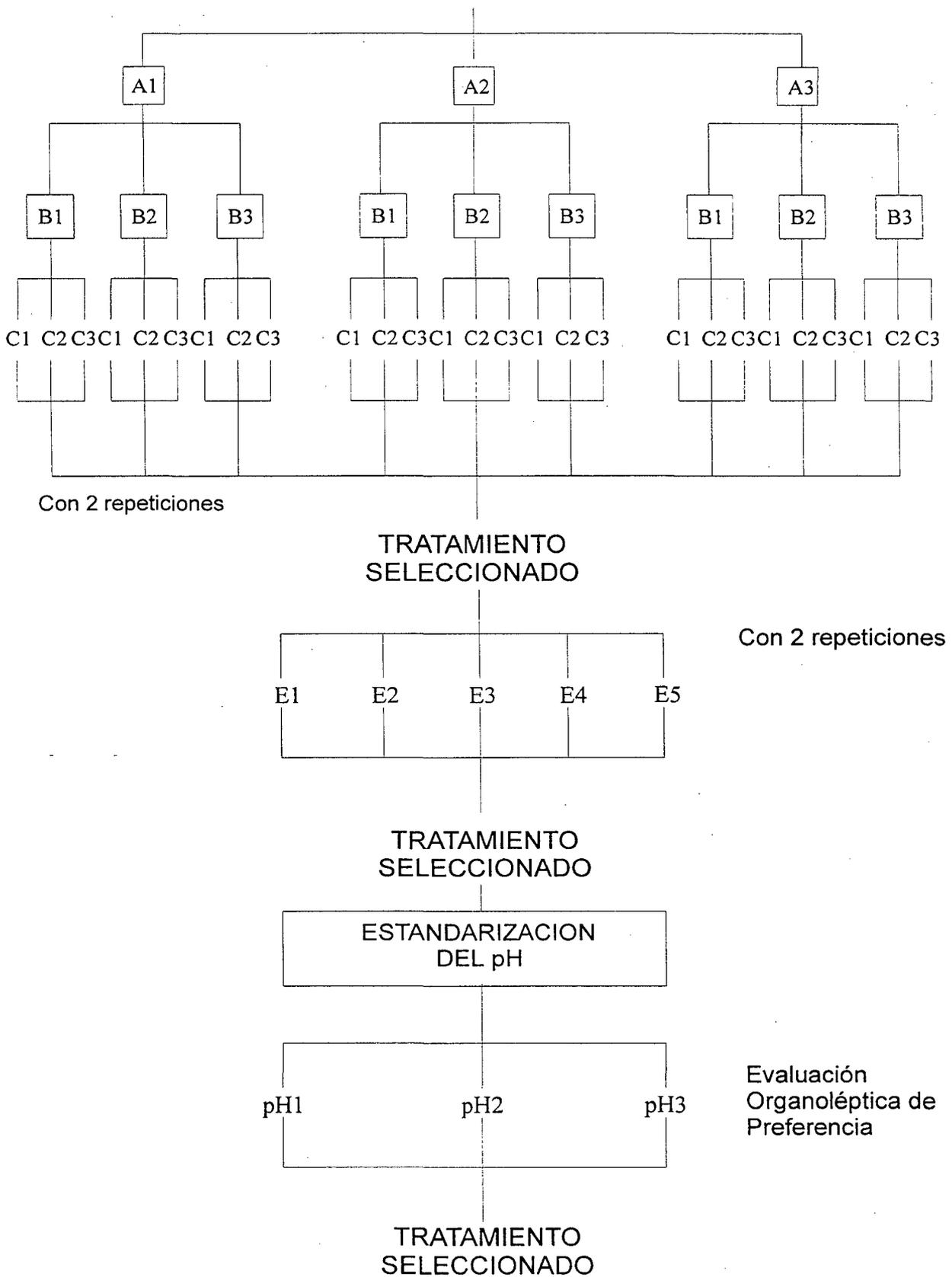


Figura 6: Diagrama del diseño experimental para el tratamiento enzimático y estandarización del pH.

LEYENDA:

A : Concentración de enzima PG (v/p)

A1 : 0,01%

A2 : 0,03%

A3 : 0,06%

B : Temperatura

B1 : 40°C

B2 : 50°C

B3 : 60°C

C : Tiempo de hidrólisis

C1 : 60 min.

C2 : 90 min.

C3 : 120 min.

E : Enzima Poligalacturonasa (PG)

E1 : 0,02%

E2 : 0,03%

E3 : 0,04%

E4 : 0,05%

E5 : 0,06%

pH1 : 4,60 (pH normal de la pulpa)

pH2 : 4,00

pH3 : 3,50

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

##### A. SELECCION DEL TIPO DE PLATANO DE MAYOR RENDIMIENTO DE ZUMO

Para determinar el tipo de plátano que mayor rendimiento produce, se tomaron en promedio 10 unidades por cada tipo, cada una con 3 repeticiones, con aplicación de 0,03% de enzima (v/p) (volumen de enzima/peso de pulpa) a 50°C/60 minutos; los resultados de esta evaluación son mostradas en el cuadro 3:

Cuadro 3: Resultados de los rendimientos de zumo, en porcentaje (P/V) de los tipos de plátano en estudio.

| Repetición      | TIPOS DE PLATANOS |                |                |                |                |                |                |
|-----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                 | P <sub>1</sub>    | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> | P <sub>4</sub> | P <sub>5</sub> | P <sub>6</sub> | P <sub>7</sub> |
| R <sub>1</sub>  | 60                | 59             | 70             | 52             | 62             | 54             | 68             |
| R <sub>2</sub>  | 61                | 57             | 69             | 52             | 61             | 55             | 68             |
| R <sub>3</sub>  | 63                | 58             | 70             | 54             | 63             | 55             | 67,5           |
| P <sub>0</sub>  | 45                | 48             | 0              | 12             | 0              | 0              | 3,5            |
| Σ               | 184               | 174            | 209            | 158            | 186            | 164            | 203,5          |
| promedio        | 62,3              | 58             | 69,66          | 52,66          | 62             | 54,66          | 67,8           |
| TOTAL = 1278,50 |                   |                |                |                |                |                |                |

Donde:

P/V : peso de pulpa/volumen de zumo

P<sub>0</sub> : Testigo (sin aplicación de enzima)

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> y R<sub>3</sub> : repeticiones (con aplicación de enzima).

Tipos de plátanos en estudio:

$P_1$  = Guayabo;  $P_2$  = Manzano;  $P_3$  = Isla;  $P_4$  = Inguiri;  
 $P_5$  = Moquicho;  $P_6$  = Bellaco;  $P_7$  = Morado.

$\Sigma$  :  $R_1 + R_2 + R_3$

El rendimiento sin aplicación de enzima fue mínimo cuyos valores se muestran en el cuadro 3, comparado con los rendimientos de zumos con aplicación de enzimas; para obtener el mejor rendimiento estos valores fueron evaluados estadísticamente.

El análisis de variancia de los rendimientos de zumo según tipo de plátano se presenta en el cuadro 4.

Cuadro 4: Análisis de variancia para determinar el tipo de plátano con mayor rendimiento de zumo.

| F.V.         | G.L. | S.C.           | C.M.   | F.C.   | F.t. |      | Sig. |
|--------------|------|----------------|--------|--------|------|------|------|
|              |      |                |        |        | 5%   | 1%   |      |
| Tratam.      | 6    | 724,12         | 120,69 | 131,18 | 2,85 | 4,46 | **   |
| Error Exp    | 14   | 12,83          | 0,92   |        |      |      |      |
| Total        | 20   | 736,95         |        |        |      |      |      |
| C.V. = 1,5 % |      | $R^2 = 0,9825$ |        |        |      |      |      |

El análisis de variancia del cuadro 4, indica una alta significación estadística entre los rendimientos de zumo de cada tipo de plátano lo cual nos permitió la opción de selección.

En el cuadro 5, se observa los resultados de la prueba de Tukey, con una significación del 5%.

Cuadro 5: Resultados ordenados de la prueba de tukey con un  $\alpha = 0,05$ , para la determinación del tipo de plátano con mayor rendimiento de zumo.

| Orden | Tipos de Plátanos         | Promedio (%) | Significación |
|-------|---------------------------|--------------|---------------|
| 1     | P <sub>3</sub> (Isla)     | 69,66        | a             |
| 2     | P <sub>7</sub> (Morado)   | 67,80        | a b           |
| 3     | P <sub>1</sub> (Guayabo)  | 62,30        | c             |
| 4     | P <sub>5</sub> (Moquicho) | 62,00        | c d           |
| 5     | P <sub>2</sub> (Manzano)  | 58,00        | e             |
| 6     | P <sub>6</sub> (Bellaco)  | 54,66        | f             |
| 7     | P <sub>4</sub> (Inguiri)  | 52,66        | f g           |

Los resultados de la prueba de tukey en el cuadro 5, muestran que los tipos de plátanos isla y morado presentaron un mayor rendimiento superando estadísticamente a los demás tipos, ocupando el primer y segundo lugar

respectivamente, destacando el plátano isla por presentar mayor rendimiento de zumo en promedio.

Cuadro 6: Rendimiento de pulpa, pardeamiento y características organolépticas de los tipos de plátano en estudio.

| Tipos de plátanos         | CARACTERISTICAS |              |         |         |                 |
|---------------------------|-----------------|--------------|---------|---------|-----------------|
|                           | Rend.pulpa (%)  | pardeamiento | sabor   | aroma   | color           |
| P <sub>1</sub> (Guayabo)  | 78,5            | poco         | bueno   | bueno   | amarillo opaco  |
| P <sub>2</sub> (Manzano)  | 66,1            | no presenta  | regular | poco    | amarillo opaco  |
| P <sub>3</sub> (Isla)     | 68,0            | no presenta  | bueno   | bueno   | amarillo claro  |
| P <sub>4</sub> (Inguiri)  | 62,5            | poco         | poco    | poco    | amarillo opaco  |
| P <sub>5</sub> (Moquicho) | 82,5            | total        | regular | regular | amarillo oscuro |
| P <sub>6</sub> (Bellaco)  | 67,7            | poco         | poco    | poco    | amarillo opaco  |
| P <sub>7</sub> (Morado)   | 67,0            | total        | regular | regular | amarillo claro  |

En el cuadro 6, se observa que el tipo de plátano que mayor rendimiento de pulpa produjo fue el **moquicho** (P<sub>5</sub>), seguida del guayabo (P<sub>1</sub>) y del isla (P<sub>3</sub>); pero el que mayor rendimiento produjo en la extracción de zumo fue el isla, presentando mejores características organolépticas y menor grado de pardeamiento.

## B. INDICES DE MADUREZ Y CARACTERIZACION DEL PLATANO

### SELECCIONADO.

#### 1. INDICES DE MADUREZ

En el cuadro 7, se presentan los resultados de las evaluaciones realizados en muestras de plátano isla durante el desarrollo de la madurez comercial.

Cuadro 7: De los grados de madurez del plátano isla.

| CARACTERISTICAS |         |       |      |               |     |      |
|-----------------|---------|-------|------|---------------|-----|------|
| GM              | Humedad | °Brix | P/C  | Ac. Titulable | pH  | IM   |
| 1               | 69,17   | 5,0   | 1,51 | 0,18          | 5,5 | 27,8 |
| 2               | 69,69   | 10,0  | 1,63 | 0,26          | 5,2 | 38,5 |
| 3               | 70,10   | 17,0  | 1,70 | 0,30          | 5,0 | 56,6 |
| 4               | 70,76   | 20,0  | 1,73 | 0,43          | 4,5 | 46,5 |
| 5               | 72,76   | 22,8  | 1,92 | 0,40          | 4,6 | 57,0 |
| 6               | 75,46   | 20,9  | 2,14 | 0,37          | 4,8 | 56,5 |

Donde:

GM : grado de madurez

IM : Indice de madurez

1= verde ; 2= pintón, (5% amarillo)

3= pintón(10 % verde); 4= maduro, (amarillo punta verde)

5= maduro (amarillo) ; 6= sobremaduro (amarillo con pecas)

Donde se puede observar que el contenido de humedad, los sólidos solubles y la relación pulpa/cáscara (P/C); presentan contenidos que se incrementan conforme transcurre la maduración, alcanzando una humedad de 75,46; 20,9 °Brix y una relación pulpa/cáscara de 2,14. Estos resultados se expresan gráficamente en las figuras 7, 8 y 9.

El incremento de los sólidos solubles durante la maduración comercial, está relacionado con la transformación del almidón en azúcares, decayendo el contenido desde 20 a 25 % en la fruta verde a 0,2 a 1,5 % en la fruta madura; produciéndose un aumento creciente del dulzor en la fruta madura (Chitarra, 1990).

En el cuadro 7, se puede apreciar que el contenido de sólidos solubles es mayor cuando el plátano se encuentra maduro, observando también que en el sobremaduro disminuye, debido a que los azúcares empiezan a fermentarse; debido a estas características se seleccionó el plátano con un índice de madurez de 57, para la utilización en la obtención de zumo.

Los resultados de las evaluaciones de pH indican de que se produce un aumento en la concentración de ácidos ionizables, lo que produce una disminución en el valor del pH, para luego empezar a incrementarse; esta

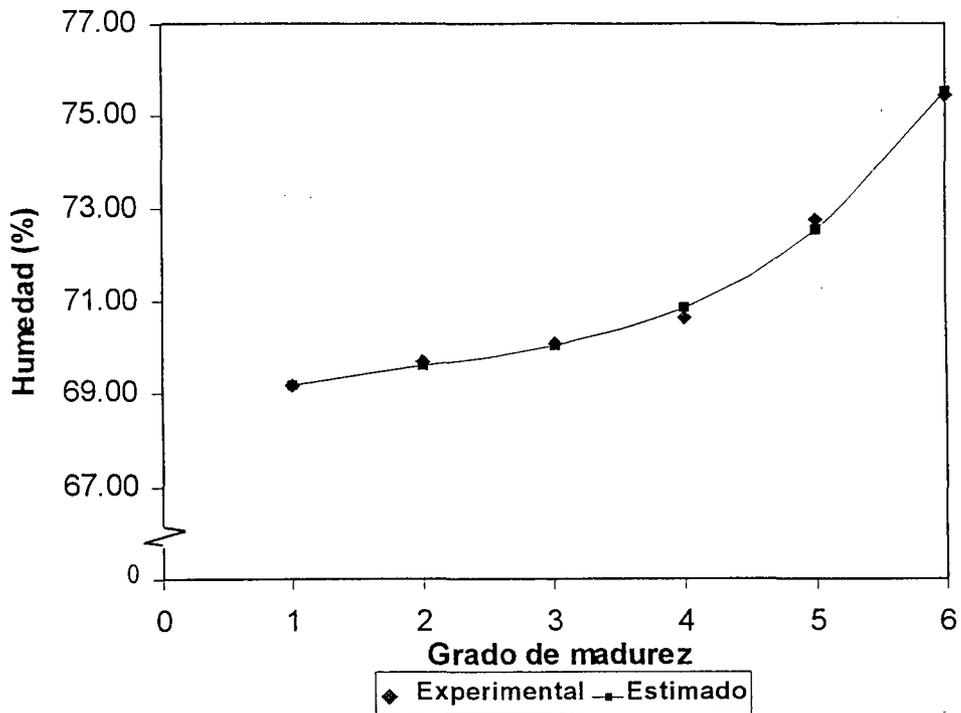


Figura 7: Variación del contenido de humedad

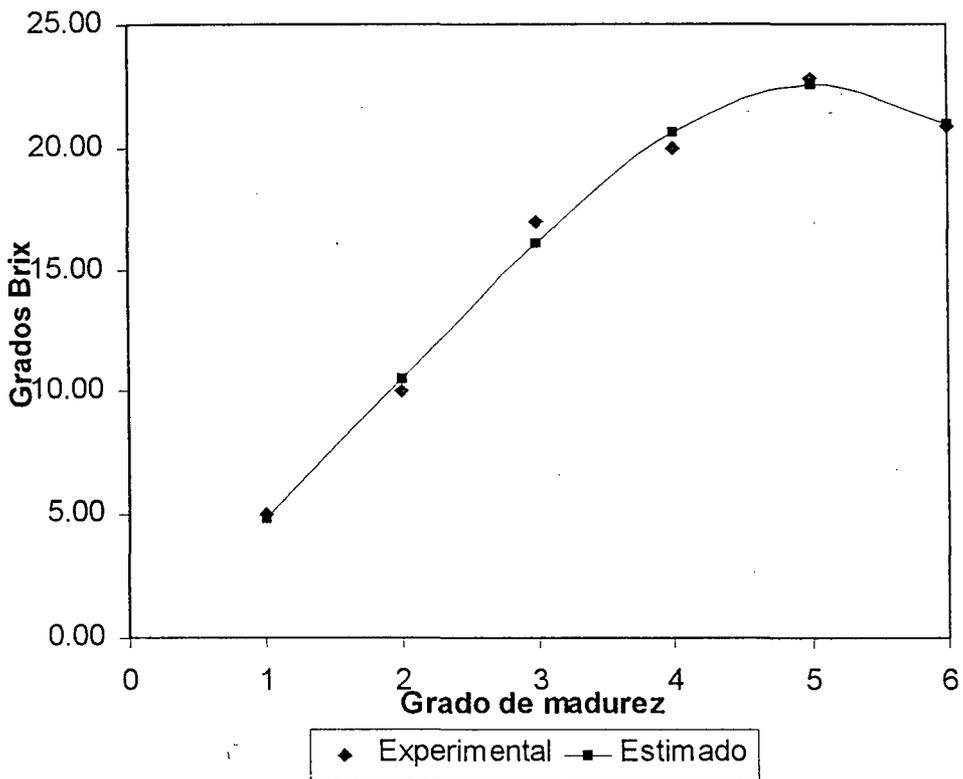


Figura 8: Variación del contenido de solidos solubles

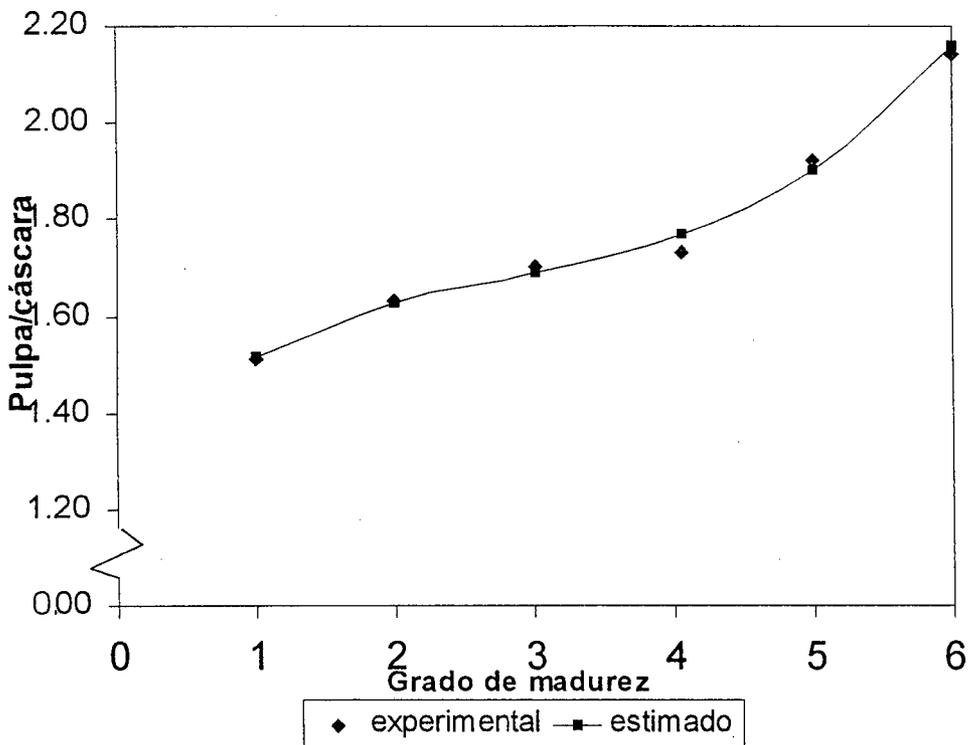


Figura 9: Variación de la relación pulpa/cáscara

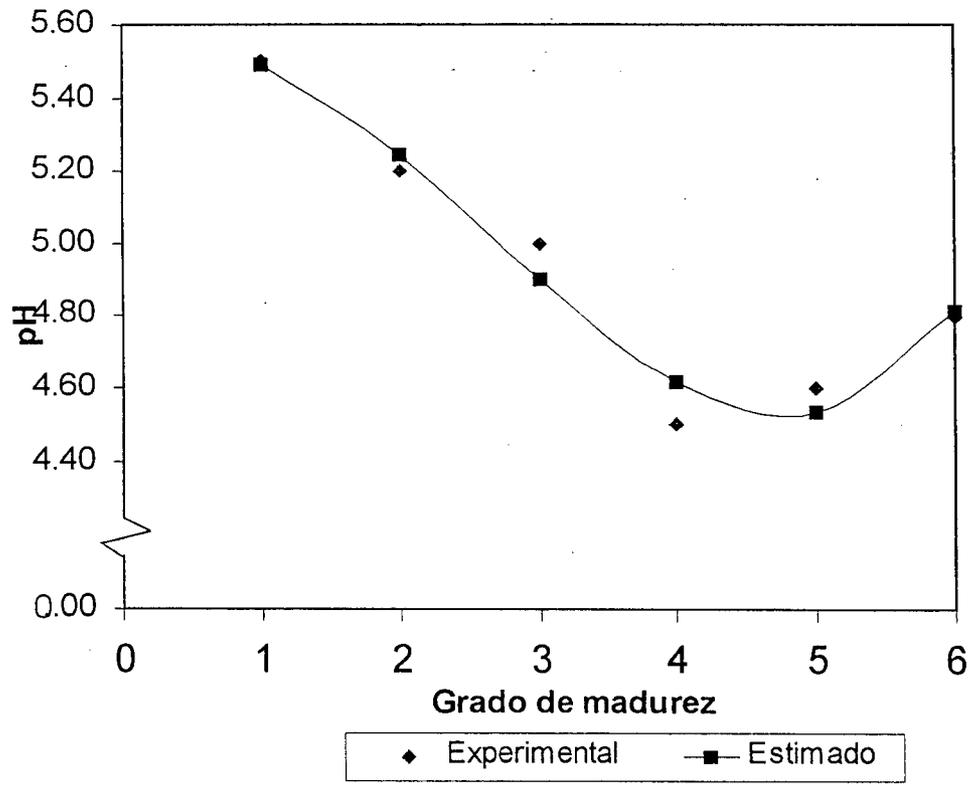


Figura10: Variación del pH

variación es de un pH de 5,5 a 4,5 y se incrementa hasta 4,8 estos resultados se expresan gráficamente en el gráfico 10. La acidez titulable de la pulpa indica de que este aumenta conforme transcurre la maduración, llegando a un contenido máximo de 0,43% de ácido málico, para luego empezar a descender, la variación se muestra en la figura 11. Este comportamiento no coincide con la mayoría de las frutas tropicales, donde el contenidos de ácidos disminuye después de la cosecha; mientras que en el plátano la producción de ácidos aumenta durante la maduración (Monteiro, 1993).

La acidez titulable es expresado en ácido málico, ya que este ácido orgánico es el que prevalece en esta fruta al estado maduro, presentando un contenido de 65% (Nelson, 1980).

En el Anexo 1, se muestran las ecuaciones que se utilizaron para ajustar los datos experimentales de las figuras 7-11.

## **2. CARACTERIZACION DEL PLATANO**

### **a. Determinaciones físicas**

Para las determinaciones físicas se utilizó el tipo de plátano seleccionado, que fue el isla, el cual fue elegido en base al rendimiento de zumo,

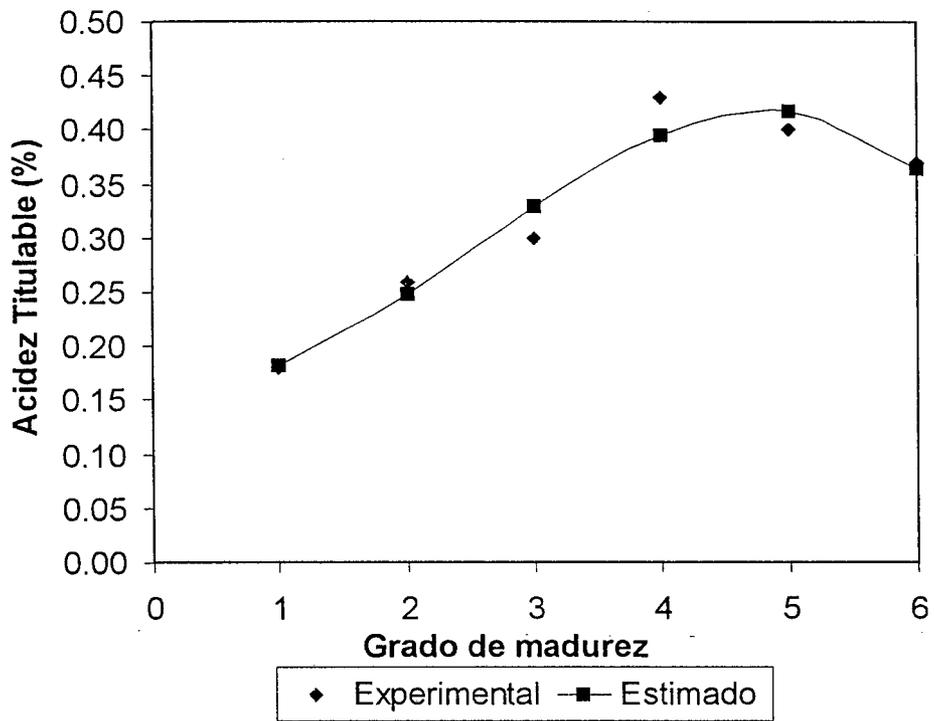


Figura 11: Variación de la Acidez Titulable

utilizando estadísticamente el diseño completo al azar; y de acuerdo al índice de madurez se utilizó el plátano maduro. El cual fue adquirida en el mercado de abasto de Tingo María.

### Características biométricas

El cuadro 8, nos muestra los resultados obtenidos en la determinación de las medidas biométricas de los frutos de plátano isla.

Cuadro 8: Medidas biométricas promedio del plátano isla.

| P L A T A N O S * |       |      |         |       |      |         |       |      |        |
|-------------------|-------|------|---------|-------|------|---------|-------|------|--------|
| Grande            |       |      | Mediano |       |      | Pequeño |       |      |        |
| L                 | &     | w    | L       | &     | w    | L       | &     | w    |        |
| Promedio          | 16,82 | 4,23 | 213,39  | 15,25 | 3,51 | 148,81  | 12,69 | 3,19 | 111,37 |
| Valor mx.         | 17,82 | 4,44 | 236,80  | 15,92 | 3,68 | 165,60  | 13,80 | 3,48 | 138,70 |
| Valor mín.        | 5,94  | 4,06 | 180,30  | 14,35 | 3,26 | 126,40  | 11,19 | 2,90 | 78,90  |

\* : Se evaluaron 10 frutos por cada tamaño

L : Longitud en cm.

& : diámetro en cm.

w : peso en gramos.

Las medidas biométricas son específicas para cada tipo; en el cuadro anterior se observa que existe valores máximos y mínimos en cuanto a longitud, diámetro y peso. Estos valores no se pueden comparar

con otros tipos de plátanos ya que cada uno de ellos presentan tamaños y formas diferentes, estos resultados caracterizan al plátano isla.

Se sabe que el peso promedio del fruto es de 100-200 gr. en forma general sin especificar el tipo (Soto, 1992); en este caso el peso promedio de los tres tamaños es de 158 gr., entre otras características presenta el color de cáscara amarillo y con presencia de aristas; el color de pulpa se determinó mediante dilución en un solvente (etanol) en donde la máxima absorbancia (0,4260) se produjo a 450 nm. de longitud de onda.

### **Macrocomponentes**

El cuadro 9, nos muestra los resultados de los porcentajes pulpa/cáscara de los diferentes tamaños de los frutos de plátano isla. además se observa que los plátanos de acuerdo al tamaño tienen variaciones en el porcentaje de pulpa, de 72,20 a 66,10 obteniendo como promedio 67,96% y 32,04% para la cáscara, del cual podemos decir que el tamaño grande presenta mayor porcentaje de pulpa y menor % de cáscara. Soto (1992), reporta un promedio de 60% de pulpa.

Cuadro 9: Determinación porcentual de las fracciones del fruto.

P L A T A N O S \*

| TAMAÑO   | pulpa   |       | cáscara |       |
|----------|---------|-------|---------|-------|
|          | w (gr.) | %     | w (gr.) | %     |
| Grande   | 154,11  | 72,20 | 59,28   | 27,80 |
| Mediano  | 97,72   | 65,58 | 51,09   | 34,42 |
| Pequeño  | 66,51   | 66,10 | 44,86   | 33,90 |
| Promedio | 106,11  | 67,96 | 51,74   | 32,04 |

**b. Análisis químico proximal**

Los resultados del análisis químico proximal del plátano isla se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10: Resultados del análisis químico proximal del plátano isla maduro.

| COMPONENTES         | %     |
|---------------------|-------|
| Humedad             | 72,76 |
| Proteína (N x 6,25) | 1,05  |
| Grasa               | 0,10  |
| Ceniza              | 0,81  |
| Fibra               | 0,30  |
| Carbohidratos       | 24,98 |

Los resultados del cuadro 10, son similares a los reportados por Collazos (1993), los cuales dependen del grado de madurez, clima, suelo y entre otros factores. Además podemos observar que los componentes que más destacan son la humedad con 72,76% y el contenido de carbohidratos con 24,98%.

El análisis químico nos indica de que esta fruta es un alimento principalmente de naturaleza energética; debido al alto contenido de carbohidratos.

#### **c. Análisis físico químicos del plátano**

El cuadro 11, nos muestra los resultados del análisis físico químicos del plátano isla con respecto a la parte comestible.

Referente a los azúcares totales y reductores (Chitarra, 1990), reporta valores de 15,4% y 11,5% respectivamente, debido a que en los resultados prácticos tenemos valores de 14,92 y 6,87% respectivamente, estas variaciones pueden ser atribuidos al grado de madurez, tipo del plátano, entre otros factores.

Cuadro 11: Características físico químicas del plátano isla en 100 gr. de parte comestible.

| COMPONENTES                                     | Resultados (%) |
|---|----------------|
| Humedad   | 72,76          |
| Sólidos totales                                 | 27,24          |
| Sólidos solubles (°Brix)                        | 22,80          |
| pH  | 4,60           |
| Acidez titulable(en ácido málico)               | 0,40           |
| Indice de madures(°Bx/ac. titulable)            | 57,00          |
| Vitamina C.(ácido ascórbico reducido)           | 5,20           |
| Pectina(como pectato de calcio)                 | 2,36           |
| Azúcares reductores(como glucosa)               | 6,87           |
| Azúcares totales(como glucosa)                  | 14,92          |
| Almidón   | 1,90           |
| Indice de flujo (n)                             | 0,20           |
| Indice de consistencia (m) en Pa.s <sup>n</sup> | 44,77          |

Es importante resaltar también que la interacción de proteínas o aminos con carbohidratos (azúcares reductores), van a producir los pardeamientos no oxidativos como son los fenómenos de caramelización y reacción Maillard respectivamente (Fennema,1993).

El contenido de almidón encontrado es de 1,90% y el de pectina 2,36% (pectato de calcio), coincidiendo

por lo reportado por Monteiro (1993) quien determinó contenidos de almidón de 20-23% en el plátano verde, disminuye hasta 1-2% en la fruta madura y que el contenido de pectina varía entre 1,83 a 1,05% (como ácido galacturónico) entre los 0 y 24,5 días después de la cosecha, almacenado a 20°C.

### C. ACTIVIDAD ENZIMATICA DE LA POLIGALACTURONASA (PG) Y

#### OBTENCION DEL ZUMO.

#### 1. ACTIVIDAD ENZIMATICA

La actividad de la poligalacturonasa (PG), se determinó según en lo descrito en C.2 de la parte de métodos de análisis. Los datos numéricos se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 12: Resultados experimentales para la determinación de la actividad enzimática de Poligalacturonasa (PG)  
[E]: 0,1 ml PG/5ml

| Tiempo<br>minutos | #umoles de grupos<br>aldehidos |
|-------------------|--------------------------------|
| 0,0               | 0,000                          |
| 5,0               | 9,747                          |
| * 10,0            | 14,621                         |
| 15,0              | 18,058                         |
| 20,0              | 20,469                         |

\* : Número de puntos experimentales utilizados para obtener la ecuación para este caso.

Se determinó la actividad de la poligalacturonasa utilizando como sustrato una solución de ácido poligalacturónico al 0,5%, en buffer acetato de sodio 1 M, pH 5,0 y a 30°C; determinándose una actividad pectolítica de 292 umoles de grupos aldehidos x ml de enzima original/minuto ó 292 U/ml.

Sigma reporta una actividad de 366 U/ml. para esta enzima, la cual expresa la cantidad de enzima que libera 1 mol de ácido galacturónico a partir del ácido poligalacturónico por minuto a pH 4 y a 25 °C (Neufeld et. al., 1968).

Ambos resultados teórico y práctico son determinados utilizando el mismo sustrato, ácido poligalacturónico; pero a otras condiciones de pH y temperatura, ya que el ácido péctico de peso molecular alto es más soluble a pH 5,0, para el método iodimétrico. Rohm (1978), menciona que las pectinasas almacenadas en un lugar fresco (aprox. 4°C), experimenta pérdida de actividad al cabo de un año de 5-10%.

En la figura 12, se muestra la curva de los datos experimentales los cuales expresan la variación del número de micromoles de grupos aldehidos vs el tiempo en minutos de acción enzimática.

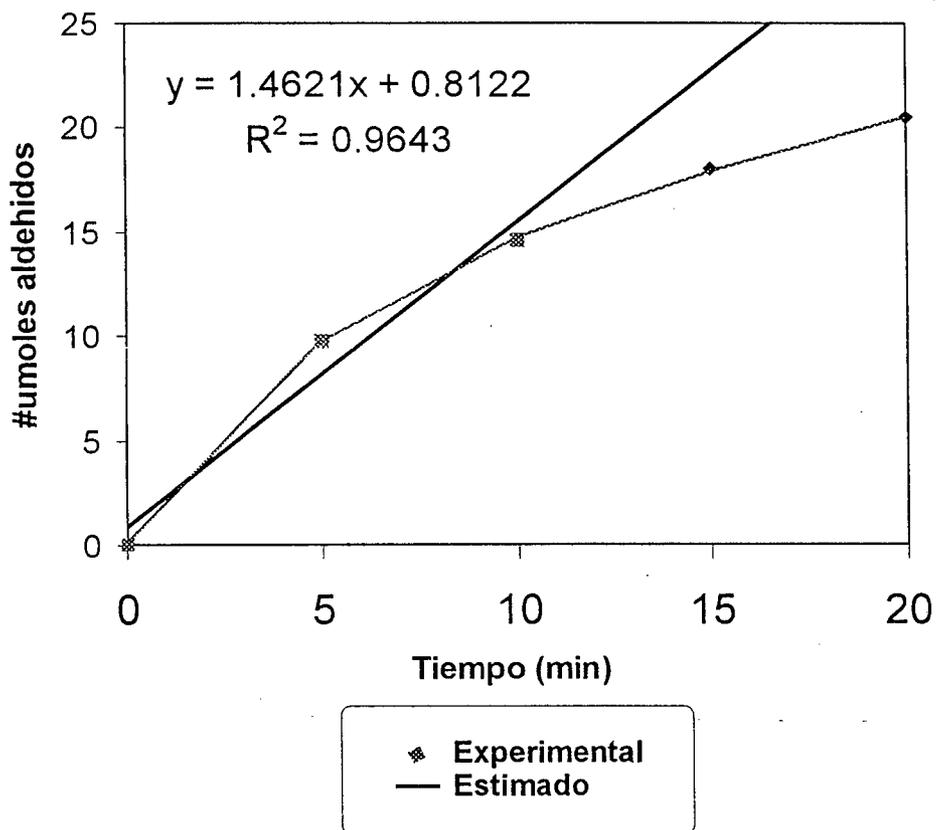


Figura 12: Actividad Enzimática de la Polilacturonasa (PG)

Mediante el análisis de regresión lineal de la porción recta de la curva, se determinó la actividad enzimática pectolítica que viene representado por la respectiva pendiente, la ecuación representativa se muestra en la figura.

## **2. OBTENCION DEL ZUMO**

### **a. Acondicionamiento de la pulpa**

La pulpa de plátano fue acondicionada tal como se indica en el flujograma de la figura 13.

Donde se puede apreciar un rendimiento de 58,33% existiendo una mayor pérdida en el pelado. Se puede apreciar también que después de esta operación la pulpa no presentó ningún cambio de color, esto está relacionado con la cantidad de azúcares reductores, debido a que este tipo de plátano presenta poca cantidad de azúcares reductores, como se muestra en el cuadro 11.

El escaldado no fue necesario, debido a que no hubo pardeamiento de la pulpa después del pulpeado, evitándose de esta manera la pérdida de minerales, vitaminas hidrosolubles y otros compuestos hidrosolubles (Fellows, 1994).

# PLATANO TIPO ISLA

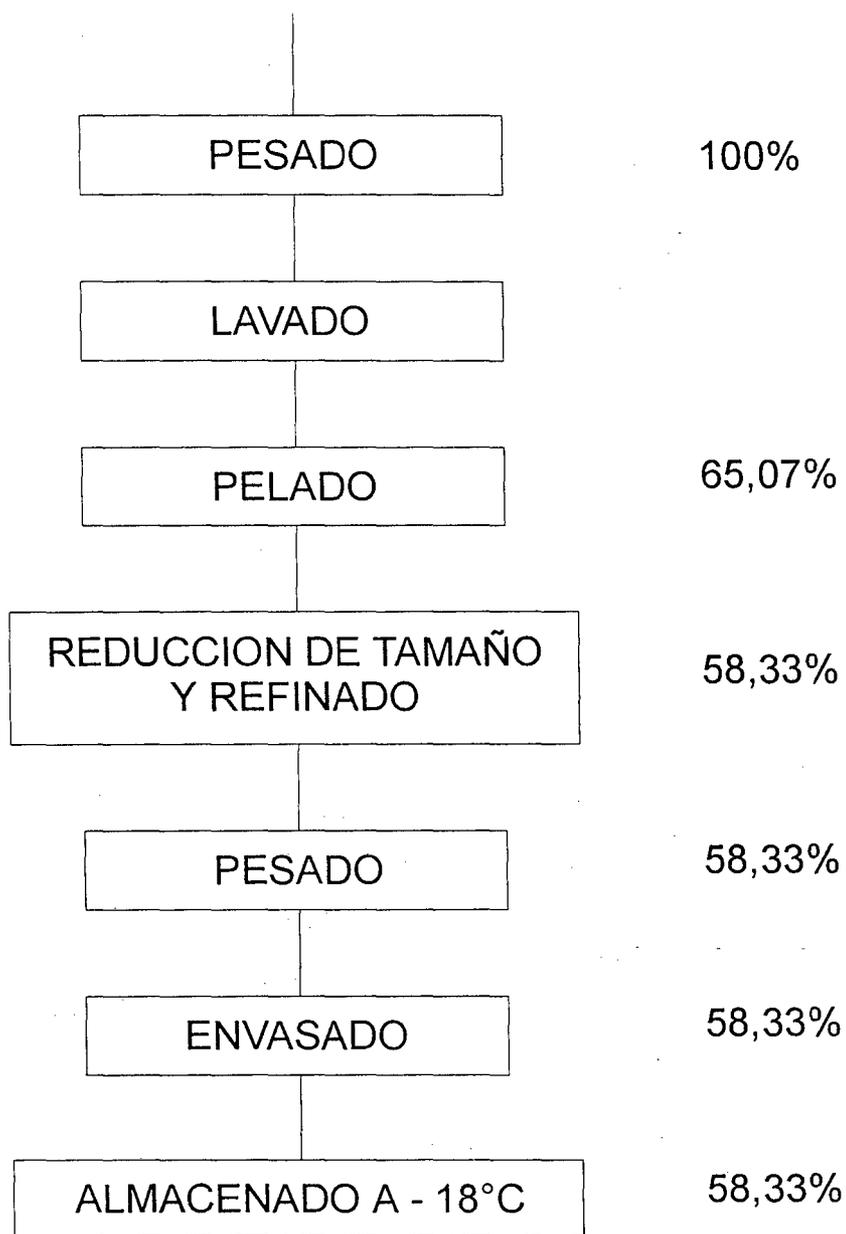


Figura 13: Flujograma para el acondicionamiento de la pulpa de plátano Isla.

El proceso de pardeamiento enzimático es lento, debido a una menor concentración de las sustancias involucradas en el pardeamiento, tales como compuestos fenólicos y enzimas.

La enzima polifenoloxidasasa se encuentra presente en el pardeamiento de los plátanos, lo que se hace evidente durante el procesamiento (Nelson, 1980).

#### **b. Tratamiento enzimático de la pulpa**

El tratamiento enzimático se realizó con la enzima Poligalacturonasa (PG) y utilizando 100 gr. de sustrato (pulpa de plátano isla) por cada tratamiento y variando los parámetros de temperatura (°C), tiempo de hidrólisis (min) y concentración de enzima [E], resultados que se muestran en el cuadro 13.

En este cuadro se presentan resultados de zumo extraído en volumen y peso; apreciándose que el efecto de la enzima es mayor conforme aumenta la concentración y temperatura; de igual manera el rendimiento de zumo aumenta conforme aumenta el tiempo de hidrólisis hasta 90 minutos.

Además las muestras testigos (blanco) no presentan rendimientos de zumo en la extracción, ya que no han sido tratado enzimáticamente.

Cuadro 13: Rendimiento de zumo extraído por acción enzimática de la PG sobre la pulpa<sup>1</sup> (\*).

| A   | B  | C   | RENDIMIENTO DE ZUMO |       | observaciones |      |
|-----|----|-----|---------------------|-------|---------------|------|
|     |    |     | [E]%                | °C    |               | min. |
| [1] | 40 | 60  |                     | 19,30 | 19,75         | ---+ |
| [1] | 40 | 90  |                     | 26,50 | 27,00         | ---+ |
| [1] | 40 | 120 |                     | 20,25 | 20,55         | -++  |
| [1] | 50 | 60  |                     | 25,50 | 26,00         | ---+ |
| [1] | 50 | 90  |                     | 27,50 | 28,45         | -++  |
| [1] | 50 | 120 |                     | 28,85 | 30,00         | -++  |
| [1] | 60 | 60  |                     | 24,50 | 25,25         | ---+ |
| [1] | 60 | 90  |                     | 30,50 | 31,50         | -++  |
| [1] | 60 | 120 |                     | 31,00 | 32,05         | +++  |
| [2] | 40 | 60  |                     | 24,00 | 24,75         | ---+ |
| [2] | 40 | 90  |                     | 31,60 | 32,00         | -++  |
| [2] | 40 | 120 |                     | 32,00 | 33,65         | +++  |
| [2] | 50 | 60  |                     | 29,40 | 30,45         | -++  |
| [2] | 50 | 90  |                     | 30,65 | 32,00         | +++  |
| [2] | 50 | 120 |                     | 32,30 | 33,45         | +++  |
| [2] | 60 | 60  |                     | 32,00 | 33,60         | -++  |
| [2] | 60 | 90  |                     | 35,15 | 36,75         | +++  |
| [2] | 60 | 120 |                     | 38,40 | 40,75         | +++  |
| [3] | 40 | 60  |                     | 28,65 | 29,35         | ---+ |
| [3] | 40 | 90  |                     | 33,45 | 34,10         | -++  |
| [3] | 40 | 120 |                     | 28,90 | 30,30         | +++  |
| [3] | 50 | 60  |                     | 32,90 | 34,20         | +++  |
| [3] | 50 | 90  |                     | 35,25 | 37,10         | +++  |
| [3] | 50 | 120 |                     | 34,10 | 35,75         | +++  |
| [3] | 60 | 60  |                     | 36,75 | 38,90         | +++  |
| [3] | 60 | 90  |                     | 38,75 | 40,95         | +++  |
| [3] | 60 | 120 |                     | 34,00 | 35,70         | +++  |

<sup>1</sup> : El resultado de la prueba sin uso de enzima dió 0% de rendimiento en zumo.

(\*) : promedio de dos repeticiones.

--- inestable, alta sedimentación

--+ inestable, regular sedimentación

-++ poco estable, poca sedimentación

+++ estable, muy poca sedimentación

[1] : Concentración de enzima 0,01%(v/p) 0,1 ml  
de enzima/1 Kg de pulpa

[2] : Concentración de enzima 0,03%(v/p) 0,3 ml  
de enzima/1 Kg de pulpa

[3] : Concentración de enzima 0,06%(v/p) 0,6 ml  
de enzima/1 Kg de pulpa

A diferencias de otras frutas el de banano no puede obtenerse simplemente exprimiendo o mezclando la pulpa debido a la alta viscosidad que posee, esta propiedad se debe a la pectina y en menor grado al bajo contenido de almidón que contiene la fruta madura (Soto, 1992).

Debido a estos problemas el uso de enzimas pectolíticas es parte integral de la tecnología moderna de los jugos de frutas, la contribución de las enzimas es muy importante para un procesamiento

rápido, para mayor rendimiento y asegurar la mejor calidad posible del producto terminado (Novo, 1986).

Los resultados del cuadro anterior fueron analizados estadísticamente mediante un diseño Bloque Completo al Azar con arreglo factorial  $3A \times 3B \times 3C$  con 2 repeticiones, el análisis de variancia se muestra en el cuadro 14.

Del cuadro 14, según los valores del ANVA, al nivel de 5% y 1% de probabilidad, se pudo observar que existe una alta significación estadística para todos los factores (Concentración de enzima [A], temperatura [B] y tiempo de hidrólisis [C] ) y entre los tratamientos; es decir los promedios de las evaluaciones entre los tratamientos.

Cuadro 14: Análisis de variancia de rendimiento de zumo extraído, por acción de la poligalacturonasa.

| FV          | GL | SC        | CM       | Fc      | Ft   |      | sig. |
|-------------|----|-----------|----------|---------|------|------|------|
|             |    |           |          |         | 5%   | 1%   |      |
| Bloque      | 1  | 0,0474    | 0,0474   | 0,0082  | 4,22 |      | NS   |
| Tratamiento | 26 | 1528,0633 | 58,7717  | 3,4923  | 1,91 | 2,52 | **   |
| A([enzima]) | 2  | 693,0099  | 346,5049 | 20,5899 | 3,35 | 5,49 | **   |
| B(temp.)    | 2  | 458,7878  | 229,3939 | 13,6309 | 3,35 | 5,49 | **   |
| C(tiempo)   | 2  | 175,8344  | 87,9172  | 5,2242  | 3,35 | 5,49 | **   |
| AB          | 4  | 29,1089   | 7,2772   | 0,4324  | 2,73 |      | NS   |
| AC          | 4  | 82,9522   | 20,7381  | 1,2323  | 2,73 |      | NS   |
| BC          | 4  | 30,9578   | 7,7394   | 0,4599  | 2,73 |      | NS   |
| ABC         | 8  | 57,4122   | 7,1765   | 0,4264  | 2,30 |      | NS   |
| Error       | 27 | 454,3800  | 16,8289  |         |      |      |      |
| Total       | 53 | 1982,4433 |          |         |      |      |      |

e

---

C.V.=12,96 %    R<sup>2</sup>=0,7708    Respuesta promedio: 31,6444

Indicando también la no existencia de diferencias estadísticas entre los bloques (repeticiones) e interacciones AB, AC, BC y ABC.

Se realizó la prueba de tukey, presentándose los resultados en el cuadro 15:

Cuadro 15: Promedios ordenados de la prueba de tukey al 5% de los rendimientos de zumo.

| Orden | FACTORES       |       |     |                |       |     |                |       |     |
|-------|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|
|       | A              |       |     | B              |       |     | C              |       |     |
|       | ([enzima)      |       |     | (temperatura)  |       |     | (tiempo)       |       |     |
| a     | x              | sig.  | b   | x              | sig.  | c   | x              | sig.  |     |
| 1     | a <sub>3</sub> | 35,16 | a   | b <sub>3</sub> | 35,06 | a   | c <sub>2</sub> | 33,32 | a   |
| 2     | a <sub>2</sub> | 33,04 | a b | b <sub>2</sub> | 31,93 | a b | c <sub>3</sub> | 32,48 | a b |
| 3     | a <sub>1</sub> | 26,73 | c   | b <sub>1</sub> | 27,94 | c   | c <sub>1</sub> | 29,14 | b c |

El análisis se realizó con un  $\alpha=0,05$ ; debido a que el factor A en sus niveles a<sub>3</sub> (0,6 ml. de enzima/Kg. de pulpa) y a<sub>2</sub> (0,3 ml. enzima/Kg. de pulpa) muestran mayor rendimiento superando estadísticamente al nivel a<sub>1</sub>; el factor B en sus niveles b<sub>3</sub> (60°C) y b<sub>2</sub> (50°C) muestran un mayor rendimiento superando al nivel b<sub>1</sub>; de igual forma el factor C en sus niveles

c<sub>2</sub> (90 min) y c<sub>3</sub> (120 min) no muestran diferencia, presentando ambos mayor rendimiento.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Días (1991), quien encontró que los rendimientos en la extracción de jugo de maracuyá, se incrementa a medida que se incrementa la concentración de enzima, tiempo de hidrólisis e incluso la temperatura de incubación.

Según Campos (1994), los tratamientos enzimáticos de la pulpa antes del prensado, son necesarios para la extracción de jugos de frutas ricos en pectinas. La acción mecánica sobre la fruta de un jugo muy viscoso, la pectina podría dar origen a una masa semigelificada que dificulta la extracción del jugo. Las enzimas pectolíticas degradan esta estructura gelificada y facilitan la extracción; además de mejorar favorece la extracción de pigmentos, sabores y aromas, mejorando así las características organolépticas del jugo.

De acuerdo a la prueba de tukey, la concentración de 0,06% y 0,03% son estadísticamente iguales; al igual que la temperatura de 60 °C y 50°C son iguales estadísticamente, y el tiempo de hidrólisis de 90 y 120 min.; ocupando el primer y segundo lugar respectivamente.

Debido a ello se decidió seleccionar la temperatura de 50°C, ya que a 60°C se empieza a perder algunas características organolépticas como sabor y aroma; en cuanto al tiempo de hidrólisis el tiempo óptimo es de 90 minutos ya que al aplicar más tiempo no vamos a obtener mayor rendimiento.

Con el fin de seleccionar la concentración de enzima más adecuada se realizó otra prueba, variando la concentración desde 0,02% a 0,06%, con un incremento de 0,01%, a 50°C/90 minutos; los resultados se muestran en el cuadro 16. Los rendimientos obtenidos como zumo turbio, fueron analizados estadísticamente, mediante un DCA; presentándose el análisis de variancia en el Anexo 2, el cual indicó diferencia altamente significativa, razón por la cual se aplicó la prueba de Tukey con un  $\alpha=0,05$ , determinándose que el mejor tratamiento fue cuando se utilizó concentraciones desde 0,03% á 0,06%; demostrándose lo mismo en la prueba de pectina y de yodo (cuadro 17). De acuerdo a estos resultados se decidió tomar la concentración de 0,03%, considerándose de que estos resultados están dentro de lo recomendado, 0,01% - 0,03% (Rohm Enzyme, 1978; Quest, 1995).

Cuadro 16: Rendimientos de zumo de pulpa de plátano isla, empleando diferentes concentraciones de enzima PG a 50°C y 90 min.

| Enzima (%) | Volumen *<br>extraído<br>(ml) | Peso *<br>del zumo<br>(gr) | Rendimiento (%) | Diferencia en<br>el rendimiento<br>(%) |
|------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|--|
| 0,02       | 70,0                          | 74,6                       | 74,60           | -3,30                                  |
| 0,03       | 71,8                          | 76,0                       | 76,00           | -1,90                                  |
| 0,04       | 72,0                          | 76,5                       | 76,50           | -1,40                                  |
| 0,05       | 72,5                          | 77,1                       | 77,10           | -0,80                                  |
| 0,06       | 73,0                          | 77,9                       | 77,90           | 0,00                                   |

\* : promedio de dos repeticiones

Cuadro 17. Resultados de la prueba de pectina y almidón

| Enzima (%) | Prueba de yodo<br>(Almidón) | Prueba de depectinación<br>(Pectina) |
|------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 0,02       | +                           | +                                    |
| 0,03       | -                           | -                                    |
| 0,04       | -                           | -                                    |
| 0,05       | -                           | -                                    |
| 0,06       | -                           | -                                    |

+ : presencia de pectina  
y almidón

- : ausencia de pectina  
y almidón

Debido a que en el zumo obtenido el pH no se encuentra dentro de los rangos establecidos por (Indecopi (Itintec, 1976)) que es de 3,5-4,0; se realizó una prueba organoléptica de preferencia cuyos resultados fueron analizados estadísticamente

mediante un DCA, el análisis de variancia se muestra en el Anexo 3. El cual indicó diferencia altamente significativa aplicándose la prueba de tukey al 5% de probabilidad, mostrando diferencias significativas con pHs 4,6 y 4,0; optándose por el pH 4,0 por ser un pH recomendado para zumos (Indecopi (Itintec, 1976)).

### **c. Diagrama de flujo final y balance de materia**

Para la obtención del zumo se utilizaron los parámetros que produjeron mayor rendimiento de zumo durante el tratamiento enzimático, los cuales fueron: Poligalacturonasa (E.C.3.2.1.15) al 0,03% (0,03 ml/100 g de pulpa), durante 90 minutos y a 50°C. Además se tuvo en cuenta la prueba de yodo y depectinación.

Seleccionándose de esta manera el tratamiento que produjo el zumo más estable, con un rendimiento por prensado de 76% y 66,86% por centrifugación. Este rendimiento está expresado en pulpa de plátano y peso de zumo (p/p).

#### **1) Diagrama de flujo y balance de materia**

En la figura 14, se muestran las operaciones y el balance de materia a partir de pulpa acondicionada

# PULPA ACONDICIONADA

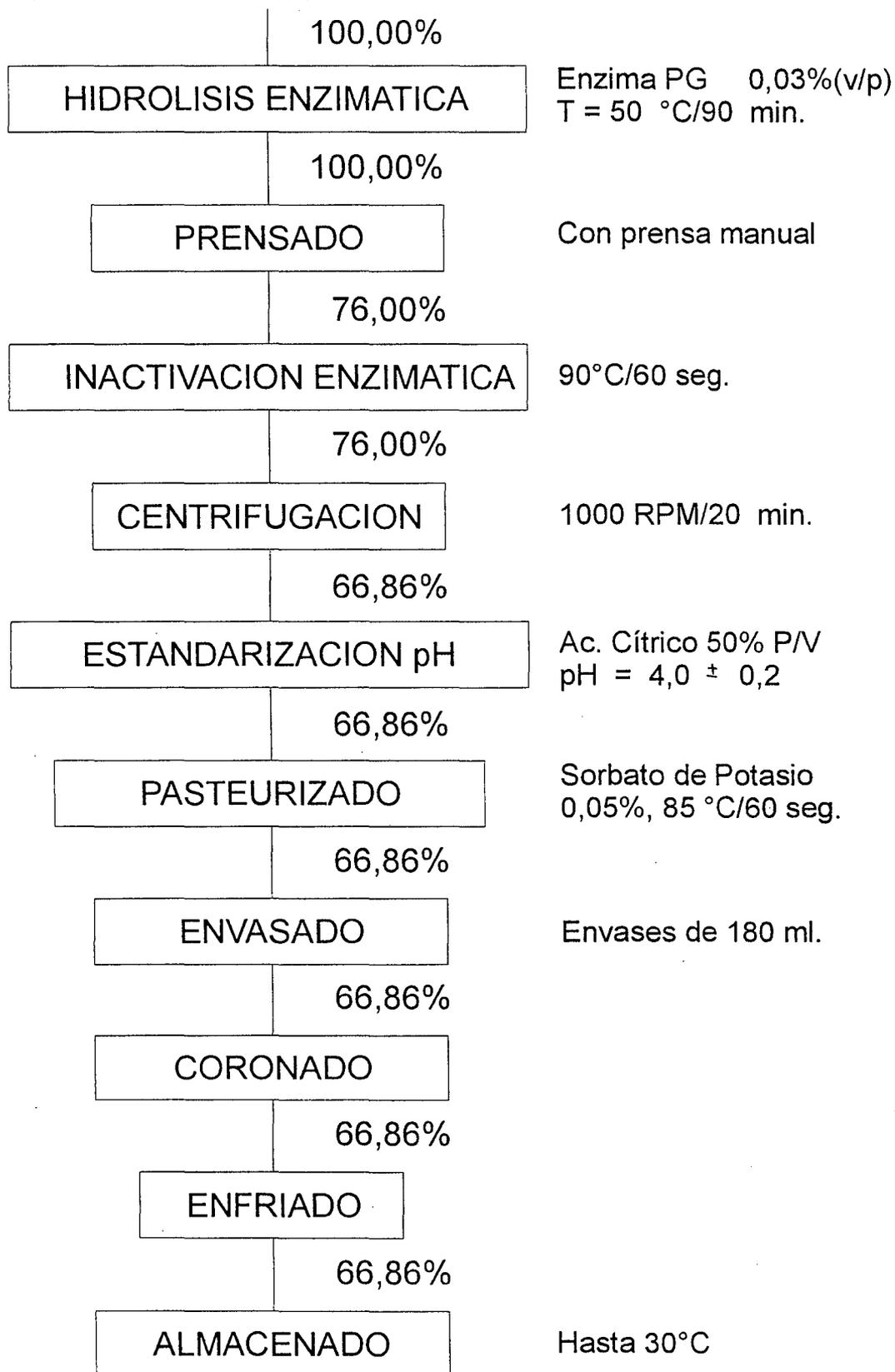


Figura 14: Flujoograma para la obtención de zumo de plátano isla, mediante hidrólisis enzimática de la pulpa.

para la obtención de zumo de plátano por hidrólisis enzimática de la pulpa; con sus respectivos parámetros tecnológicos en cada operación.

El balance de materia que se muestra es en base a 100 Kg. de pulpa acondicionada, donde se observa que la mayor pérdida se produjo en el prensado, obteniéndose un rendimiento en zumo de 66,86%.

## **2) Rendimiento**

En el cuadro 18, se muestran los rendimientos obtenidos por cada operación, teniendo como base 100 Kg de materia prima, el menor rendimiento por operación se obtuvo durante el pelado con 65,67%, seguido del prensado con 76%.

Cheffet (1980); Días (1991), reporta rendimientos en jugos mayores de 60% después de hidrolizar pulpas de frutas con enzimas pectolíticas.

Viquez (1979) citado por Soto (1992), reporta que utilizando enzimas pectolíticas se han obtenido los mayores rendimientos, 60% sobre el peso de la pulpa y de 35-45% sobre el peso de la fruta entera, el rendimiento que se obtuvo después de la centrifugación fue de 66,86%, que es mayor al 60% indicado por la bibliografía y el rendimiento en función del plátano entero fue de 39%.

Cuadro 18: Balance de materia y rendimiento por operación durante la obtención de zumo de plátano isla, base 100 Kg de plátano.

| Operaciones                  | Materia que<br>ingresa<br>(Kg) | Materia que<br>sale<br>(Kg) | Materia que<br>continúa<br>(Kg) | Rend.x<br>operac.<br>(%) |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Pesado                       | 100,00                         | --                          | 100,00                          | 100,00                   |
| Selección                    | 100,00                         | --                          | 100,00                          | 100,00                   |
| Lavado                       | 100,00                         | --                          | 100,00                          | 100,00                   |
| Pelado                       | 100,00                         | 34,33                       | 65,67                           | 65,67                    |
| Red. de tamaño<br>y refinado | 65,67                          | 7,34                        | 58,33                           | 88,82                    |
| Hidrólisis<br>enzimática     | 58,33                          | --                          | 58,33                           | 100,00                   |
| Prensado                     | 58,33                          | 14,00                       | 44,33                           | 76,00                    |
| Inactivación<br>enzimática   | 44,33                          | --                          | 44,33                           | 100,00                   |
| Centrifugado                 | 44,33                          | 5,33                        | 39,00                           | 87,97                    |
| Estandarización<br>pH        | 39,00                          | --                          | 39,00                           | 100,00                   |
| Pasteurizado                 | 39,00                          | --                          | 39,00                           | 100,00                   |
| Envasado                     | 39,00                          | --                          | 39,00                           | 100,00                   |
| Coronado                     | 39,00                          | --                          | 39,00                           | 100,00                   |
| Enfriado                     | 39,00                          | --                          | 39,00                           | 100,00                   |
| Almacenado                   | 39,00                          | --                          | 39,00                           | 100,00                   |

#### D. ASPECTOS REOLOGICOS DE LA PULPA Y DEL ZUMO

La figura 15, muestra la variación de la viscosidad durante el tratamiento enzimático a 50°C y a 0,03% de enzima, pudiéndose apreciar que esta disminuyó conforme transcurrió el tiempo, observándose este comportamiento cuando se trabaja a velocidades de 5 rpm presentando una viscosidad inicial de 30920 mPa.s, llegando hasta 9200 mPa.s después del tratamiento enzimático (Anexo 4).

En la figura 16, se presentan los diagramas reológicos de la pulpa de plátano antes y después del tratamiento enzimático ambos a 30°C; cuyos resultados se muestran en el Anexo 5, donde se aprecia en ambos casos las respectivas ecuaciones representativas, cuyos índices de flujo ( $n$ ) presentan valores de 0,26 y 0,19 respectivamente, este comportamiento corresponde a un fluido tipo pseudoplástico, ya que  $0 < n < 1$ .

Existiendo alimentos con comportamientos similares, como el puré de manzana con un  $n=0,30$  a 30°C, puré de plátano con un  $n=0,283$  a 22°C, jugo de naranja concentrado con un  $n=0,585$  a 25°C (Steffe, 1992; Rao, 1988).

Se conoce que la mayoría de los derivados de frutas son sistemas bifásicos compuestos de partículas sólidas,

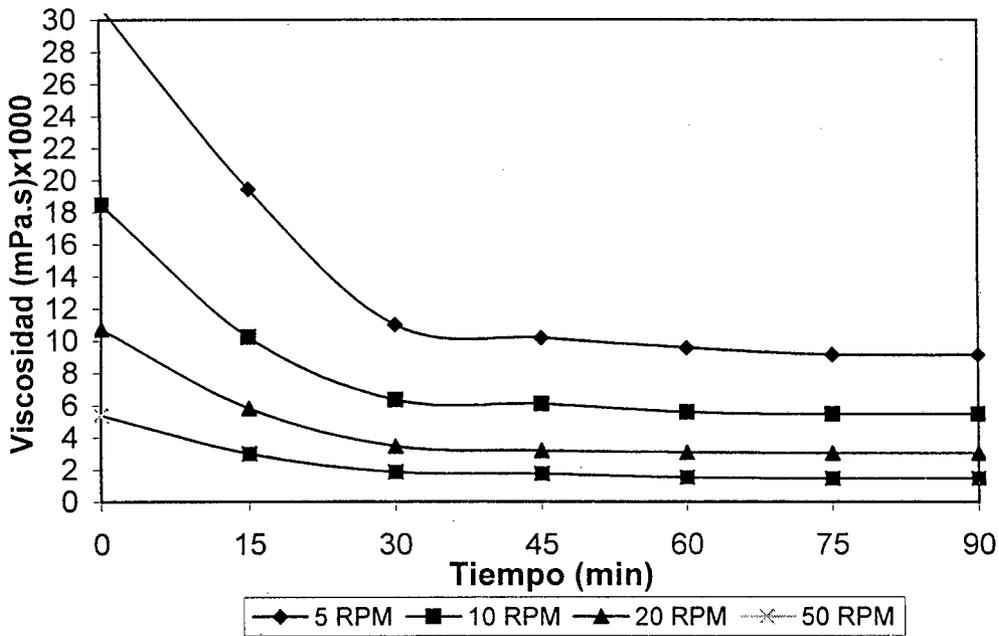


Figura 15: Variación de la viscosidad de la pulpa de plátano isla, por acción de la Poligalacturonasa (PG).

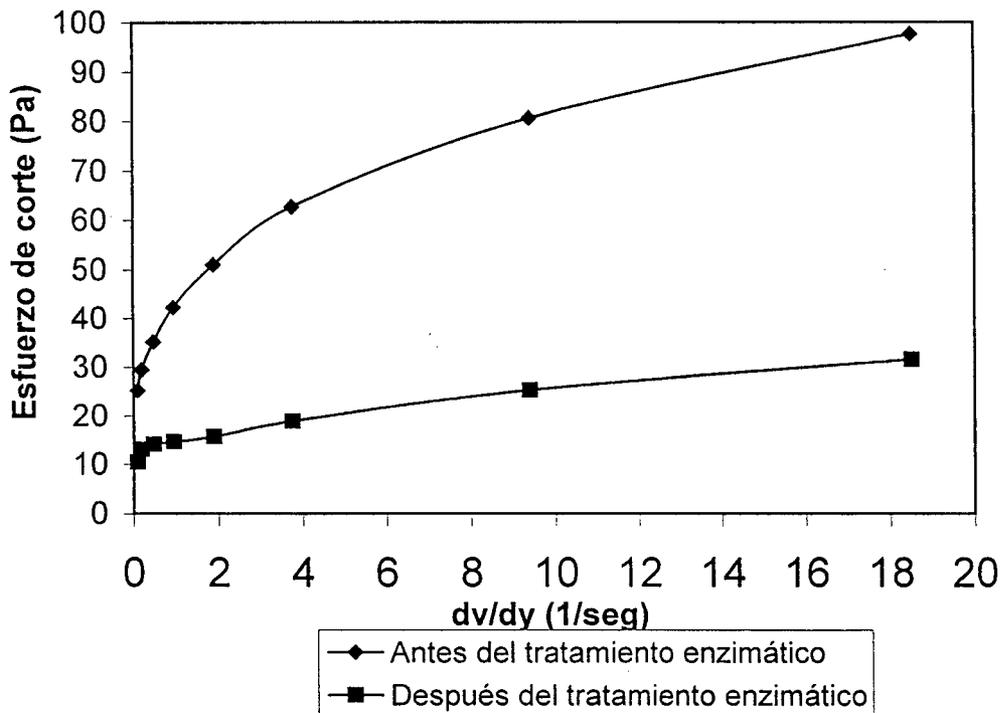


Figura 16: Diagrama reológico de la pulpa de plátano isla, antes y después del tratamiento enzimático.

dispersas en un medio acuoso, esta fase dispersante es una disolución acuosa de sólidos de bajo peso molecular (azúcares, sales y ácidos orgánicos) y alto peso molecular (pectinas), las pectinas imparten un comportamiento no newtoniano (Carbonell, 1990).

En la figura 16, se observa que la pulpa después del tratamiento enzimático requiere un menor esfuerzo de corte para presentar casi la misma velocidad de deformación, esto está relacionado con el rompimiento de las cadenas de pectinas, las que inicialmente forman con los agregados de pulpas una estructura reticular, que al romperse producen que la pulpa se disgregue en partículas más pequeñas con menor capacidad para ligar agua, provocando así la pérdida de la plasticidad y de la consistencia del producto (Carbonell, 1990).

El índice de consistencia ( $m$ ), antes del tratamiento enzimático es igual a  $43,45 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$  y después del tratamiento  $16,18 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ , esta reducción del índice de consistencia de la pulpa de plátano, coincide con el comportamiento del índice del puré de albaricoque, el cual disminuye cuando los materiales pécticos son degradados enzimáticamente (Rao, 1978).

Finalmente podemos decir que la pulpa de plátano, antes y después del tratamiento enzimático muestra reológicamente una marcada relación con la ley de la potencia dado los

coeficientes de correlación obtenidos. Pudiendo indicarse, que la pulpa de plátano es un fluido no newtoniano y pseudoplástico, tanto antes como después del tratamiento enzimático.

La viscosidad del zumo extraído fue determinado utilizando el viscosímetro capilar Cannon-Fenske N°100, cuyo factor es: 0,015 centiestokes/seg.; determinándose que la viscosidad del zumo es 2,02 centiestokes. con el fin de comparar la viscosidad en centipoise (mPa.s) se determinó la densidad del zumo, la cual fue de 1,10793 gr/cm<sup>3</sup> con la cual se determinó que la viscosidad es igual a 2,2380 centipoise (mPa.s), cuyo valor es mucho menor a la viscosidad encontrada en la pulpa tratada enzimáticamente.

## **E. CARACTERIZACION DEL ZUMO Y ALMACENAMIENTO**

Se almacenó durante 90 días, realizando evaluaciones cada 30 días, los resultados de los análisis físico químico, análisis sensorial y microbiológico se muestran en los cuadros 19, 20 y 21.

### **1. ANALISIS FISICO QUIMICO**

En el cuadro 19, se observa que el pH y la acidez total no experimentan cambios significativos tanto en las muestras almacenadas en refrigeración como los

almacenados a temperatura ambiente. Se observa que el contenido de Vitamina C, experimenta una notable disminución durante el almacenamiento, encontrándose al final del almacenamiento trazas.

Se sabe que el ácido ascórbico es muy lábil e inestable y puede ser degradado por muchas vías; siendo la oxidación y la degradación térmica los más importantes (Baduí, 1984).

Se ha reportado también que la estabilidad del ácido ascórbico aumenta a medida que disminuye la temperatura; también se aprecia que los azúcares reductores experimentan un ligero incremento, pero mayor en el zumo almacenado a temperatura ambiente, esto es debido a la hidrólisis de los almidones presentes en el zumo, así como a la inversión de la sacarosa, mediante el cual el disacárido se hidroliza bajo la acción de los ácidos débiles en sus componentes fructosa y glucosa, siendo estos dos últimos los responsables del pardeamiento no enzimático en razón que el grupo carbonilo libre muy reactivo que posee en su molécula (Fennema, 1993).

Cuadro 19: Análisis físico químico del zumo de plátano isla durante el almacenamiento.

| Componentes                                   | Temp.<br>(°C) | DIAS    |        |        |        |
|---|---------------|---------|--------|--------|--------|
|   |               | 0       | 30     | 60     | 90     |
| pH  | R             | 4,00    | 4,03   | 4,05   | 4,00   |
|   | A             | 4,00    | 4,00   | 4,02   | 4,00   |
| Acidez titulable<br>en ác. málico             | R             | 0,55    | 0,54   | 0,53   | 0,53   |
|   | A             | 0,55    | 0,55   | 0,55   | 0,54   |
| Vitamina C<br>mg ác. ascórbico                | R             | 1,95    | 0,80   | trazas | trazas |
|   | A             | 1,95    | 0,30   | trazas | trazas |
| Azúcares reductores<br>(gr glucosa/100 ml)    | R             | 22,60   | 22,78  | 23,31  | 23,81  |
|   | A             | 22,60   | 23,41  | 24,28  | 25,05  |
| Viscosidad<br>(Centistokes)                   | R             | 2,02    | 2,02   | 2,02   | 2,02   |
|   | A             | 2,02    | 2,02   | 2,02   | 2,02   |
| Absorbancia a<br>450 nm.                      | R             | 0,1518  | 0,1675 | 0,1675 | 0,1804 |
|   | A             | 0,1518  | 0,2839 | 0,3279 | 0,3279 |
| Transparencia<br>(transmitancia<br>a 620 nm.) | R             | 98,50   | 96,00  | 94,00  | 93,00  |
|   | A             | 98,50   | 90,00  | 85,00  | 84,50  |
| Densidad                                      |               | 1,10793 |        |        |        |

R : A temperatura de refrigeración, 4 °C

A : A temperatura ambiente, 25 °C

Longitud de máxima absorvancia para la pulpa de plátano: 450 nm. (Anexo 6).

Fennema (1993), reporta la excepcional susceptibilidad de la sacarosa a la hidrólisis que debe ser tomado en cuenta, siempre que este azúcar se encuentra presente

en un alimento. Cheftel (1980), manifiesta que la sacarosa sufre un proceso de hidrólisis lo que está favorecido por el pH ácido, la temperatura y el tiempo, produciéndose durante el almacenamiento. De esta forma el pardeamiento influye negativamente en la transparencia del zumo, el cual se puede notar en la variación de la transmitancia donde los cambios son mayores a temperatura ambiente; este cambio va asociado con la modificación del color del zumo, el cual es debido a la reducción de los azúcares.

Respecto a la viscosidad se puede apreciar que no muestra cambio alguno, durante el almacenamiento; lo cual indica que no hay presencia de enzima residual el mismo que fue inhibido durante el tratamiento térmico.

## **2. ANALISIS SENSORIAL**

El resultado de la evaluación sensorial se realizó después de 90 días de almacenamiento, donde se observa que el zumo de plátano isla tiene el siguiente calificativo para los siguientes atributos: sabor aroma, color y transparencia.

Cuadro 20: Resultados de la evaluación sensorial del zumo de plátano isla, almacenado 90 días.

| Atributos     | Puntajes (Promedios) |      | Calificativo |            |
|---------------|----------------------|------|--------------|------------|
|               | R                    | A    | R            | A          |
| Sabor         | 7,07                 | 6,73 | Bueno        | Aceptable  |
| Aroma         | 7,13                 | 6,53 | Bueno        | Aceptable  |
| Color         | 8,40                 | 7,47 | a. claro     | a. Intenso |
| Transparencia | 7,00                 | 8,93 | Moderad.     | Traslúcido |
|               |                      |      | traslúcido   |            |

a : Amarillo

Estos resultados fueron calificados mediante una escala hedónica de 9 puntos y con 15 panelistas semientrenados para ambas muestras; a refrigeración y ambiente. Según los puntajes promedio para sabor y aroma para las muestras almacenadas a refrigeración presentan un calificativo de bueno, mientras que las muestras almacenadas a temperatura ambiente presentan un calificativo de aceptable a bueno, de esto podemos decir que el mejor tratamiento fue el almacenado a temperatura de refrigeración.

Para el caso del color presentan amarillo claro e intenso respectivamente y para la transparencia; moderadamente traslúcido y traslúcido respectivamente.

### 3. ANALISIS MICROBIOLOGICO

En el cuadro 21, se muestran los resultados del análisis microbiológico, donde se observa que los zumos almacenados a ambas temperaturas, no presentaron presencia de microorganismos aerobios viables, mohos y levaduras. Lo que confirma la efectividad del pasteurizado, la acción del preservante (sorbato de potasio) y la hermeticidad del envase que no permiten contaminación; aunque Mossell (1985), asegura que es frecuente encontrar mohos y levaduras en zumos de frutas.

Cuadro 21: Análisis microbiológico del zumo de plátano isla durante el almacenamiento.

| Determinaciones                           | T emp.<br>°C | Días |     |
|---|--------------|------|-----|
|   |              | 0    | 90  |
| Numeración de m.o.<br>aerobiosviables (*) | R            | ---  | --- |
| Numeración de mohos<br>y levaduras (*)    | A            | ---  | --- |

\* : u.f.c/ml.

--- : negativo, (<1/ml)

R : temperatura de refrigeración

A : temperatura ambiente

## V. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos podemos indicar las siguientes conclusiones:

1. De siete (7) tipos de plátanos se seleccionó el plátano isla, cuya pulpa no presentó pardeamiento oxidativo después del pulpeado, con un rendimiento de zumo de 69,66% en función a la pulpa.
2. Se determinó que la pulpa de plátano con un índice de madurez de 57,00 presentó mejores condiciones para la obtención de zumo, caracterizándose por presentar un 72,76% de humedad y 24,98% de carbohidratos, y los demás componentes en pequeñas cantidades.
3. La actividad de la Poligalacturonasa (E.C. 3.2.1.15) fue de 292 U/ml, obteniéndose un zumo más estable a la sedimentación y un rendimiento de 66,86% sobre el peso de la pulpa y 39% sobre el peso de la fruta entera, cuando se utilizó 0,03% de enzima a 50°C/90 minutos de hidrólisis y a pH 4,0.
4. La pulpa antes y después del tratamiento enzimático se caracterizó reologicamente por ser fluidos que siguen la ley de la potencia presentando un comportamiento pseudoplástico ( $n$ ) 0,26 y 0,19 respectivamente, con pérdida del índice de consistencia ( $m$ ) de 43,45 Pa.s<sup>n</sup> á 16,18 Pa.s<sup>n</sup>.

5. Se determinó que el zumo almacenado durante 90 días a refrigeración (4°C) presentó mayor estabilidad ya que las características físico químicas no presentaron variaciones significativas. Calificándose sensorialmente por su buena aceptación, destacando el zumo almacenado a refrigeración.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Utilizar el zumo de plátano isla como bebidas refrescantes, gaseosas, etc. con una relación de dilución 1:1.
2. Efectuar trabajos de investigación tomando como materia prima el zumo de plátano isla, por su elevado contenido en azúcares, en la obtención de jarabes, en la fabricación de licor, sustrato para el cultivo de levaduras, entre otros.
3. Realizar trabajos de investigación con diferentes concentraciones de sorbato de potasio hasta 0,05%.

## VII. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María.

Teniendo como objetivo seleccionar y caracterizar química y físico químicamente un tipo de plátano y determinar el efecto de la enzima PG sobre la pulpa para obtener zumo, el cual será caracterizado físico químicamente, microbiológicamente y sensorialmente durante el almacenamiento.

Se utilizó siete (7) tipos de plátano (*musa sp*) al estado maduro, del cual se seleccionó el plátano isla por su mejor rendimiento en zumo, utilizando para el tratamiento enzimático y la obtención de zumo con un índice de madurez de 57; con un contenido de humedad de 72,76% y de 24,98% de carbohidratos.

La actividad de la PG fue de 292 U/ml. a 30°C y pH 5,0, utilizando el método Iodimétrico. El mejor resultado se obtuvo al hidrolizar la pulpa con 0,03% de PG, a 50°C/90 min. y a pH 4,0; ya que es el más estable y con muy poca sedimentación; con el cual se logró un rendimiento de 76% después del prensado y 66,86% después del centrifugado, en base a pulpa acondicionada.

La pulpa antes y después del tratamiento enzimático se caracterizó por ser fluido que sigue la ley de la potencia presentando un comportamiento pseudoplástico.

El zumo fue almacenado en frascos de vidrio transparente de 180 ml por 90 días, seleccionándose como el más estable los zumos almacenados a refrigeración (4°C), caracterizándose sensorialmente como bueno, en los atributos sabor y aroma, presentando un color amarillo (absorbancia 450 nm.) y transparencia moderadamente traslúcido (transmitancia a 620 nm.).

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- ADRIAN, J.; FRANGNE, R. 1990. La Ciencia de los Alimentos de la A a la Z, Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España. 317 p.
- ANZALDUA, M.A. 1994. La Evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 198p.
- A.O.A.C. 1984. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 10 ed. EEUU.
- A.O.A.C. 1997. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 16 ed. Vol. I y II. EEUU.
- ATKINSON, B.; MAVITUNA, F. 1985. Biochemical engineering and biotechnology handbook. Ed. the Nature Press. EEUU y Canada. pp. 465-477.
- BADUI, S. D. 1984. Química de los alimentos. 3era edición. Ed. Alhambra S.A.; México. 648p.
- BARBOZA-CANOVAS, G.; IBARZ, A.; PELEG, M. 1993. Propiedades reológicas de alimentos fluidos. Revisión In Alimentaria, Abril. pp. 39-89.
- BELALCAZAR, C. 1991. El cultivo del plátano en el trópico. Armenia. Ed. Ica. Colombia. 375p.
- BELITZ, H.; GROSCH, W. 1988. Química de alimentos. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España. 813p.

- BEN-SHALOM, N. 1986. Pectolytec enzymes studies for pecting of grapefruit segment membrane. J. Food Sci. 51(2): 21-423.
- BRAVERMAN, J. B. 1980. Introducción a la bioquímica de los Alimentos. Trad. Q. I. Fernando A. Hill. Ed. Manual Moderno México. 358p.
- BREKKE, J. 1969. stable banana puree for long term. Refrigerated storage. In Journal science fd. Agric. V 20. USA. 10p.
- BRITO DE LA FUENTE. 1995. Memorias del curso. Reología y su aplicación al procesamiento de alimentos. Julio 4 al 7. México. 101p.
- CAMPOS, G. B. 1994. Uso de enzimas en la Industria Alimentaria. UNA LA MOLINA. Lima, Perú. 65p.
- CARBONELL, B.; COSTELL, I.; DURAN, H. 1990. Influencia de la composición en el comportamiento de flujo de los productos derivados de fruta. Revisión bibliográfica. In Alimentos, N°4, Vol. 15. pp. 55-61.
- CESARE, G. 1974. El Cultivo del Plátano. Resumen del Curso de Capacitación Agrícola en Tingo María. 25p.
- CHEFTEL, J. C. y CHEFTEL, H. 1980. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza. España. Vol. I. pp. 152-153, 189, 162-166, 202 - 204. Vol. II. pp. 304-308.

- CHITARRA, M. 1990. Pos colheita de frutos e hortaliças, fisiologia e manuseio. Ed. LAVRAS:ESAL/FAEPE. Brasil. pp. 49-54, 235-239.
- COLA, G.; NEGRI, G. y CAPELLETI, C. 1965. Tratado de Botánica. 2a ed. Barcelona, España.
- COLLAZOS, C. C. et al. 1993. La Composición de los Alimentos de mayor consumo en el Perú. 6a ed. Ministerio de Salud. Instituto Nacional de Nutrición. Lima, Perú.
- DANIEL, W. 1996. Bioestadística, base para el análisis de las ciencias de la salud. Ed Limusa S.A. México D.F. pp.383-396.
- DIAS, R. A. T. 1991. Uso de enzimas en el procesamiento de jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*). Tesis Industrias Alimentarias. UNA La Molina. Lima. 86 p.
- DZIEZAK, J. D. 1991. Enzymes: Catalysts for Food Processes. Food Technol. Enero 77-85.
- FELLOWS, F. 1994. Tecnología del procesado de los alimentos. Principios y prácticas. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 550p.
- FENNEMA, O. R. 1993. Química de los alimentos. Ed. Acribia S.A. Zaragoza. España. 1070p.
- FURIA, T. 1972. CRC Handbook of food additives. 2da edición. Ed. CRC Press, Inc. Vol. I. EE.UU. pp. 27-52.
- GARCIA, G.; QUINTERO, R.; LOPEZ-MUNGUÍA, C. 1993. Iotecnología alimentaria. Ed. Limusa. S. A. México, 636p.

- GACESA, P. y HUBBLE, J. 1991. Tecnología de enzimas. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España. 206 p.
- GEANKOPLIS, C. 1995. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 2da. Edición. Cia. Editorial Continental, S.A. México. pp. 66-70.
- GIST BROCADES, 1991. Rapidace C 80. Información Técnica. Food Ingredients División. Seclin Cedex. Francia. 2p.
- GORDON, M.; MACRAE, R. 1987. Instrumental analysis in the biological sciences. Ed Blackie. Great Britain. pp. 92-116.
- HART, F. L.; FISHER, H. J. 1994. Análisis Moderno de los Alimentos. Trad. por Dr. Justino Burgos Gónzales. De. Acribia. Zaragoza, España. 619p.
- ICMSF. 1983. Microorganismos de los alimentos 1. Técnicas de análisis microbiológicos. Ed. Acribia. Zaragoza. España. 413p.
- INDECOPI. 1976. Norma Técnica, Lima - Perú. 10p. LEWIS, M. 1993. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Ed Acribia S.A. Zaragoza, España. pp. 101-132.
- MADDEN, D. 1991. In a jam and out of juice. NCBE Newsletter, Winter. pp. 1-5.
- MADRID, V. 1994. Métodos Oficiales de Análisis de los Alimentos. De. Mundi - Prensa, Libros S.A. Madrid, España. pp. 325.

MAYES, P.A. et al. 1988. Bioquímica de Harper. Ed. El Manual Moderno, S.A. de C.V. México pp. 68-69.

MILLER, G.L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry. 31(3): 426-428.

MINISTERIO DE ALIMENTACION. 1976. I Cursillo sobre Tecnificación del Cultivo de Plátano en el Trópico. UNAS. Estación Experimental Tulumayo. Tingo María, Perú.

MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1998. Producción Hortofrutícola. Oficina de información agraria. Lima, Perú. Diciembre.

MITSCHKA, P. 1982. Simple conversion of Brookfield R.V.T. readings into viscosity functions. In AR-82, Rheologica acta 21,207. Institute of Chemical Process Fundamentals, Czechoslovak Academy of Sciences, Prague. pp. 207-209.

MONTEIRO, S. 1993. Transformacoes bioquimicas. pp. 19-38. In curso internacional Poscosecha de Frutas y hortalizas, 18-27 de Octubre de 1993. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

MOSSEL, D.; MORENO, G. 1985. Microbiología de los Alimentos. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España. 375 p.

NELSON, P.; TRESSLER, D. 1980. Fruit and vegetable juice processing technology. 3ra edición. Ed. AVI Publishing Company EE.UU. pags. 413,414.

NEUFELD, E. et al. 1968. Methods in Enzymology, complex carbohydrates. Ed. Academic Press. 2da. Edición. EE.UU. pp. 628-641.

- NOVO INDUSTRI A/S ENZYMES DIVISION BAGSVAERD. 1986. Novo's Handbook of Practical Biotechnology. Edited by C.O.L. Boyce. 125 p.
- OSORIO, L. 1990. Reología en alimentos. I Parte: Aspectos reológicos de alimentos fluidos. In Alimentos N°4, Vol. 15. pp. 33-36.
- PELAEZ, S.P.P. 1998. Estudio del Tratamiento Enzimático y Viscosidad de la Pulpa de plátano Tipo Seda (*Musa acuminata*) en la obtención de jarabe. Tesis grado Magister. Industrias Alimentarias, UNA La Molina. Lima, Perú.
- PEARSON, D. 1981. Técnicas de la laboratorio para el análisis de los alimentos. Ed. Acribia S.A. Zaragoza. España.
- PILNIK, W.; ROMBOOTS, F. 1978. Pectic enzymes. Department of Food Science, Agricultural University, Wageningen. The Netherlands. pp. 109-126.
- PONCE, R. F. C. 1996. Obtención de jugo de papaya (Carica papaya L.), utilizando enzimas pectolíticas. Tesis. Ing. Ind. Aliment. UNAS. Tingo María.
- RAMETTE, R. 1983. Equilibrio y análisis químico. Ed. Fondo educativo Interamericano S.A. EE.UU. pp. 134-169.
- QUEST INTERNACIONAL. sin fecha hoja técnica Biopectinace-LM, General Description.
- QUINTERO, R.R. 1987. Ingeniería Bioquímica. Ed Alhambra S.A. de C.V. México 332 p.

- RANGANA, S. 1979. Manual of analysis of fruit and vegetable products. 2da Impresión. De. McGraw-Hill Published Company limited. New Delhi. pp. 21-54.
- RAO, M.; RIZVI, S. 1988. Engineering propertues of foods. De Marcel Dekker Inc. EEUU. pp. 1-48.
- ROHM ENZYME. 1978. Technical information 1.1.1. Tratamiento enzimático de la pulpa de manzana. Diciembre. Kirschenallee, Postfach 4242.
- RHOM ENZYME. 1978. Technical information 1.0. Test de alcohol para controlar restos de pectina en zumos de fruta. Diciembre. Kirschenallee, Postfach 4242.
- RHOM ENZYME. 1980. Technical information 1.1.1. Test with free-run juice to evaluate pressability of apple mash. July. Kirschenallee, Postfach 4242.
- ROBINSON, D.S. 1991. Bioquímica y valor nutritivo de los Alimentos. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España. 516 p.
- ROYO, I. J. 1977. Contenido de pectina de las fases líquidas y sólidas del zumo de naranja y del extracto acuoso de la corteza. Rev. Agroquímica y Tecnología Alimentaria. 17 (1): 79 - 85.
- SALAS, R. 1979. Estudio de procesamiento de pulpa de plátano. tesis Industrias Alimentarias. UNA La Molina. Lima, Perú.
- SCHMIDT, H.H.; PENNACHIOTTI, M.I. 1982. Las enzimas en los alimentos. Su importancia en la química y tecnología de los alimentos. Fundación Chile. 93p.

- SCRAGG, A. 1996. Biotecnología para ingenieros. Sistemas biológicos en procesos tecnológicos. Ed Limusa S.A. España. pp. 177-188.
- SCRIBAN, R. 1988. Biotecnología. 2da. edición. Ed. El Manual Moderno. México, D.F. 669 p.
- SEGEL, I.H. 1982. Cálculos de Bioquímica. Ed. Acribia S.A. Zaragoza. España. 564 p.
- SHEWFELT, R. L. 1993. Postharvest handling a systems. Approach. Ed. Academic Press. Inc. Estados Unidos.
- SIMONDS, N. 1973. Los plátanos. Ed. Blume. Barcelona, España.
- SOTO, B. M. 1992. Bananos. Cultivo y comercialización. segunda ed. Editorial LIL S.A. Costa Rica 649 p.
- STEFFE, J. 1992. Rheological methods in food process engineering. Ed. Freeman Press, Michigan, USA. pp. 103 - 113.
- VERSTEG, C.; ROMBOUTS, F.; SPAANSEN, C.; PILNIK, W. 1980. Thermostability and orange juice cloud destabilizing properties of multiple pectinesterases from orange. In Journal of food science. Vol.45, N°4. EE.UU. pp. 969-971.
- VIDAL, T. 1994. Conservación de la pulpa de plátano var. guayabo (*Musa balbisiana*) y var. seda (*Musa acuminata*) por conservadores químicos. Tesis Ing. Industrias Alimentarias, UNAS. Tingo María. Perú.
- VIQUEZ, F.; LASTRETO, C.; COOKE, R. 1981. A study of the production of clarified banana juice using pectolytic

enzymes. In Journal food Technology. Vol. 16 No 2. EEUU.  
pp.115-125.

WISEMAN, A. 1991. Manual de biotecnología de las enzimas.  
Ed. acribia, S.A. Zaragoza, España. 444 p.

WITTIE, E.P. 1984. Evaluación sensorial una metodología  
actual para tecnología de alimentos. Universidad de  
Chile. 134 p.

## **IX. ANEXO**



ANEXO 2

Cuadro 22: Análisis de variancia del rendimiento de zumo extraído empleando diferentes concentraciones de PG.

| Fuente      | G.L. | SC     | CM    | Fc      | Ft   |       | sig |
|-------------|------|--------|-------|---------|------|-------|-----|
|             |      |        |       |         | 5%   | 1%    |     |
| Modelo      | 4    | 12,296 | 3,074 | 24,0156 | 5,19 | 11,39 | **  |
| Tratamiento | 4    | 12,296 | 3,074 | 24,0156 | 5,19 | 11,39 | **  |
| Error       | 5    | 0,640  | 0,128 |         |      |       |     |
| Total       | 9    | 12,936 |       |         |      |       |     |

|        |        |                    |
|--------|--------|--------------------|
| R2     | C.V.   | Respuesta promedio |
| 0,9505 | 0,4680 | 76,4200            |

Cuadro 23: Resultados de la prueba de tukey con un  $\alpha=0,05$ , para evaluar los rendimientos de extracción de zumo, utilizando la enzima PG en diferentes concentraciones.

| Agrupación de Tukey | Promedio (%) | Tratamiento [E] |
|---------------------|--------------|-----------------|
| A                   | 77,90        | 5 (0,06%)       |
| A B                 | 77,10        | 4 (0,05%)       |
| A B                 | 76,50        | 3 (0,04%)       |
| A B                 | 76,00        | 2 (0,03%)       |
| C                   | 74,60        | 1 (0,02%)       |

ANEXO 3

Cuadro 24: Analisis de variancia de la evaluación sensorial de preferencia (atributo sabor).

| Fuente      | G.L. | SC                 | CM    | Fc    | Ft   |      | sig |
|-------------|------|--------------------|-------|-------|------|------|-----|
|             |      |                    |       |       | 5%   | 1%   |     |
| Modelo      | 2    | 7,514              | 3,757 | 14,62 | 3,35 | 5,49 | **  |
| Tratamiento | 2    | 7,514              | 3,757 | 14,62 | 3,35 | 5,49 | **  |
| Error       | 27   | 6,936              | 0,257 |       |      |      |     |
| Total       | 29   | 14,450             |       |       |      |      |     |
| C.V.        |      | Respuesta promedio |       |       |      |      |     |
| 25,35       |      | 2,0                |       |       |      |      |     |

Cuadro 25: Resultados de la prueba de tukey con un  $\alpha=0,05$ , para el atributo sabor.

| Agrupación de Tukey | Promedio | Tratamiento |
|---------------------|----------|-------------|
|                     | (%)      | (pH)        |
| A                   | 1,4      | 1(4,6)      |
| A B                 | 1,8      | 2(4,0)      |
| C                   | 2,8      | 3(3,5)      |

ANEXO 4

Cuadro 26: Resultados de la variación de la viscosidad de la pulpa de plátano en el tratamiento enzimático.

Temperatura = 50°C

[]Enzima = 0,03%

Viscosímetro Brookfield RVT

spindle de disco N°5

Lectura del dial (\*) x FACTOR = Viscosidad en Centipoise (Cp)

ó (mPa.s). (Mitschka, 1982).

(\*) : promedio de dos repeticiones

| Tiempo<br>minutos | Velocidad angular (RPM) |        |        |       |
|-------------------|-------------------------|--------|--------|-------|
|                   | 5                       | 10     | 20     | 50    |
|                   | Viscosidad (mPa.s)      |        |        |       |
| 0                 | 30 920                  | 18 440 | 10 720 | 5 372 |
| 15                | 19 440                  | 10 240 | 5 820  | 3 000 |
| 30                | 11 000                  | 6 340  | 3 460  | 1 860 |
| 45                | 10 200                  | 6 100  | 3 200  | 1 760 |
| 60                | 9 600                   | 5 600  | 3 100  | 1 540 |
| 75                | 9 200                   | 5 500  | 3 050  | 1 480 |
| 90                | 9 200                   | 5 500  | 3 050  | 1 480 |

## ANEXO 5

### DETERMINACION DE DIAGRAMAS REOLOGICOS

AUTOR: Mitschka (1982)

#### PRINCIPIO

Este procedimiento está basado en estudios teóricos de flujos rotacionales de materiales complejos reológicamente, al rededor de cuerpos con geometria simple en la configuración de viscosímetros básicos. Las aplicaciones reométricas de estos estudios permiten contar con unas cuantas reglas empíricas, los cuales hacen posible la obtención de resultados concretos, para sistemas asimétricos reales tipo "spindle rotacional - recipiente de la muestra", tal como en la configuración de las secciones de medición Brookfield RVT.

#### PROCEDIMIENTO

Para determinar el esfuerzo de corte ( $\tau$ ) y velocidad de corte ( $dv/dy$ ) se siguió los pasos:

1.  $N_i$  : Velocidad angular en RPM  
 $\alpha_i$  : Lectura del dial

2.  $\tau_i = K_{at} \cdot \alpha_i$

donde:

$\tau_i$  : Esfuerzo de corte (en Pa)

$K_{at}$  : Según la tabla 1; para spindle N° 5 = 1,05

3. Luego se saca el log de  $\tau_i$  y de  $N_i$ , luego se hace un análisis de regresión lineal, se verifica el  $r^2$  (debe ser

Tabla 1: Conversion factos for the spindles of the Brookfield RVT viscometer

| Spindle number |     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
|----------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kat            |     | 0,035 | 0,119 | 0,279 | 0,539 | 1,05  | 2,35  | 8,4   |
| n=             | 0,1 | 1,728 | 1,431 | 1,457 | 1,492 | 1,544 | 1,366 | 1,936 |
|                | 0,2 | 0,967 | 0,875 | 0,882 | 0,892 | 0,907 | 0,851 | 1,007 |
|                | 0,3 | 0,705 | 0,656 | 0,656 | 0,658 | 0,663 | 0,629 | 0,681 |
|                | 0,4 | 0,576 | 0,535 | 0,53  | 0,529 | 0,528 | 0,503 | 0,515 |
|                | 0,5 | 0,499 | 0,458 | 0,449 | 0,445 | 0,442 | 0,421 | 0,413 |
|                | 0,6 | 0,449 | 0,404 | 0,392 | 0,387 | 0,382 | 0,363 | 0,346 |
|                | 0,7 | 0,414 | 0,365 | 0,35  | 0,343 | 0,338 | 0,32  | 0,297 |
|                | 0,8 | 0,387 | 0,334 | 0,317 | 0,31  | 0,304 | 0,286 | 0,261 |
|                | 0,9 | 0,367 | 0,31  | 0,291 | 0,283 | 0,276 | 0,26  | 0,232 |
|                | 1,0 | 0,351 | 0,291 | 0,27  | 0,262 | 0,354 | 0,238 | 0,209 |

próximo a 1), la pendiente de la recta viene a ser "n" (índice de flujo).

4. Se calcula  $dv/dy$ , teniendo en cuenta el valor de "n" encontrado y la relación con los valores de  $Kny$  de la tabla 1, determinando  $Kny$ , de esta manera utilizando la fórmula:  $dv/dy = Kny(n)Ni$

Donde:

$dv/dy$  = Velocidad de corte en 1/s

5. Aplicando la ley de la potencia y regresionando linealmente  $\log \tau$  vs  $\log dv/dy$  se determina el índice de consistencia (m) (verificando  $r^2$  cercano a 1).

Ley de la potencia:  $\tau = m(dv/dy)^n$

donde: m = índice de consistencia (viscosidad aparente)

n = índice de flujo

Las ecuaciones de la figura 16, se presenta a continuación:

Para el diagrama reológico de la pulpa antes del tratamiento enzimático

$$\tau = 43,45 (dv/dy)^{0,26}$$

$$r^2 = 0,996$$

Para el diagrama reológico de la pulpa después del tratamiento enzimático

$$\tau = 16,18 (dv/dy)^{0,19}$$

$$r^2 = 0,93$$

Cuadro 27 : Resultados para el diagrama reológico de la pulpa  
antes del tratamiento con PG.

Temperatura = 30°C

Viscosímetro Brookfield RVT

Spindle de disco N°5

| Veloc. Angular<br>RPM | Lectura del<br>dia. ( $\alpha_i$ )* | Esfuerzo de<br>Corte Pa ( $t_i$ ) | Log Ni | Log $t_i$ | Velocidad de<br>corte (1/s) | Log (dv/dy) |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------|-----------|-----------------------------|-------------|
| 0,5                   | 24,00                               | 25,2                              | -0,301 | 14,014    | 0,0989                      | -10,049     |
| 1,00                  | 28,1                                | 25,51                             | 0      | 14,067    | 0,1978                      | -0,7039     |
| 2,5                   | 33,5                                | 35,18                             | 0,3979 | 15,463    | 0,4944                      | -0,3059     |
| 5,00                  | 40,25                               | 42,26                             | 0,6989 | 16,259    | 0,9888                      | -0,0049     |
| 10,00                 | 48,6                                | 51,03                             | 1      | 17,078    | 19,776                      | 0,2961      |
| 20,00                 | 59,75                               | 62,74                             | 0,301  | 17,975    | 39,551                      | 0,5972      |
| 50,00                 | 76,75                               | 80,59                             | 16,989 | 19,063    | 98,878                      | 0,9951      |
| 100,00                | 93,00                               | 97,65                             | 2      | 19,897    | 197,756                     | 12,961      |

Cuadro 28 : Resultados para el diagrama reológico de la pulpa  
después del tratamiento con PG,

Temperatura = 30°C

Viscosímetro Brookfield RVT

Spindle de disco N°5

| Veloc, Angular<br>RPM (Ni) | Lectura del<br>dial( $\alpha_i$ )* | Esfuerzo de<br>Corte Pa (ti) | Log Ni | Log ti | Velocidad de<br>corte (1/s) | Log (dv/dy) |
|----------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------|--------|-----------------------------|-------------|
| 0,50                       | 10,00                              | 10,5                         | -0,301 | 10,212 | 0,09                        | -10,458     |
| 1,00                       | 12,5                               | 13,12                        | 0      | 11,179 | 0,18                        | -0,7447     |
| 2,5                        | 13,5                               | 14,18                        | 0,3979 | 11,517 | 0,45                        | -0,3466     |
| 5,00                       | 14,00                              | 14,7                         | 0,6989 | 11,673 | 0,9                         | -0,0458     |
| 10,00                      | 15,00                              | 15,75                        | 1      | 11,973 | 1,8                         | 0,2553      |
| 20,00                      | 18,00                              | 16,9                         | 0,301  | 12,765 | 3,6                         | 0,5563      |
| 50,00                      | 24,00                              | 25,2                         | 16,989 | 14,014 | 9,0                         | 0,9542      |
| 100,00                     | 30,00                              | 31,5                         | 2      | 14,903 | 18,0                        | 12,553      |

## ANEXO 6

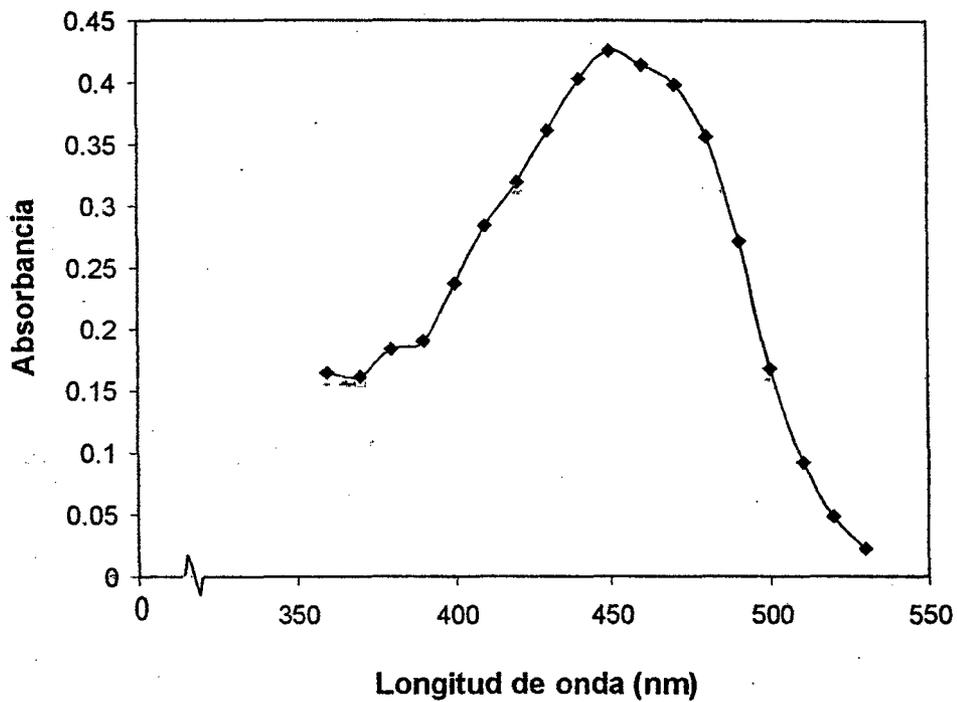
### ESPECTRO DE ABSORCION DE PULPA DE PLATANO ISLA

Cuadro 29: Variación de la absorbancia de la pulpa de plátano isla en estado fresco lixiviando durante 1 hora con etanol (relación fruta/solvente 5/25 en p/v)

| Longitud de onda (nm) | Absorvancia |
|-----------------------|-------------|
| 360                   | 0,1643      |
| 370                   | 0,1612      |
| 380                   | 0,1837      |
| 390                   | 0,1904      |
| 400                   | 0,2366      |
| 410                   | 0,2840      |
| 420                   | 0,3188      |
| 430                   | 0,3615      |
| 440                   | 0,4034      |
| * 450                 | 0,4760      |
| 460                   | 0,4145      |
| 470                   | 0,3979      |
| 480                   | 0,3565      |
| 490                   | 0,2716      |
| 500                   | 0,1675      |

Grado de madurez: maduro

Se realizaron lecturas de absorvancia utilizando un espectrofotómetro molecular, modelo Espectronic 20, marca Bausch & Lomb.; tomando como blanco agua destilada, obteniendo una máxima absorvancia en 450 nm de longitud de onda, que equivale al color amarillo en el espectro de radiación electromagnética.



**Figura 17: Curva de espectro de absorción de máxima absorbancia**