

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Efecto del Estado de Madurez del Banano Cavendish en las
Propiedades de Hidratación de la Harina y Gel”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Tesis de Grado

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA DE ALIMENTOS

Presentada por:

Viviana Karina Rivera Flores

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2014

AGRADECIMIENTO

A Dios, por concederme la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida profesional. Por ser mi fuente de amor, inspiración y fortaleza en todo momento.

A mi familia, por su apoyo y ejemplo, los que me impulsaron a creer en mis sueños y a luchar por ellos con entrega y determinación.

A todos mis amigos, en quienes siempre encontré el impulso para seguir adelante; en especial a mi mejor amigo, Fernando, por acompañarme en cada paso brindándome su apoyo y aliento incondicional.

A mi directora, MSc. Fabiola Cornejo, por su constante guía, confianza y compromiso en cada etapa de la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

A Dios

A mi familia

A mis amigos

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



M.Sc. Jorge Duque R.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



M.Sc. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTORA DE TFG



Dra. Olga Sánchez C.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este TFG me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Viviana Karina Rivera Flores

RESUMEN

Este trabajo basó su estudio en la harina de banano –en sus primeros estados de madurez- como ingrediente potencial en la producción pan, considerando sus propiedades de hidratación y formación de gel. Para esto, se planteó la hipótesis nula de que no existe diferencia significativa entre las propiedades de hidratación de la harina y gel de los estados de madurez 1, 2 y 3 del banano variedad Cavendish. En otras palabras, se buscó determinar si el estado de madurez influye significativamente en las propiedades de hidratación de la harina y la formación del gel.

Es así como fueron aplicados tres métodos para comparar las propiedades de hidratación de la harina: capacidad de retención de agua, volumen de hinchamiento y capacidad de ligación de agua. Asimismo, se realizaron tres métodos para propiedades de hidratación del gel: índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y capacidad de absorción de aceite.

Con el manejo del software Statgraphics Centurion XVI para la tabulación de datos, se cumplió el objetivo planteado empleando pruebas de rangos múltiples con 95 % de confianza. De la misma manera, se justificó dicho comportamiento a través de investigación bibliográfica sobre el almidón de banano y del análisis de los resultados obtenidos.

Finalmente, se llegó a la conclusión de que el estado 3 produciría la harina con mejor potencial de formación de una masa con excelentes características para la industria de la panificación. Siendo considerado casi de la misma manera al estado 2, cuyas propiedades de hidratación fueron muy buenas también. Por esta razón, se recomendó utilizar estas dos harinas en la producción de pan para comprobar su verdadero efecto sobre las características del mismo.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN	iii
ÍNDICE GENERAL.....	v
ABREVIATURAS	x
SIMBOLOGÍA.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
GRÁFICOS	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO 1

1.FUNDAMENTOS TEÓRICOS	3
1.1. Generalidades	3
1.2. Producción y Exportación del Banano en el Ecuador	5
1.2.1. Producción Mundial	5
1.2.2. Producción Nacional	8
1.3. Características Físico - Químicas del Banano	14

1.3.1. Características Físicas.....	14
1.3.2. Características Químicas.....	16
1.4. Estados de Madurez	19
1.5. Harina de Banano	28
1.5.1. Propiedades y Composición Química	29
1.5.2. Características del Almidón	32
1.5.3. Proceso de Elaboración.....	34
1.6. Propiedades de Hidratación de Harina	36
1.6.1. Capacidad de Retención de Agua	37
1.6.2. Volumen de Hinchamiento	38
1.6.3. Capacidad de Ligación de Agua	39
1.7. Propiedades de Hidratación del Gel	42
1.7.1. Índice de Absorción de Agua e Índice de Solubilidad en Agua	42
1.7.2. Capacidad de Absorción de Aceite.....	44

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
2.1. Materia Prima.....	45
2.2. Obtención de Harina	46
2.3. Propiedades de Hidratación de Harina	46
2.3.1. Protocolo de Capacidad de Retención de Agua.....	48

2.3.2. Protocolo de Volumen de Hinchamiento	49
2.3.3. Protocolo de Capacidad de Ligación de Agua	49
2.4. Propiedades de Hidratación del Gel.....	50
2.4.1. Protocolo de Índice de Absorción de Agua e Índice de Solubilidad en Agua.....	50
2.4.2. Protocolo de Capacidad de Absorción de Aceite	52
2.5. Análisis Estadístico.....	53

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS	54
3.1. Análisis Estadístico de las Propiedades de Hidratación de la Harina del Banano variedad Cavendish	54
3.1.1. Capacidad de Retención de Agua.....	54
3.1.2. Volumen de Hinchamiento	57
3.1.3. Capacidad de Ligación de Agua	63
3.2. Análisis Estadístico de las Propiedades de Hidratación del Gel del Banano variedad Cavendish	63
3.2.1. Índice de Absorción de Agua e Índice de Solubilidad en Agua.	63
3.2.2. Capacidad de Absorción de Aceite	69
3.3. Discusión	71

CAPÍTULO 4

4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	77
--	----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

°Brix	Grados Brix
°C	Grados Celsius
µm	Micrómetros
A.E.B.E.	Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador
ANOVA	Análisis de varianza
Aw	Actividad de agua
b.s.	Base seca
CAA	Capacidad de Absorción de Aceite
CLA	Capacidad de Ligación de agua
cm	Centímetros
CRA	Capacidad de Retención de agua
etc.	Etcétera
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
g	Gramos
g/cm ³	Gramos por centímetro cúbico
g/g	Gramos por gramo
h	Horas
ha	Hectáreas
HR	Humedad relativa
IAA	Índice de Absorción de Agua
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISA	Índice de Solubilidad en Agua
kcal	Kilocalorías
kg	Kilogramos
kJ/kg K	Kilojoule por kilogramo Kelvin

km	Kilómetro
lb	Libras
LSD	Diferencia mínima significativa
mg	Miligramos
mg/g	Miligramos por gramo
min	Minutos
ml	Mililitros
ml/g	Mililitros por gramo
mm	Milímetros
mPa.s	Milipascales por segundo
N	Nitrógeno
OMS	Organización Mundial de la Salud
pH	Potencial de hidrógeno
Prom.	Promedio
RCF / xg	Fuerza centrífuga relativa
t	Toneladas
VDR	Valor diario recomendado
VH	Volumen de Hinchamiento
W/m°C	Vatio por metro grado Celsius
w/v	Peso en volumen

SIMBOLOGÍA

\$	Dólares americanos
°	Grados
±	Más menos
%	Tanto por ciento

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Producción de banano (miles de toneladas).....	9
Figura 1.2 Provincias productoras de banano en el Ecuador	10
Figura 1.3 Racimo de banano de exportación Goldenforce	15
Figura 1.4 Cambios físicos del banano durante su maduración	22
Figura 1.5 Gránulos de almidón de harina de banano	33
Figura 1.6 Gránulo de almidón de harina de banano con ciertas depresiones, indicando el comienzo de los procesos de degradación enzimáticos durante la maduración	34

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Principales productores de banano 2012	6
TABLA 2. Principales exportadores de banano 2012	7
TABLA 3. Principales importadores de banano 2012	8
TABLA 4. Destino de exportaciones de banano nacional (t).....	12
TABLA 5. Compañías exportadoras de banano 2013 (cajas).....	12
TABLA 6. Propiedades físicas de la pulpa de banano	16
TABLA 7. Características químicas de la pulpa de banano	17
TABLA 8. Escala de maduración de Von Loesecke.....	24
TABLA 9. Conversión de almidón a azúcares durante la maduración del banano	26
TABLA 10. Contenido de sólidos solubles en banano variedad Cavendish durante sus diferentes estados de madurez	27
TABLA 11. Composición química harina de banano variedad Cavendish expresados en g/100 g	30
TABLA 12. Perfil de aminoácidos esenciales encontrados en la harina de banano y su valor biológico en comparación con los estándares de la FAO/OMS.....	31
TABLA 13. Prueba de rangos múltiples para Capacidad de Retención de Agua por Estado de Madurez	57

TABLA 14. Prueba de rangos múltiples para Volumen de Hinchamiento por Estado de Madurez.....	59
TABLA 15. Prueba de rangos múltiples para Capacidad de Ligación de Agua por Estado de Madurez.....	62
TABLA 16. Prueba de rangos múltiples para Índice de Absorción de Agua por Estado de Madurez.....	65
TABLA 17. Prueba de rangos múltiples para Índice de Solubilidad en Agua por Estado de Madurez.....	68
TABLA 18. Prueba de rangos múltiples para Índice de Solubilidad en Agua por Estado de Madurez.....	71

GRÁFICOS

Gráfico 1.1 Diagrama de flujo para la producción de harina de banano	35
Gráfico 3.1 Diagrama de cajas para CRA.....	55
Gráfico 3.2 Diagrama de cajas para VH	58
Gráfico 3.3 Diagrama de cajas para CLA	61
Gráfico 3.4 Diagrama de cajas para IAA.....	64
Gráfico 3.5 Diagrama de cajas para ISA.....	67
Gráfico 3.6 Diagrama de cajas para CAA	70

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo final de graduación consta de los siguientes capítulos:

En el capítulo 1 se realizará una descripción de la situación del mercado bananero a nivel nacional e internacional, así como de los aspectos generales de la fruta y su maduración. De la misma manera, se presentará estudios realizados sobre la composición de la harina de banano y las características de su almidón; para terminar con las propiedades de hidratación de la harina y gel considerando sus aplicaciones en la industria de la panificación.

En el capítulo 2 se detallará el origen de la materia prima para efecto de los estudios de hidratación y su posterior procesamiento para la conversión en harina, definiendo claramente los materiales y metodología empleados. Se especificará además los procedimientos para cada uno de los ensayos, así como las principales ecuaciones para la obtención de los resultados.

Una vez descrito lo anterior, en el capítulo 3 se presentarán los resultados de los experimentos llevados a cabo con su respectivo análisis estadístico. Es decir, se evaluará la validez de la hipótesis planteada a través del tratamiento

de datos empleando análisis de varianza y prueba de rangos múltiples para, luego de esto, analizar las tendencias encontradas y sugerir una explicación científica para las mismas, basándose en los estudios citados en el capítulo de fundamentos teóricos.

Finalmente en el capítulo 4 se darán las respectivas conclusiones enfocadas a la industria de la panificación y las recomendaciones que pudieran ser necesarias en la realización de estudios futuros planteados.

CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Generalidades

El banano es una fruta comestible producida por diferentes variedades del género *Musa* de la familia *Musaceae*. Su origen se remonta a los años 8000 a 5000 antes de Cristo en los territorios del Sudeste de Asia y el Pacífico Sur. Posiblemente llegó a Sudamérica en los años 200 a.C. portado por los soldados del Sudeste de Asia (1).

Esta fruta acarrea detrás de sí una compleja taxonomía que incluye diversas especies y variedades puras, así como híbridos. Las variedades comestibles de banano provienen

de las especies *Musa acuminata*, *M. balbisiana* y de su híbrido *Musa x paradisiaca*, las mismas que se cultivan a nivel mundial especialmente en las zonas de clima tropical.

Entre los países con mayor producción de banano en el mundo se encuentran India, China, Filipinas, Ecuador, Brasil e Indonesia, entre otros. Ecuador es el país exportador de banano número uno del mundo, produciendo esta fruta principalmente en sus variedades Gros Michel y Cavendish en la región Costa, en las provincias de Los Ríos, Guayas y El Oro.

El banano es reconocido mundialmente por ser una fruta altamente nutritiva. Su aporte calórico es aproximadamente 89 kcal por cada 100 g de fruta, tiene un alto contenido de potasio, magnesio y fibra, además de contener hierro, vitamina B₆, vitamina C, zinc y ácido fólico.

1.2. Producción y Exportación del Banano en el Ecuador

1.2.1. Producción Mundial

El banano es una fruta muy comercializada y consumida a nivel mundial. Solo en el 2010 se consumieron aproximadamente 12.5 kg de banano por persona (2), esto es, casi seis frutos al mes.

De acuerdo con las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), en el 2009 fueron cosechadas 4.84 millones de hectáreas (ha) de banano, produciendo un total de 95.6 millones de toneladas (t) a nivel mundial. En el 2010 este valor se incrementó a 102 millones, representando un aumento de más del 6 % (3).

En siguiente tabla se muestran los principales países productores de banano a nivel mundial con su producción en el año 2012.

TABLA 1. Principales productores de banano 2012
Miles de toneladas

Puesto	País	Producción
1	India	24869.49
2	China*	10550.00
3	Filipinas	9226.00
4	Ecuador	7012.24
5	Brasil	6902.18
6	Indonesia	6189.05
7	Angola	2991.45
8	Guatemala*	2700.00
9	República de Tanzania	2524.74
10	México	2203.86
11	Costa Rica	2136.44
12	Colombia	1982.70
13	Tailandia*	1650.00
14	Vietnam*	1560.00
15	Camerún*	1400.00
16	República de Kenia	1394.41
17	Burundi	1184.07
18	Egipto	1129.78
19	Papúa Nueva Guinea*	1180.00
20	República Dominicana	871.90

*Valores estimados

Fuente: FAO, 2012 (4)

En la tabla 1 se aprecia ampliamente que India supera en gran medida al resto de países productores. No obstante, al referirse a la cantidad exportada por país, estos puestos varían, ubicando a Ecuador en la cima con el 30 % del volumen de exportación a nivel mundial (Tabla 2). Seguido de países como Filipinas con un 16%, Guatemala con el 12%, Colombia y Honduras con el 11 % y 5 %, respectivamente.

TABLA 2. Principales exportadores de banano 2012

Miles de toneladas			
Puesto	País	Cantidad	Porcentaje
1	Ecuador	4982.1	30.20%
2	Filipinas	2646.1	16.04%
3	Guatemala	1920.8	11.64%
4	Colombia	1834.9	11.12%
5	Honduras	901.4	5.46%
6	Costa De Marfil	339.4	2.06%
7	México	307.5	1.86%
8	República Dominicana	297.2	1.80%
9	Camerún	246.5	1.49%
10	Panamá	245.0	1.49%
	Otros	2773.9	16.82%
	TOTAL	16494.8	100.00%

Fuente: FAO, 2014 (5)

Es importante recalcar que, solo considerando los primeros 5 países, se ve cubierta prácticamente el 75 % de la oferta mundial. Esto quiere decir que el mercado mundial depende en gran proporción de la producción y exportación de estos cinco mercados.

Por otro lado, los principales países importadores de banano se muestran a continuación:

TABLA 3. Principales importadores de banano 2012
Miles de toneladas

Puesto	País	Cantidad	Porcentaje
1	Estados Unidos	4349.7	26.76%
2	Federación de Rusia	1253.6	7.71%
3	Japón	1086.4	6.68%
4	China	715.8	4.40%
5	Canadá	527.0	3.24%
6	Argentina	376.6	2.32%
7	República de Corea	368.0	2.26%
8	Irán	355.5	2.19%
9	Arabia Saudita	306.2	1.88%
10	Siria	293.4	1.81%
	Otros	6619.4	40.73%
	TOTAL	16251.6	100.00%

Fuente: FAO, 2014 (5)

De los cuales se puede apreciar que Estados Unidos es el principal importador de banano a nivel mundial.

1.2.2. Producción Nacional

El auge bananero en Ecuador empezó en el año 1948, con la expansión de los cultivos a nivel nacional. Durante los siguientes cuatro años –tiempo que duró el periodo presidencial de Galo Plaza Lasso- Ecuador pasó de ocupar el puesto 27 en la lista de países exportadores de banano, a ocupar el lugar que ostenta ahora (6).

El banano es una fruta que se produce, en mayor proporción, en la Región Costa. Las tres provincias con mayor la superficie cosechada de banano son Los Ríos, El Oro y Guayas.

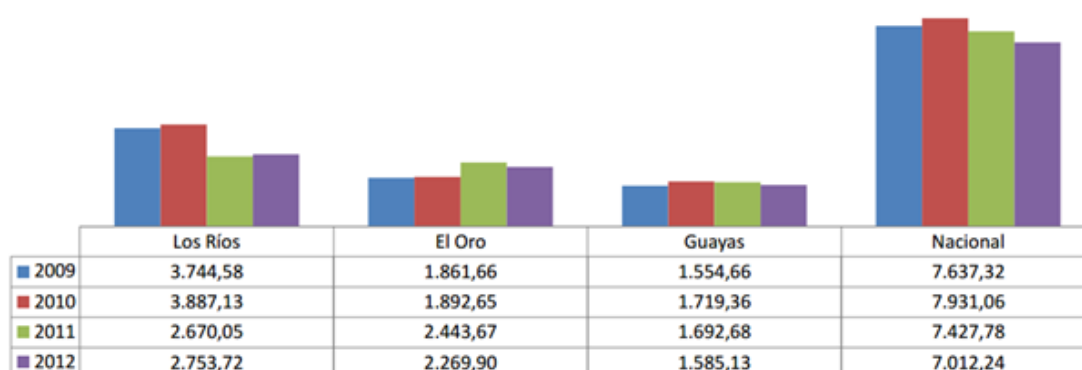


Figura 1.1 Producción de banano (miles de toneladas)

Fuente: INEC, 2012 (7)

Estas suman el 78.54 % de la superficie total cosechada del producto. Siendo la provincia de El Oro la que más se dedica al cultivo de banano con una participación del 29.79% y una producción de 32.37 % de las toneladas cosechadas a nivel nacional. Las siguientes provincias en importancia son Los Ríos y Guayas con el 29,65 % y 19,09% de la superficie cosechada, respectivamente. Estas a su vez, concentran el 39,27 % y 22,61 % del total de toneladas métricas de banano producido.

Estas provincias satisfacen prácticamente toda la demanda del mercado. Sin embargo, debido a las condiciones climáticas del país, la producción de banano se extiende a lo largo de casi todas las provincias.

De acuerdo con la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) elaborada por el INEC en el año 2012, la producción de banano a nivel nacional puede distribuirse de la siguiente manera:

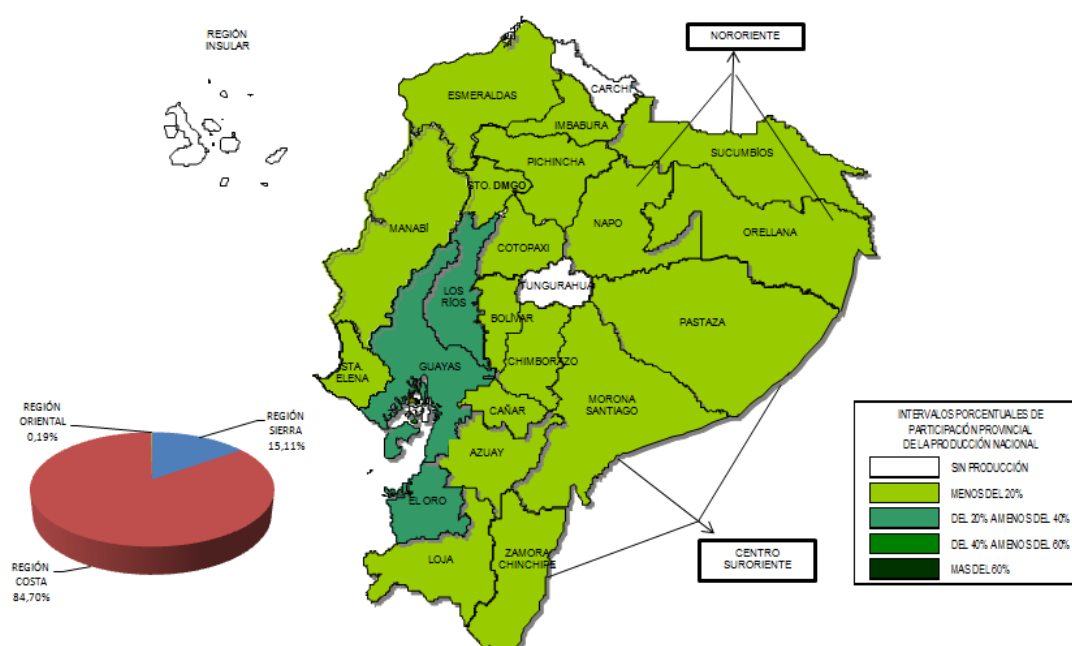


Figura 1.2 Provincias productoras de banano en el Ecuador

Fuente: INEC, 2012 (7)

Según la cual, en el 2012 las provincias de Carchi, Tungurahua y Galápagos no presentaron un porcentaje de producción significativo o dicho porcentaje fue nulo.

Este documento también indica que pesar de haber un aumento del 9.9 % en la superficie de banano cosechada (hectáreas destinadas a la producción de banano), se observa una reducción del 5.6 % en la producción nacional en general. Por esta razón, los productores bananeros deben cumplir con las condiciones adecuadas de manejo post-cosecha para evitar las pérdidas que reduzcan la cantidad cajas de banano viables para la exportación.

En lo que se refiere a los destinos del banano ecuatoriano, según el informativo Banana Export de la Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (A.E.B.E.), el acumulado de las exportaciones de enero a julio del 2013, mostraron que los principales destinos del banano nacional fueron:

TABLA 4. Destino de exportaciones de banano nacional (t)
Volúmenes de embarque acumulado
(Enero/Julio)

País	Volumen	Porcentaje
Rusia	37124080	25.36%
Mar del Norte/Báltico	30380352	20.75%
Estados Unidos	25378071	17.34%
Medio Oriente	15472252	10.57%
Cono Sur	11047899	7.55%
Mediterráneo	10468860	7.15%
Europa del Este	10425383	7.12%
África	3632614	2.48%
Oriente	1666961	1.14%
Oceanía	798647	0.55%
TOTAL	146395119	100.00%

Fuente: A.E.B.E., 2013 (8)

Además, las principales compañías exportadoras de banano en el Ecuador para dicho año fueron:

TABLA 5. Compañías exportadoras de banano 2013 (cajas)

Puesto	Compañía	Total	Porcentaje
1	Ubesa	15464694	10.56%
2	Truisfruit	12553874	8.58%
3	Reybanpac	7201217	4.92%
4	Comersur	6358320	4.34%
5	Oro Banana	5680989	3.88%
6	Asoagribal	5264953	3.60%
7	Brundicorpi	4736947	3.24%
8	Ecuagreenprodex	4612237	3.15%
9	Coragrofruit	4086743	2.79%
10	Bagnilasa	3944980	2.69%
11	Sentilver	3580147	2.45%
12	Arbeloa	2986507	2.04%
13	Cabaqui	2844929	1.94%
14	Exbaoro	2636797	1.80%

15	Banacali	2513785	1.72%
	Otros	61928000	42.30%
	TOTAL	146395119	100.00%

Fuente: A.E.B.E., 2013 (8)

Lo que demuestra que no existe una compañía líder en el mercado de exportaciones, pero sí muchas compañías pequeñas registradas en la A.E.B.E., las cuales comercializan una cantidad de cajas designadas en 41.5 lb de producto a un precio de exportación actual de \$10.65; valor bastante mayor que el de los competidores debido a gastos de envío y demás (9).

Estos precios en el mercado internacional, han generado una caída en la comercialización de banano nacional de casi el 16 %. Dicha reducción en las exportaciones genera un excedente de la fruta que en el 2012, para la provincia del El Oro, significó 130 mil toneladas (10).

Por esta razón, es necesario renegociar el precio con el que la caja de banano es comercializada internacionalmente, además

de potenciar el uso de los excedentes de la fruta, para no incurrir en pérdidas millonarias que afecten la estabilidad económica del país.

1.3. Características Físico – Químicas del Banano

El banano cuenta con un sinnúmero de propiedades físico-químicas que cambian a medida que el fruto cumple su proceso de crecimiento y maduración. Las cuales, debido a la naturaleza orgánica del fruto y a la complejidad de sus procesos bioquímicos, no pueden ser analizadas por separado con facilidad, pero se ha logrado clasificarlas en físicas y químicas, y se detallan a continuación.

1.3.1. Características Físicas

Dentro de las características físicas pueden ser destacadas aquellas perceptibles por medio de los sentidos como forma, tamaño, color, aroma, sabor, textura, entre otras; así como también se encuentran todas las propiedades intrínsecas de la pulpa sean estas: térmicas, eléctricas, reológicas, etc.

El banano tiene una forma alargada o de “dedo” -nombre que se le da a nivel comercial- de diámetro variable, con una ligera curvatura; dependiendo de los parámetros de calidad establecidos, su longitud puede variar entre 17 y 22 cm, con un diámetro de 3.10 a 3.81 cm (11).



Figura 1.3 Racimo de banano de exportación Goldenforce

Fuente: <http://www.goldenforcebananas.com/> (11)

Su color varía de verde intenso durante su desarrollo fisiológico, pasando por amarillo durante la maduración, a marrón cuando está sobre-madurado; presentando además un sabor dulce cuando maduro y textura blanda en general.

Su aroma característico es el resultado de la combinación de una gran cantidad de sustancias volátiles, tales como: butiratos, ésteres de acetato, alcoholes y cetonas (12).

En la tabla 6 se presenta un resumen de las propiedades físicas relacionadas a la pulpa de banano y sus valores respectivos.

TABLA 6. Propiedades físicas de la pulpa de banano

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1.01-0.96
Punto de congelación	°C	-2.2
Calor específico “sobre el punto de congelación”	kJ/kg K	3.346-3.684
Calor específico “bajo el punto de congelación”	kJ/kg K	1.756 - 1.905
Calor latente de fusión	kJ/kg	250.16 - 251.20
Conductividad térmica (a 27 °C)	W/m°C	0.481

Fuente: Adaptado de Barbosa, et al., 2000 (13)

1.3.2. Características Químicas

De la misma manera, el banano -específicamente su pulpa- cuenta con una composición química característica que le confiere sus diversas propiedades, de entre la cuales se destacan: potencial de hidrógeno (pH), acidez titulable, sólidos solubles (°Brix), composición nutricional, etc.

La tabla 7 muestra los parámetros químicos característicos de la pulpa de banano (14).

TABLA 7. Características químicas de la pulpa de banano

Propiedad	Valor
pH	4.7
Acidez titulable (% ácido málico/100 g de pulpa)	0.64
Sólidos solubles totales (°Brix)	26.2

Fuente: Adaptado de Viana, 2010 (14)

Se puede apreciar que la pulpa de banano tiene un pH ácido (alrededor de 4.7) para la variedad en estudio; el cual guarda una relación directa con el contenido de ácido predominante en la fruta (ácido málico). Es así, como su acidez titulable se expresa comúnmente en porcentaje de ácido málico por cada 100 g de pulpa, obteniendo un valor de 0.64.

De la misma manera, dependiendo del estado de madurez, la fruta presenta un contenido característico de azúcares que determinan su porcentaje de sólidos solubles; el cual aumenta a medida que el banano madura hasta llegar a su punto óptimo, alcanzando hasta un valor de 26.2 °Brix, como se muestra en la tabla.

Así también, el banano es una fruta altamente nutritiva, con una composición rica en macronutrientes y micronutrientes, que es de vital importancia conocer para determinar, concretamente, su perfil de carbohidratos y contenido de almidón característico.

En el apéndice A, se muestra detalladamente la composición nutricional correspondiente a 100 g de pulpa de banano, tomando como referencia la Base de Datos Nacional de Nutrientes de los Estados Unidos (15).

De acuerdo a los datos allí presentados, se puede afirmar que el banano es una fruta de elevado valor nutricional y energético que aporta aproximadamente 89kcal por cada 100 g de pulpa. Esto se debe a la existencia de casi el 23 % de carbohidratos en su composición.

Además de esto, es una rica fuente de aminoácidos, entre los que se encuentran todos los considerados esenciales (leucina, isoleucina, valina, fenilalanina, metionina, etc.) y semi-

esenciales (histidina y arginina). Representa, además, un gran aporte de vitamina C (casi el 15 % del VDR¹) y potasio (poco más del 10 % del VDR), sin dejar de lado otras vitaminas como A, complejo B y sales minerales como magnesio, fósforo, calcio, sodio y otras que se encuentran en menores cantidades.

Es importante resaltar la presencia de almidón y azúcares (5.38 g y 12.23 g respectivamente), cuya relación depende estrictamente del índice de maduración del fruto. Es decir, en los estados iniciales de maduración, se observará mayor proporción de almidón y, a medida que el fruto alcanza los últimos niveles de maduración, este almidón se transformará en azúcares como: glucosa, fructuosa y sacarosa.

1.4. Estados de Madurez

Durante el desarrollo de las frutas en la planta se hacen evidentes tres etapas fisiológicas claramente definidas: crecimiento, maduración y senescencia.

¹ Valor diario recomendado (VDR) basado en la norma técnica ecuatoriana INEN 1334-2:2011.

La primera de ellas, se caracteriza por todos los procesos bioquímicos intracelulares que dan como resultado la división y aumento de tamaño de las células hasta que el fruto alcanza sus dimensiones finales.

En la maduración, en cambio, los procesos bioquímicos que se llevan a cabo tienen como finalidad producir cambios sensoriales que adecuan al fruto para el consumo humano; estos cambios modifican las características de la cáscara y la pulpa en su color, aroma, sabor, textura, entre otras.

Finalmente, en la senescencia, los procesos de síntesis de compuestos se detienen y dan paso a las reacciones de degradación o catalíticas y la fruta entra en un estado de envejecimiento y muerte tisular.

Estos cambios son posibles debido a la respiración, la cual se describe como un proceso metabólico del que la fruta obtiene la energía necesaria para efectuar las reacciones de síntesis y

degradación de compuestos. El ritmo de la respiración se regula a través de diversos mecanismos, siendo el más importante la producción de etileno.

Existen frutas cuya producción de etileno varía mucho durante la maduración, presentando picos climatéricos, por lo cual son llamadas frutas climatéricas; en otras, los niveles de etileno se mantienen bajos y constantes durante la maduración, estas son llamadas frutas no climatéricas.

Los frutos climatéricos continúan produciendo etileno después de la cosecha, pudiendo madurar, incluso, fuera de la planta; los frutos no climatéricos, no.

El banano es una fruta climatérica, en consecuencia, no madura de forma constante y presenta cambios propios de la maduración, incluso después de haber sido cosechada. La figura 1.4 muestra los principales cambios físicos que se dan en el banano a partir del brote de la flor.

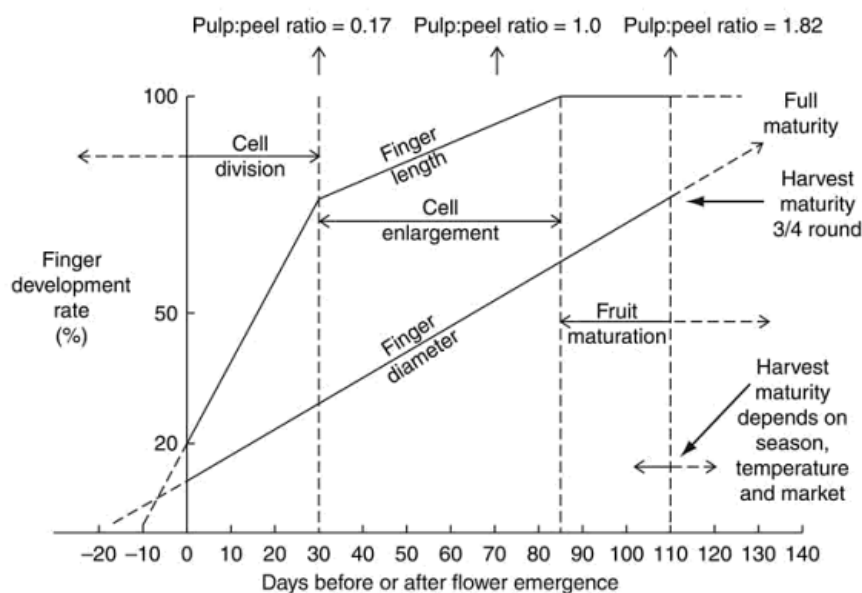


Figura 1.4 Cambios físicos del banano durante su maduración

Fuente: Robinson, 1996 (16)

Los cambios observados corresponden, principalmente, a la fase de crecimiento del fruto; este alcanza su longitud final aproximadamente 85 días después de la aparición de la flor. Una vez cumplido dicho proceso, se da paso a la maduración.

Como se mencionó anteriormente, en esta etapa los principales cambios que se pueden apreciar tienen efecto sobre: su color y textura, por la degradación de clorofila y otras estructuras

celulares; su aroma, por la generación de compuestos volátiles; y su sabor, por la conversión de almidón a azúcares.

Durante su crecimiento, el banano presenta una coloración verde -característica de la presencia de clorofila en su estructura-; sin embargo, durante la maduración, debido a variaciones de pH, contenido de fenoles, presencia de oxígeno y acción de clorofilasas, este cambia a amarillo y, posteriormente a café (17).

Desde el punto de vista comercial, el cambio de color es de primordial importancia para determinar el estado de madurez del banano. En 1950, Von Loesecke propuso una escala de siete niveles para describir los cambios observados en la coloración de la cáscara de banano, dicha escala se presenta en la tabla 8.

Cabe indicar que estos estados de madurez guardan una relación directa con la maduración interna de la pulpa.

TABLA 8. Escala de maduración de Von Loesecke

Estado de madurez	Descripción	Representación visual
1	Totalmente verde	
2	Verde con trazas de amarillo	
3	Más verde que amarillo	
4	Más amarillo que verde	
5	Amarillo con puntas verdes	
6	Totalmente amarillo	
7	Amarillo con áreas marrones	

Fuente: Von Loesecke, 1950 (18)

Por otro lado, la degradación de carbohidratos complejos como sustancias pécticas y hemicelulosas -presentes en las paredes celulares- provoca variaciones en la textura del banano:

causando un ablandamiento deseable de la pulpa al inicio, pero comprometiendo su calidad sensorial al final, haciéndola incluso más susceptible a los daños mecánicos.

Durante la maduración del banano ocurre también un cambio distintivo en su aroma; y la producción de sustancias volátiles como el acetato de isoamilo es responsable de esto. De acuerdo a la investigación de Jordán et al., 2001 (12), aproximadamente 26 los compuestos responsables del aroma de la pulpa de banano, de entre los cuales se encuentran terpenoides y eugenol –sustancia similar al guayacol –.

Finalmente, es probable que el cambio más importante que tiene lugar durante los estados de maduración, sea la transformación de almidón a azúcares (glucosa, fructuosa y sacarosa). La misma que no solo modifica la textura de la fruta, sino también su sabor final. Esta degradación se debe a la acción de las α y β -amilasas que se activan inmediatamente después de la recolección.

En la siguiente tabla, se muestra el contenido aproximado de almidón y azúcares para la variedad Cavendish en cada uno de los estados de maduración previamente mencionados, incluyendo uno inicial de sobre-maduración (estado 8).

TABLA 9. Conversión de almidón a azúcares durante la maduración del banano

Cambios de Color y Composición Química durante la Maduración del Banano Cavendish				
Estado	Color de la piel	% Aprox. de almidón	% Aprox. de azúcar	Observaciones
1	Verde	20	0.5	Duro, rígido, no madura.
Combado	Verde	19.5	1	Se comba ligeramente, comienza la maduración.
2	Verde con trazas de amarillo	18	2.5	
3	Más verde que amarillo	16	4.5	
4	Más amarillo que verde	13	7.5	
5	Amarillo con la punta verde	7	13.5	
6	Totalmente amarillo	2.5	18	Maduro pero textura dura.
7	Amarillo con algunas rayas pardas	1.5	19	Completamente maduro y aromático.

8	Amarillo con abundantes áreas pardas	1	19	Excesivamente maduro, pasado, pulpa muy blanda que se va oscureciendo, muy aromático.
---	--------------------------------------	---	----	---

Fuente: Wills, et al., 1999 (19)

Como puede ser observado, las proporciones de ambos compuestos prácticamente se invierten durante este proceso, haciendo la fruta mucho más dulce y aromática.

En un estudio realizado por Liew y Lau, 2012 (20) se determinó el contenido de sólidos solubles (°Brix) de la pulpa de banano variedad Cavendish durante los diferentes estados de madurez, empleando Espectroscopía del Infrarrojo Cercano (NIR). Sus resultados se resumen en la siguiente tabla.

TABLA 10. Contenido de sólidos solubles en banano variedad Cavendish durante sus diferentes estados de madurez

Estado de madurez	SSC (°Brix)
2	4.68 ± 2.39
3	11.52 ± 4.63
4	15.09 ± 3.68
5	17.49 ± 2.83
6	18.84 ± 1.64
7	19.19 ± 1.87

Fuente: Liew & Lau, 2012 (20)

Valores tomados como referencia para la clasificación de los bananos en sus tres primeros estados de madurez, conjuntamente con la confirmación visual de acuerdo a la escala de color propuesta por Von Loesecke (1950).

1.5. Harina de Banano

Puede definirse a la harina como el producto obtenido luego del secado y molienda de cereales, frutas, raíces, semillas, y demás, bajo condiciones controladas de, por ejemplo, temperatura y tiempo. La harina posee diversas propiedades nutricionales, físico-químicas y tecnológicas que hacen viable su uso en la industria de los alimentos como base para productos de bollería y como ingrediente para otros. A nivel mundial la harina de trigo es la más utilizada, siendo China su mayor productor y consumidor (21).

Potenciar la producción de harina de banano surge como alternativa para el máximo aprovechamiento de los excedentes de dicha fruta, la cual es procesada generalmente en estado

verde, no solo debido a su alto contenido de almidón, sino también por la facilidad de su transporte y almacenamiento.

La harina de banano es una importante fuente de almidón - representando entre el 60 y 80 % de su peso seco- (22). Este consiste en su mayoría de almidón resistente, contando además con fibra dietética, proteínas resistentes y otros compuestos bioactivos; los que forman en conjunto la fracción indigerible.

1.5.1. Propiedades y Composición Química

Varios estudios se han llevado a cabo con respecto a la determinación de las propiedades físico-químicas de la harina de banano, obtenida tanto de fruta en estado verde, como madura. De acuerdo al estudio realizado por Alkarkhi et al., 2011 (23), una solución al 8 % (w/v) de harina de banano variedad Cavendish tiene un pH promedio de 5.06 y una viscosidad de 40.94 mPa.s aproximadamente 40 veces más que la del agua a 20°C (24).

La tabla 11 resume la composición química de la harina de banano variedad Cavendish de acuerdo a dos estudios realizados en Malasia y Brasil, respectivamente.

TABLA 11. Composición química harina de banano variedad Cavendish expresados en g/100 g

Parámetro	Fuente	Ramli et al. (2009)	Vieira et al. (2013)
Carbohidratos totales		84.9	86.92
Proteínas totales		3.75	4.14
Grasas totales		0.36	0.45
Ceniza		3.79	1.08
Fibra Cruda		2.56	-
Fibra dietética total		15.49	8.49
Fibra dietética insoluble		11.91	7.15
Fibra dietética soluble		3.58	1.34
Almidón total		73.49	78.43
Almidón resistente		52.88	40.14
Almidón digerible		20.61	38.29*

*Valor obtenido por diferencia.

Fuente: 25 y 26.

En ella se puede apreciar que aproximadamente el 85 % de su composición corresponde a carbohidratos en forma de almidón y fibra. Además de esto, tiene un contenido de proteínas que representa casi el 4 % y es considerada como proteína de bajo valor biológico (26). Posee una cantidad mínima de grasa, sobrepasada por el contenido de cenizas, gracias a los minerales característicos aportados por esta fruta.

Es importante señalar que la mayor parte del almidón presente en la harina de banano es resistente al desdoblamiento enzimático (almidón resistente), razón por la cual en muchos estudios se ha recomendado a esta harina como ingrediente para alimentos en los que se requiera aumentar su fracción no digerible.

El contenido de aminoácidos esenciales de la harina de banano Cavendish en estado verde se detalla a continuación:

TABLA 12. Perfil de aminoácidos esenciales encontrados en la harina de banano y su valor biológico en comparación con los estándares de la FAO/OMS

Aminoácidos		Contenido de aminoácido (mg/g proteína)	
Aminoácido Esencial	Harina de banano	Estándar FAO/OMS	Calificación
Histidina	0.41	23	0.01782
Treonina	0.32	33	0.00969
Lisina	0.07	36	0.00194
Metionina + Cisteína	0.11	37	0.00297
Isoleucina	0.19	42	0.00452
Leucina	0.23	82	0.00280
Valina	0.20	58	0.00344
Fenilalanina + Tirosina	0.58	80	0.00725

Fuente: Vieira et al., 2013 (26)

Como puede ser observado, la cantidad de aminoácidos esenciales presentes por gramo de proteína en la harina de banano variedad Cavendish es considerablemente baja de acuerdo a los estándares propuestos por la FAO y la OMS. Lo que confirma el bajo valor biológico que aporta al organismo desde el punto de vista nutricional.

1.5.2. Características del Almidón

En las células vegetales el almidón se almacena en organelos citoplasmáticos llamados amiloplastos; y en el banano esto no ocurre de manera diferente. La figura 1.5 muestra una microscopía electrónica de barrido de harina de banano obtenida en un secador de bandejas, donde los gránulos de almidón poseen un fino revestimiento, membrana del amiloplasto que los contiene (22).

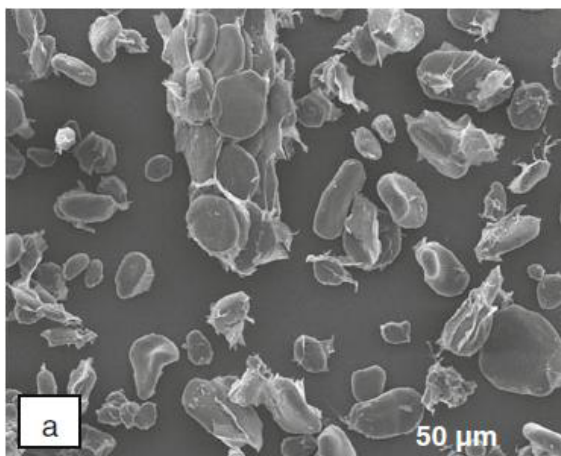


Figura 1.5 Gránulos de almidón de harina de banano
Fuente: Wenzel et al., 2011 (22)

De acuerdo al estudio realizado por Ling et al., 2006 (27), el almidón de banano variedad Cavendish cuenta con una forma y tamaño irregular de aproximadamente 15 μm ; documentando también que su contenido de amilosa es alrededor de 19.5 % b.s.

Se ha comprobado, asimismo, que durante la maduración, la única transformación evidente en el gránulo de almidón es la reducción de su tamaño; con la aparición de ciertas estriaciones en la superficie, en los estados de madurez más avanzados; manteniéndose constante el ratio amilosa / amilopectina (28).

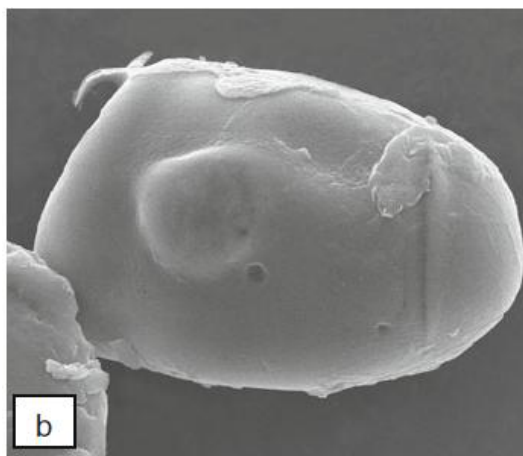


Figura 1.6 Gránulo de almidón de harina de banano con ciertas depresiones, indicando el comienzo de los procesos de degradación enzimáticos durante la maduración

Fuente: Wenzel, et al., 2011 (22)

1.5.3. Proceso de Elaboración

El proceso de producción de harina de banano se basa en operaciones unitarias sencillas, las que se encuentran representadas en el gráfico 1.1 y se describen brevemente a continuación.

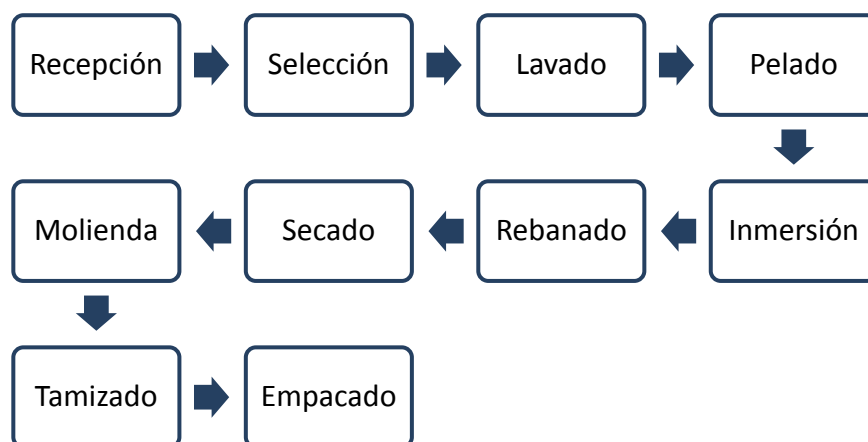


Gráfico 1.1 Diagrama de flujo para la producción de harina de banano

Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

El banano es recibido en cajas de cartón para su almacenamiento, este periodo no debe sobrepasar las 24 h debido a la rápida maduración de la fruta. Luego, es inspeccionado visualmente, seleccionado solo los estados 1 y 2. Después, es enjuagado y pelado manualmente, para en seguida ser inmerso en una solución de ácido cítrico o dióxido de azufre (29), no mayor al 1 % (w/v) por 10 minutos.

Al salir, se corta la fruta en rebanadas de 2 a 5 mm para someterlas al secado, el que se puede realizar en hornos, secadores de bandeja o de túnel. En este proceso, el banano

pasa a tener un contenido final de agua entre 5 y 10%. Las rodajas secas se someten a proceso de molienda para convertirlas en un polvo fino al que se denomina harina, el que es tamizado para estandarizarlo entre 60 y 30 μ m.

Finalmente, para el empackado se utilizan fundas de polipropileno, polietileno de baja densidad, celofán e incluso otros polímeros, siempre y cuando presenten poca permeabilidad al vapor de agua y sean sellados herméticamente. Esto debido a la alta higroscopicidad característica de las harinas y principal factor de su deterioro (30).

1.6. Propiedades de Hidratación de Harina

La composición química de la harina la convierte en un alimento susceptible a la captación de agua, ya sea del ambiente (higroscopicidad) o durante un proceso tecnológico, como el que se da en la formación de geles en la industria de panificación. Esta captación de agua se puede dar mediante puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals, e incluso, enlaces iónicos (31).

La capacidad de hidratación de la harina se refiere a la cantidad de agua que es capaz de asimilar, formando así una masa con buenas cualidades de panificación. Esta característica depende de la cantidad de almidón dañado durante la molienda, del contenido proteico y de la humedad inicial de la harina (32).

En la presente investigación, se analizaron tres parámetros para determinar la capacidad de hidratación de la harina de banano: capacidad de retención de agua, volumen de hinchamiento y capacidad de ligación de agua.

1.6.1. Capacidad de Retención de Agua

Es la capacidad que posee un alimento de retener moléculas de agua en su matriz debido a la interacción con las proteínas presentes en su estructura, sin ser sometido a ningún tipo de estrés. El agua retenida evita la exudación, se encuentra en la vecindad de los solutos y constituyentes no acuosos, posee reducida movilidad y no se congela a -40°C .

Esta característica depende del tamaño de los poros y capilares, así como de los tipos de interacciones entre proteínas

-puentes de hidrógeno, puentes disulfuro, ácidos, bases y / o fuerzas de Van der Waals-.

Además de esto, juega un papel importante en la textura y viscosidad de los alimentos, y estudios realizados han demostrado la correlación existente entre la CRA de un alimento y su solubilidad (33).

Así también fue reportado por Sciarini, et al., 2010 (34) que la CRA puede retardar el endurecimiento del pan libre de gluten.

1.6.2. Volumen de Hinchamiento

Es la propiedad que poseen los gránulos de almidón presentes en la harina, de aumentar su volumen al entrar en contacto con el agua. Este proceso depende en gran medida del ratio amilosa / amilopectina, ya que la capacidad de hinchamiento es una característica primaria de la amilopectina, a diferencia de la primera que fortalece la red interna del gránulo, inhibiendo dicha propiedad (35).

De la misma manera, se ha comprobado que el volumen de hinchamiento depende también de otros factores como: tamaño del gránulo, presencia de lípidos, grupos fosfatos cargados negativamente, entre otros (36).

Los almidones con un alto VH, se cocinan mejor pero son menos resistentes a fuerzas de cizallamiento. Por otro lado, los almidones con bajo VH se usan preferentemente en productos enlatados y otros productos esterilizados por su estabilidad a las altas temperaturas, ácidos fuertes y cizallamiento durante su procesamiento (35).

1.6.3. Capacidad de Ligación de Agua

A diferencia de la capacidad de retención, la CLA es definida como la cantidad de agua unida a la muestra bajo condiciones de centrifugación a baja velocidad. Representa, no el agua que puede ser encapsulada en la matriz proteica, pero sí aquella con la cual pueden asociarse las sustancias hidrofílicas presentes en la harina. El agua ligada, representa aquella absorbida por el gránulo y por su superficie (37).

De acuerdo a Otegbayo, et. al, 2010 (35) se puede decir que la CLA es la cantidad que un almidón insoluble puede retener en relación a su peso. Una elevada CLA se atribuye a una asociación débil entre la amilosa y amilopectina en los gránulos maduros, mientras que una baja CLA se debe a la asociación fuerte entre las mismas.

Se ha observado que esta característica depende del estado del gránulo de almidón, del contenido de fibra dietética presente y de la cantidad de proteína (38). Se conoce además que un valor bajo de CLA produce pan fresco con firmeza y volumen adecuado (39).

1.7. Propiedades de Hidratación del Gel

La gelatinización es una característica propia de las proteínas y polisacáridos, la que es empleada como recurso tecnológico en la elaboración de diversos productos tales como: gelatinas, lácteos, productos texturizados, productos de panificación, entre otros (31).

Un gel es una masa semisólida que atrapa agua en una red tridimensional debido a los puentes formados por los enlaces entre sus moléculas. El número de uniones y su rigidez se encuentra determinado por el grado de cristalinidad característico del alimento. Dicha cristalinidad es responsable de las propiedades físicas del gel como dureza, e incluso su posible reversibilidad (40).

Normalmente la formación de gel ocurre en un medio acuoso y mediante la aplicación de calor. Cuando esto sucede, los gránulos de almidón se hinchan desmedidamente hasta romperse, reduciendo sus estructuras cristalinas y aumentando los puentes de hidrógeno con el agua. Como consecuencia, las porciones de amilosa se solubilizan, y aumenta la viscosidad de la pasta formada. Finalmente, con el enfriamiento, se forma una red desordenada que encapsula el agua dentro de la nueva estructura resultante.

En la presente investigación, se analizaron tres parámetros para determinar la capacidad de hidratación del gel de banano: índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y capacidad de absorción de aceite.

1.7.1. Índice de Absorción de Agua e Índice de Solubilidad en Agua

a. Índice de Absorción de Agua

Cuando las soluciones resultantes de la mezcla de agua y harina, son sometidas a temperatura de entre 70 y 90 °C, ocurre el fenómeno de gelatinización previamente mencionado.

En este, la ruptura de los gránulos de almidón permite la absorción progresiva de agua al liberar las estructuras de amilosa, e incluso puede aumentar la cantidad de sólidos solubles presentes en la suspensión (36).

Se puede decir que el IAA es un indicador de la habilidad de la harina de absorber agua e hincharse hasta alcanzar una consistencia deseable, mejorando el rendimiento y dando cuerpo al alimento. Se ha reportado que el aumento de absorción de agua durante el horneado puede aumentar la suavidad inicial y disminuye el endurecimiento del pan (41). Así como, otros estudios indican la correlación existente entre el contenido de beta-glucano y el IAA (42).

b. Índice de Solubilidad en Agua (ISA)

La solubilidad es el principal factor que rige el proceso de hidratación de las moléculas, debido a que es el primer determinante de la afinidad del sistema soluto – solvente. En los todos los alimentos, esta depende de la naturaleza química de los carbohidratos y proteínas, no siendo las harinas la excepción.

La solubilidad de las moléculas de polisacárido depende de modo esencial de su estructura, caracterizada por la posesión de numerosos grupos hidroxilos, lo que facilita su interacción con moléculas polares como las del agua (31). De manera específica, la solubilidad del gránulo de almidón es atribuible al contenido de amilosa presente en el mismo, siendo la amilopectina quien posee las propiedades de absorción de agua, discutidas previamente.

El IAA es empleado muchas veces para indicar la degradación del almidón, debido a la cantidad de polisacáridos libres o liberados del gránulo en presencia de agua en exceso. Además, desde el punto de vista tecnológico, se ha sugerido que harina

con mayor IAA y menor ISA puede usarse en productos en los que la mayor preocupación sea una alta viscosidad (42).

1.7.2. Capacidad de Absorción de Aceite

La CAA surge como resultado de las interacciones hidrofóbicas existentes entre los fosfolípidos y triacilgliceroles (con sus cadenas alifáticas) y las cadenas apolares de las proteínas presentes en la estructura de la harina. La solubilidad de dichas proteínas juega un papel muy importante en la capacidad de absorción de aceite, ya que cuanto más solubles sean, menor cantidad de aceite serán capaces de captar (33).

Tanto el tamaño de los gránulos de almidón, como su densidad, influyen fuertemente en la CAA. Esto debido a que superficies mayores, son conocidas por absorber mayor cantidad de sustancias oleosas (43).

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos de esta investigación fueron realizados en los laboratorios de Investigación y Desarrollo (I+D) y Bromatología, ubicados en el edificio 18B de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus “Gustavo Galindo” ubicado en el km 30.5 de la vía Perimetral en la ciudad de Guayaquil.

2.1. Materia Prima

Los bananos empleados en cada una de las pruebas de hidratación pertenecen a la variedad Cavendish, subgrupo del triploide AAA de los cultivos de *Musa acuminata*. Estos fueron

adquiridos de la hacienda San Gabriel, ubicada en el cantón Pueblo Viejo, provincia de Los Ríos.

2.2. Obtención de Harina

El procedimiento de obtención de harina desarrollado fue similar al propuesto por Monteiro y da Silva, 2013 (44) con ligeras modificaciones, el que es detallado a continuación.

Bananos en estado de madurez 1 (totalmente verdes) fueron seleccionados y lavados con agua potable. Luego de esto, se separó una muestra para la correspondiente medición del contenido de sólidos solubles, empleando un refractómetro portátil Sper Scientific (modelo: 300053).

Una vez cumplido este proceso, se procedió al pelado manual de la fruta, a su inmediato rebanado y a su inmersión en una solución de ácido cítrico al 1 % (w/v) (previamente preparada) durante 15 minutos. Pasado el tiempo de inmersión, las rebanadas fueron colocadas sobre una superficie plana recubierta con papel absorbente para drenar el exceso de solución.

Previo al secado, las rebanadas fueron pesadas en una balanza marca EV SCALES, para el cálculo de rendimiento. Asimismo se apartó una muestra para realizar las mediciones de actividad de agua y contenido de humedad correspondiente. Las que fueron medidas empleando un determinador de agua marca AquaLab (serie 3) y una termobalanza marca Kern (modelo: MLB50-3), respectivamente. La remoción de agua del producto se realizó en una estufa marca Presicion (modelo: GSA) a una temperatura de 50 ± 5 °C durante 24 h.

Luego del secado, se procedió a hacer las mediciones de peso -empleando una balanza gramera marca Boeco-, actividad de agua y contenido de humedad resultantes del proceso. Finalmente, las rebanadas fueron molidas en dos etapas: una pre-molienda -utilizando el molino de disco marca Arbel- y una molienda -utilizando el ciclón Cyclotec 3010-. La harina resultante fue almacenada en fundas de polietileno de baja densidad y sellado hermético tipo ziploc para su posterior análisis.

Los bananos restantes fueron almacenados bajo condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa para los siguientes batch.

El apéndice B muestra gráficamente etapas del proceso de obtención de harina.

2.3. Propiedades de Hidratación de Harina

Las propiedades de hidratación de harina, se analizaron por medio de métodos gravimétricos y en triplicado para los siguientes parámetros:

2.3.1. Protocolo de Capacidad de Retención de Agua

Se determinó pesando 1 g de harina con una precisión de ± 5 mg y luego mezclándola con 10 ml de agua destilada. Esto se mantuvo a temperatura ambiente por 24 h, periodo después del cual se decantó el sobrenadante.

Finalmente, se obtuvo el peso del pellet formado en el tubo y del decantado. Este índice se expresó como gramos de agua

retenidos por gramo de sólido, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$CRA (g/g) = \frac{\textit{gramos de agua retenidos}}{\textit{gramo de harina}}$$

2.3.2. Protocolo de Volumen de Hinchamiento

Se determinó empleando la metodología de Gularte & Rosell, 2011 (45) con ciertas modificaciones detalladas a continuación.

Se pesó 1 g de harina con una precisión de ± 5 mg y se mezcló con 10 ml de agua destilada en una probeta graduada.

Esto fue mantenido a temperatura ambiente por 24 h, para finalmente realizar la medición de volumen obtenido. El volumen de hinchazón se calculó dividiendo el volumen total de la mezcla hinchada para el peso original de la muestra.

$$VH (ml/g) = \frac{\textit{volumen muestra hinchada}}{\textit{peso de muestra}}$$

2.3.3. Protocolo de Capacidad de Ligación de Agua

Se determinó como se describe en el método estándar (46).

Se pesó 1 g de harina con una precisión de ± 5 mg y se mezcló con 10 ml de agua destilada. Después de esto, se centrifugó a una fuerza centrífuga relativa (RCF) de 2000 por 10 minutos.

El sobrenadante fue descartado y el resultado se expresó como gramos de agua retenidos por gramo de sólido.

$$CLA (g/g) = \frac{\textit{gramos de agua retenidos}}{\textit{gramo de harina}}$$

El apéndice C muestra gráficamente los procedimientos de propiedades de hidratación de harina de manera general.

2.4. Propiedades de Hidratación del Gel

2.4.1. Protocolo de Índice de Absorción de Agua e Índice de Solubilidad en Agua

Fueron determinados en un procedimiento conjunto siguiendo el método de Anderson, et al., 1969 (47) con ligeras modificaciones, haciendo cuatro réplicas de cada muestra.

Fueron pesados 50 mg de harina con una precisión de ± 0.1 mg, los que se dispersaron con 1 ml de agua destilada en un tubo eppendorf con la ayuda de una varilla de alambre.

Esta mezcla fue cocinada a 90 °C por 15 min en un baño de agua, tiempo luego del cual fue enfriada con hielo hasta alcanzar la temperatura ambiente. Después de esto, se centrifugó a 3000xg y 4 °C por 10 minutos y, finalmente, el sobrenadante fue decantado.

Para calcular el IAA, fue pesado el sedimento que permaneció en el tubo. El ISA, por otro lado, fue obtenido colocando el sobrenadante decantado en un vidrio de reloj y evaporándolo a 110 °C durante toda la noche para obtener, por diferencia de peso, los sólidos disueltos en el mismo.

Estos parámetros se calcularon por medio de las ecuaciones:

$$IAA (g/g) = \frac{\text{Peso del sedimento}}{\text{Peso de la muestra}}$$

$$ISA (g/100g)$$

$$= \frac{\text{Peso de los sólidos disueltos en el sobrenadante}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

2.4.2. Protocolo de Capacidad de Absorción de Aceite

Para determinar este valor, se aplicó el método de Lin, et al., 1974 (48) detallado a continuación; realizando, además, tres réplicas para cada muestra.

Se pesó 100 mg de harina con una precisión de ± 0.2 mg y se lo mezcló con 1 ml de aceite vegetal de venta en el mercado. El contenido fue mezclado con una varilla de alambre por un minuto para dispersar la muestra en el aceite, y luego vorteadado por un periodo de 30 min.

Luego, se centrifugó a 3000 xg y 4 °C por 10 minutos, el sobrenadante fue removido cuidadosamente con una pipeta y los eppendorf fueron invertidos por un periodo de 25 min para drenar el aceite. Finalmente, se pesó el contenido de los tubos.

La capacidad de absorción de aceite se expresó como gramos de aceite ligados por gramo de harina en base seca, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 & \text{CAA (g/g)} \\
 &= \frac{\text{Peso del sedimento después del drenado del aceite}}{\text{Peso de la muestra}}
 \end{aligned}$$

El apéndice D muestra gráficamente los procedimientos de propiedades de hidratación del gel de manera general.

2.5. Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existe diferencia significativa entre las propiedades de hidratación de la harina de banano obtenida en diferentes estados de madurez, y así comprobar si existe una correlación entre estos dos factores.

Así también, se realizó pruebas de rangos múltiples, con un 95% de confianza tomando dos grupos de muestras cada vez, para así poder separarlas en categorías similares o diferentes de acuerdo a los valores obtenidos en las pruebas.

Estos análisis fueron realizados empleando el programa Statgraphics Centurion XVI versión 16.2.04.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1. Análisis Estadístico de las Propiedades de Hidratación de la Harina del Banano Variedad Cavendish.

Los datos obtenidos una vez realizada la experimentación fueron tabulados en el software descrito anteriormente para el análisis estadístico correspondiente.

3.1.1. Capacidad de Retención de Agua

En el gráfico 3.1 se muestra el diagrama de cajas para el parámetro 'capacidad de retención de agua'. En él, se puede apreciar que los valores obtenidos para la harina proveniente

del estado de madurez 1 (en promedio 2.1925 g/g) fueron bastante menores con respecto a los valores obtenidos para la harina proveniente de los dos estados de madurez restantes.

También es importante resaltar que para los estados 2 y 3 la diferencia en la capacidad de retención de agua fue mucho menor, presentando promedios de 7.0918 g/g y 7.1380 g/g, respectivamente.

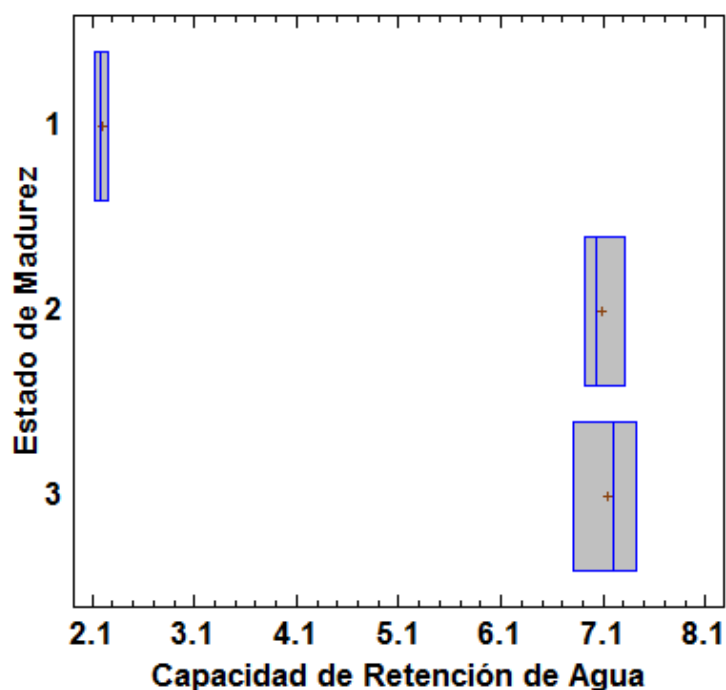


Gráfico 3.1 Diagrama de cajas para CRA
Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

En la prueba de análisis de varianza, la hipótesis nula planteada establece que NO EXISTE diferencia significativa de la CRA entre los diferentes estados de madurez seleccionados. Aseveración de la que se desea comprobar su validez analizando el valor P obtenido. Si este es menor a 0.05, se puede decir que se rechaza la hipótesis nula, es decir, efectivamente existe diferencia entre los estados de madurez. Por otro lado, si el valor P es mayor a 0.10, se puede decir que no existe suficiente evidencia estadística que demuestre que la hipótesis nula es falsa. Por esta razón, se puede continuar suponiendo que es verdadera, sin llegar a afirmarla.

En este caso, el valor P obtenido fue 0.00, lo que demuestra que en este experimento se evidenció diferencia significativa entre los tres estados de madurez analizados, sin especificar exactamente entre cuáles.

En la tabla 13 está representado el contraste entre cada uno de los estados de madurez. Aquí se puede apreciar que el estado 1 fue significativamente diferente a los estados 2 y 3, pero que estos a su vez no son significativamente diferentes entre sí. Esto comprueba lo ya observado en el diagrama de cajas.

TABLA 13. Prueba de rangos múltiples para Capacidad de Retención de Agua por Estado de Madurez
Método: 95.0 porcentaje LSD

Estado	Réplicas	Media	Grupos Homogéneos
1	3	2.19247	X
2	3	7.09183	X
3	3	7.13803	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1-2	*	-4.8994	0.4336
1-3	*	-4.9456	0.4336
2-3		-0.0462	0.4336

*Denota diferencia estadística significativa.

Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

En resumen, se puede decir que la CRA aumentó a medida que el banano variedad Cavendish avanzó su proceso de maduración, pasando de un estado de madurez a otro.

3.1.2. Volumen de Hinchamiento

En el gráfico 3.2 se muestra el diagrama de cajas para el parámetro 'volumen de hinchamiento'. En él, se puede apreciar que el valor promedio obtenido para la harina proveniente del estado de madurez 1 (3.4664 ml/g) fue menor con respecto al promedio de la harina proveniente del estado 2 (4.6660 ml/g), siendo, a su vez, menor al promedio de la harina proveniente del estado 3 (5.0347 ml/g).

Sin embargo, para este experimento, los valores del estado 1 siguieron pareciendo más distantes con respecto a los otros dos estados.

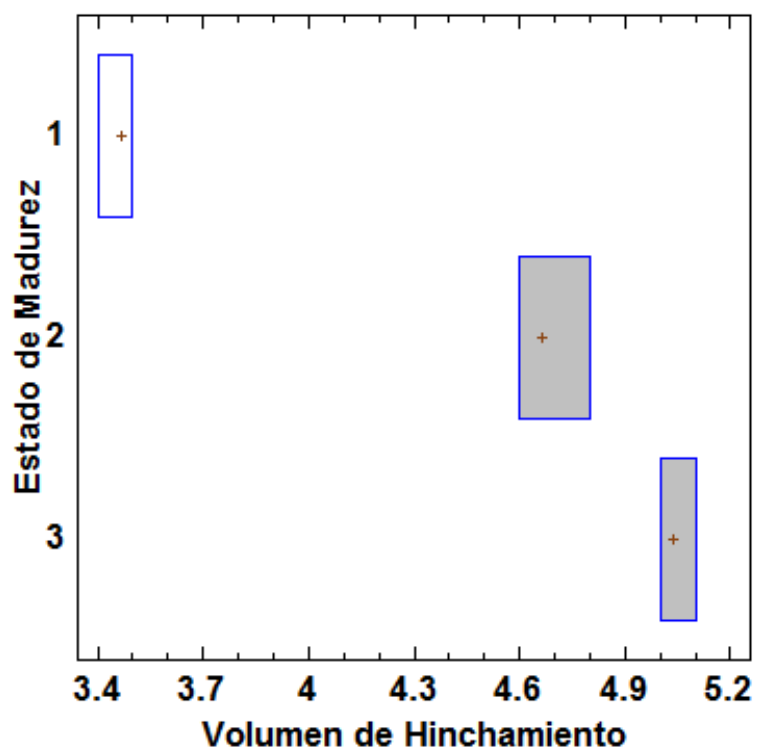


Gráfico 3.2 Diagrama de cajas para VH
Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

En el resultado del análisis de varianza para el parámetro VH se observó que el valor P obtenido fue también 0.00. Esto quiere decir que los resultados obtenidos para este experimento evidenciaron una diferencia significativa existente entre los tres estados de madurez, de manera general.

Finalmente, en tabla 14 está representado el contraste entre cada uno de los estados de madurez para el VH. Aquí se puede apreciar que para los tres estados, la diferencia fue significativa y, por esta razón, fueron separados en tres grupos diferentes. A su vez, se muestra que a pesar de ser muy pequeña con respecto a la observada para el estado 1, la diferencia entre los estados de madurez 2 y 3 siguió siendo considerada significativa.

TABLA 14. Prueba de rangos múltiples para Volumen de Hinchamiento por Estado de Madurez
Método: 95.0 porcentaje LSD

Estado	Réplicas	Media	Grupos Homogéneos
1	3	3.4665	X
2	3	4.6660	X
3	3	5.0347	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1-2	*	-1.1996	0.1630
1-3	*	-1.5682	0.1630

2-3	*	-0.3686	0.1630
-----	---	---------	--------

* Denota diferencia estadística significativa.

Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

En resumen, se puede decir que el VH también aumentó a medida que el banano variedad Cavendish avanzó su proceso de maduración, pasando de un estado de madurez a otro.

3.1.2. Capacidad de Ligación de Agua

En el gráfico 3.3 se muestra el diagrama de cajas para el parámetro 'capacidad de ligación de agua'. En él, se puede apreciar que el valor promedio obtenido para la harina proveniente del estado de madurez 1 (1.5422g/g) fue mayor con respecto al promedio de la harina proveniente del estado 2 (1.4815 g/g) que, a su vez, fue ligeramente menor al promedio de la harina proveniente del estado 3 (1.4923 g/g).

El gráfico es diferente a los observados en los experimentos de hidratación previos. Sin embargo, es notorio también que la diferencia observada fue menor entre cada uno de ellos, debido a la variabilidad presentada por los datos, presumiéndose que esta transformación en los resultados obtenidos puede no ser tan significativa.

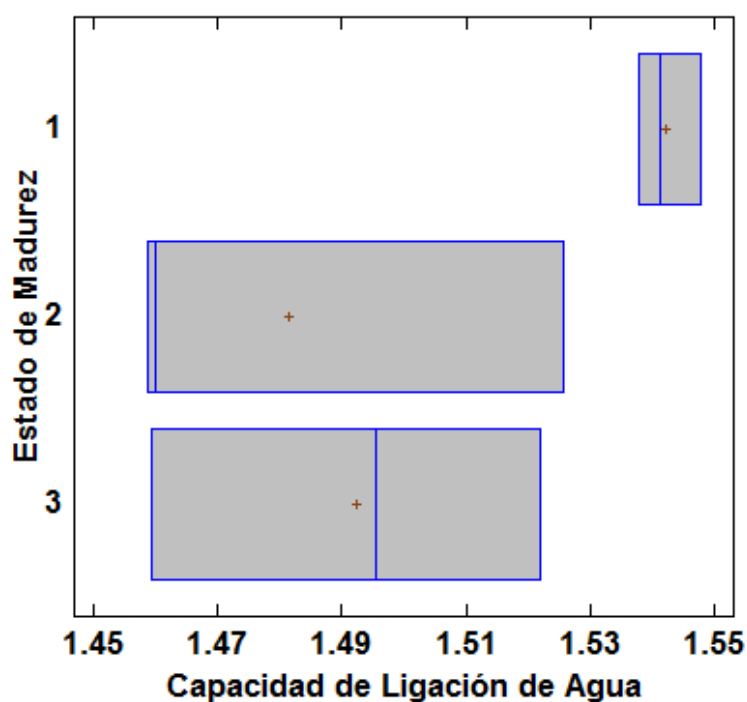


Gráfico 3.3 Diagrama de cajas para CLA
Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

En la prueba de análisis de varianza se puede apreciar que el valor P obtenido fue 0.09. Este valor se encuentra entre los límites planteados para el rechazo y no rechazo de la hipótesis nula, lo que indica que se encuentra en una zona de incertidumbre estadística en la cual no es posible decidir sobre la validez o no de la hipótesis planteada. Sin embargo, es posible observar cierta inclinación hacia el no rechazo de la misma, incertidumbre que pudo resolver con la prueba de rangos múltiples analizada a continuación.

Esta prueba se encuentra representada en tabla 15. Aquí está claramente definida que la diferencia significativa entre los valores obtenidos del experimento 'capacidad de ligación de agua' estuvo dada solo entre los estados de madurez 1 y 3, siendo el estado 2 poco diferente entre ambos.

Se pueden apreciar dos grupos homogéneos, con medias significativamente diferentes y donde el estado 2 pertenece a ambos, funcionando como un nexo entre ellos.

TABLA 15. Prueba de rangos múltiples para Capacidad de Ligación de Agua por Estado de Madurez
Método: 95.0 porcentaje LSD

Estado	Réplicas	Media	Grupos Homogéneos
2	3	1.4815	X
3	3	1.4923	X X
1	3	1.5422	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1-2	*	0.0607	0.0574
1-3		0.0499	0.0574
2-3		-0.0108	0.0574

* Denota diferencia estadística significativa.

Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

En resumen, se puede decir que la CLA, presentó un comportamiento variable con respecto a los estados de madurez analizados, siendo sus resultados poco concluyentes para la harina de banano variedad Cavendish.

3.2. Análisis Estadístico de las Propiedades de Hidratación del Gel del Banano Variedad Cavendish

3.2.1. Índice de Absorción de Agua e Índice de Solubilidad en Agua

a. Índice de Absorción de Agua

En el gráfico 3.4 se muestra el diagrama de cajas para el parámetro 'índice de absorción de agua'. En él, se puede apreciar que los valores obtenidos para la harina proveniente del estado de madurez 1 (en promedio 8.8011 g/g) fueron bastante menores con respecto a los valores obtenidos para la harina proveniente de los dos estados de madurez restantes.

También es importante resaltar que para los estados 2 y 3 la diferencia en el índice de absorción de agua fue mucho menor,

presentando promedios de 10.0145 g/g y 10.1187 g/g, respectivamente. Siendo también el estado de madurez 3, el que obtuvo la menor dispersión en los datos experimentales obtenidos.

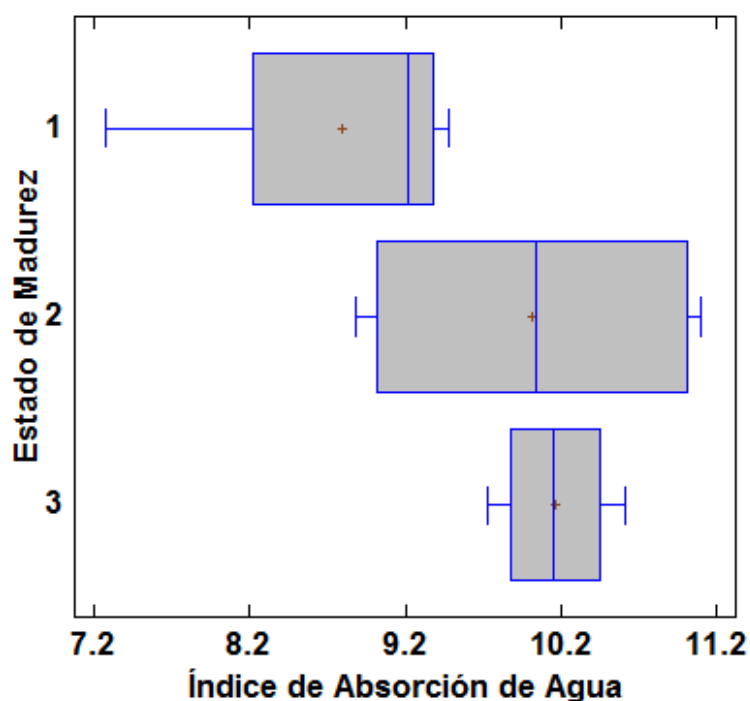


Gráfico 3.4 Diagrama de cajas para IAA
Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

En el análisis de varianza para el parámetro IAA, el valor P obtenido fue 0.12. Esto muestra que los resultados de este experimento no representan suficiente evidencia estadística de que estados de madurez diferentes posean índices de

absorción de agua distintos, pero tampoco quiere decir que se puede afirmar que efectivamente sean similares. Se pudo analizar esto de mejor manera a través de los contrastes individuales de la prueba de rangos múltiples.

En la tabla 16 está representado el contraste entre cada uno de los estados de madurez. En este caso particular, de acuerdo a la prueba de índice de absorción de agua, las medias obtenidas pueden ser englobadas en un solo grupo homogéneo, es decir, ninguna es significativamente diferente a la otra.

TABLA 16. Prueba de rangos múltiples para Índice de Absorción de Agua por Estado de Madurez
Método: 95.0 porcentaje LSD

Estado	Réplicas	Media	Grupos Homogéneos
1	4	8.8011	X
2	4	10.0145	X
3	4	10.1600	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1-2		-1.2135	1.4657
1-3		-1.3589	1.4657
2-3		-0.1455	1.4657

Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

En resumen, se puede decir que el IAA no pareció aumentar, ni disminuir de acuerdo al estado de madurez con que se produjo la harina.

b. Índice de Solubilidad en Agua

En el gráfico 3.5 se muestra el diagrama de cajas para el parámetro 'índice de solubilidad en agua'. En él, se puede apreciar que los valores obtenidos para la harina proveniente del estado de madurez 1 (en promedio 11.25 g/100 g) fueron mayores respecto a los valores obtenidos para la harina proveniente de los dos estados de madurez restantes.

A su vez, el estado de madurez 2, presentó un promedio de ISA de 9.51 g/100 g que resultó menor al estado 1, pero también mayor al estado 3, para el cual el promedio es 5.90 g/100 g. En este gráfico se observa también que el estado de madurez 3 obtuvo la menor dispersión en los datos experimentales obtenidos.

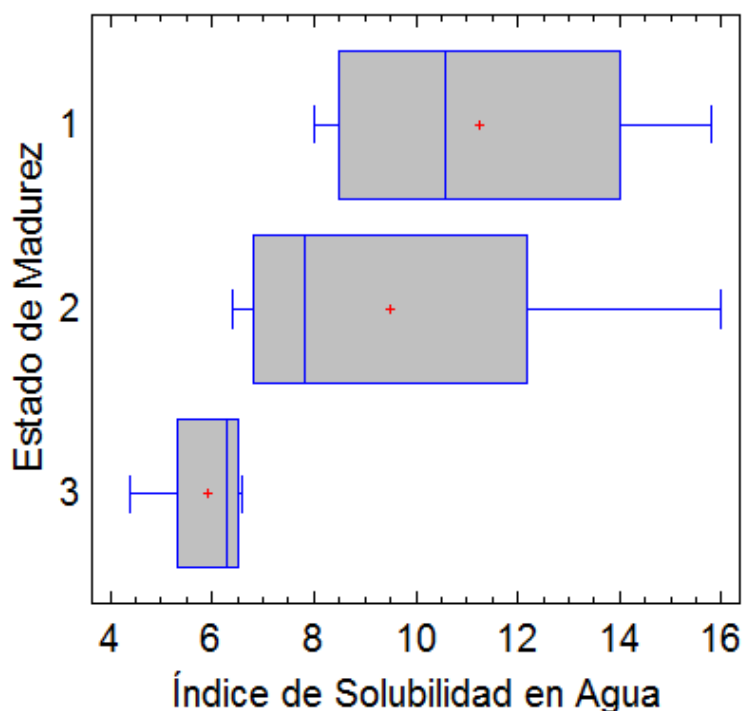


Gráfico 3.5 Diagrama de cajas para ISA
Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

En la prueba de análisis de varianza para el parámetro ISA, el valor P obtenido fue 0.12. Esto demuestra que los resultados de este experimento no representan suficiente evidencia estadística de que estados de madurez diferentes posean índices de solubilidad en agua distintos.

El mismo resultado pudo ser apreciado para el parámetro IAA, sin embargo fue necesario el análisis de la prueba de rangos múltiples para comprobar esta semejanza en los mismos.

Esto se representa en la tabla 17: las medias obtenidas fueron separadas en dos grupos homogéneos, donde tanto los estados 1 y 3 poseen cada uno su grupo y el estado 2 comparte similitud en los resultados con ambos.

TABLA 17. Prueba de rangos múltiples para Índice de Solubilidad en Agua por Estado de Madurez
Método: 95.0 porcentaje LSD

Estado	Réplicas	Media	Grupos Homogéneos
3	4	5.8967	X
2	4	9.5068	X X
1	4	11.2495	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1-2		1.7427	5.2914
1-3	*	5.3528	5.2914
2-3		3.6101	5.2914

* Denota diferencia estadística significativa.

Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

En resumen, se puede decir que el ISA es una propiedad de hidratación que disminuyó a medida que el banano aumentó su estado de madurez, comportamiento que será analizado en la sección “Discusión” de este mismo capítulo.

3.2.2. Capacidad de absorción de aceite

Como parámetro final fue analizada la 'capacidad de absorción de aceite' de las muestras de harina de banano variedad Cavendish de los estados de madurez 1, 2 y 3. En el gráfico 3.6 se presenta los resultados del diagrama de cajas para el mismo.

Se puede observar claramente la diferencia del estado de madurez 1 con respecto a los siguientes. Por otro lado, existió una ligera diferencia entre los estado 2 y 3, tendencia que se ha ido presentado a lo largo de los demás experimentos. Las medias en la CAA para cada uno de los diferentes estados fueron: 1.7577 g/g, para el estado 1; 2.1297 g/g, para el estado 2; y 2.1959 g/g, para el estado 3.

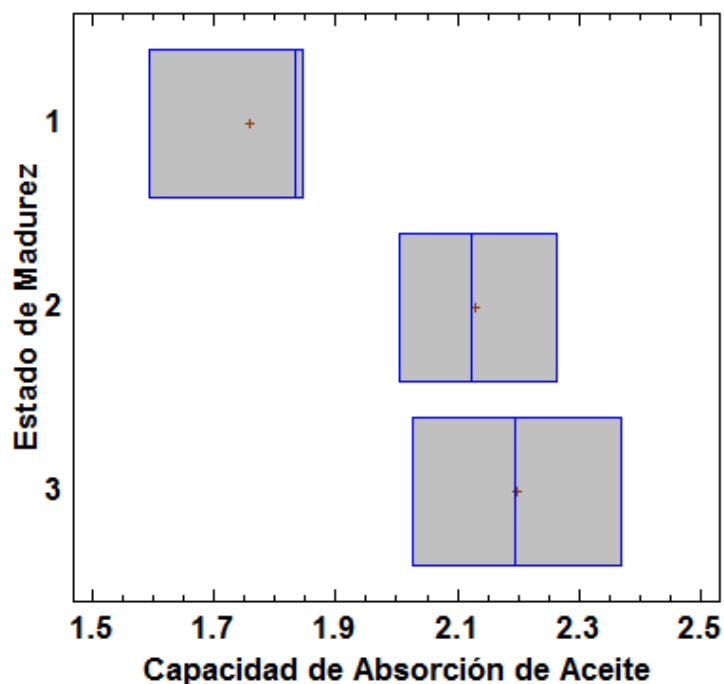


Gráfico 3.6 Diagrama de cajas para CAA
Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

En el análisis de varianza para el parámetro CAA el valor P obtenido fue 0.02. Esto quiere decir que efectivamente los resultados obtenidos para este experimento evidenciaron una diferencia significativa existente entre los tres estados de madurez, de manera general.

Finalmente, en la tabla 18 está representado el contraste entre cada uno de los estados de madurez para la CAA. Aquí se puede apreciar que la diferencia en los valores fue significativa

solo entre el estado 1 y los demás, pero no para los estados 2 y 3. Por esta razón, es apreciable la presencia de dos grupos homogéneos totalmente diferentes entre sí.

TABLA 18. Prueba de rangos múltiples para Índice de Solubilidad en Agua por Estado de Madurez
Método: 95.0 porcentaje LSD

Estado	Réplicas	Media	Grupos Homogéneos
1	3	1.7577	X
2	3	2.1298	X
3	3	2.1959	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1-2	*	-0.3721	0.294815
1-3	*	-0.4382	0.294815
2-3		-0.0661	0.294815

* Denota diferencia estadística significativa.

Elaborado por: Rivera, Viviana, 2014.

En resumen, se puede decir que la CAA aumentó a medida que el banano variedad Cavendish avanzó su proceso de maduración, siendo más considerable el cambio entre el estado de madurez 1 y 2, que entre los estados de madurez 2 y 3.

3.3. Discusión

De acuerdo a los resultados observados en las pruebas de hidratación, las tendencias en cada una de ellas varían.

Con respecto a la capacidad de retención de agua, se puede decir que se observa un aumento a medida que el estado de madurez aumenta también. Esto puede deberse a que durante la maduración, las enzimas amilolíticas -como amilasas, sucrosa sintasas y sucrosa-fosfato sintasas (49)- atacaron las estructuras amorfas de los gránulos de almidón, dejando los enlaces hidrofílicos más expuestos a la captación y posterior retención de agua. En el estado de madurez 1, probablemente el proceso de degradación del almidón no había comenzado aún, mientras que en los dos estados siguientes, este ya había tomado parte, haciendo menor la diferencia entre dichos estados.

Un comportamiento similar pudo ser apreciado en referencia al volumen de hinchamiento. Estudios previos señalan que la causa más probable de dicho resultado es que a medida que la degradación de almidón ocurrió en la fruta, el tamaño de los gránulos disminuyó (27), aumentando la relación superficie/volumen y facilitando el ingreso de agua en la molécula. Además de esto, el alto porcentaje de amilopectina (aproximadamente 80 %) contribuyó en gran medida a este

hinchamiento; mostrando valores mayores a los previamente reportados por Cedeño, et al., 2013 (50) en almidón de arroz.

Una tendencia diferente se observó en lo que respecta a la capacidad de ligación de agua: el valor presentado por la harina de banano en estado de madurez 1 fue mayor al obtenido en los estados 2 y 3. Este comportamiento puede deberse a que esta propiedad depende no sólo del almidón, sino también de la cantidad de fibra dietética y proteína presente. En el apéndice E, se muestran los resultados de un estudio de la composición química del banano Cavendish en sus diferentes estados de madurez -realizado por Wills, et al., 1984 (51)-, el que indicó que la fibra dietética disminuía continuamente, mientras que el valor de la proteína disminuía solo pasando del estado 1 al 2, manteniéndose prácticamente constante en adelante. Además de esto, los valores de CLA encontrados son relativamente bajos, y esto puede ser un indicativo de la fuerte ligación existente entre las cadenas de amilosa y amilopectina en el gránulo de almidón.

El análisis de resultados del índice de absorción de agua demostró que no existió diferencia significativa entre los

diferentes estados de madurez. Esto parece deberse al complejo proceso de gelatinización en el que la zona amorfa del gránulo libera amilosa dejando las cadenas de amilopectina libres para la absorción de agua. No obstante, el porcentaje de amilopectina disponible para este fenómeno parece no variar en gran medida. Se ha reportado que el IAA tiende a variar de acuerdo al contenido de beta-glucanos (42), pero no se ha demostrado su presencia en banano.

Por otro lado, el índice de solubilidad en agua en este estudio demostró ser inversamente proporcional al cambio en el estado de madurez. Este resultado puede justificarse debido a la reducción de amilosa en el gránulo de almidón, ya que prácticamente toda está presente en la zona amorfa del mismo. Por lo tanto, al disminuir la cantidad de almidón a medida que avanzó la maduración de la fruta, menor cantidad de amilosa quedó disponible para solubilizarse; dando como resultado un menor ISA para el estado de madurez subsiguiente.

Finalmente, la capacidad de absorción de aceite mostró ser significativamente diferente para el estado de madurez 1; no así para los dos estados restantes. Puede decirse que a pesar

de no existir un cambio en la cantidad de lípidos, ni en las cadenas lipofílicas de las proteínas presentes en el banano (51), la alta densidad del gránulo de almidón en el estado 1 dificultó la absorción de aceite. En contraparte, los estados 2 y 3 presentaron, probablemente, un gránulo menos denso con mayor facilidad para retenerlo.

Tanto la capacidad de retención de agua, el volumen de hinchamiento y la capacidad de absorción de aceite se encontraron significativamente correlacionados, presentando valores de coeficiente de correlación de por lo menos 0.8163. Esto se debe a que presentaron tendencias similares en sus resultados, donde las propiedades estudiadas aumentaron para cada estado de madurez consecutivo.

Dicho esto, el estado de madurez parece ser determinante en las propiedades de hidratación de la harina y del gel de banano variedad Cavendish debido a las múltiples transformaciones que ocurren durante su maduración; entre las que se destacan: conversión de almidón en azúcares y la consecuente

modificación de su estructura interna, así como variación en el contenido de proteína, grasa y fibra.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los objetivos planteados al inicio de esta investigación fueron satisfactoriamente cumplidos en cada una de sus fases.
2. De acuerdo a los resultados obtenidos en las distintas pruebas de este estudio, se rechaza la hipótesis nula inicialmente planteada. Es decir, efectivamente el estado de madurez influye en las propiedades de hidratación de la harina y del gel de banano Cavendish. Entre los factores determinantes de esta influencia se encuentran: contenido y estructura del almidón, así como cantidad de proteína, grasa y fibra.
3. El estado de madurez con mayor CRA y VH fue el estado 3, con un promedio de 7.14 g agua/g harina y 5.03 ml/g harina, respectivamente. Esto indica que podría retardar el endurecimiento

del pan libre de gluten, cocinarse mejor, pero podría presentar tendencia a ser menos resistente ante fuerzas de cizallamiento.

4. El estado de madurez con mayor CLA fue el estado 1; el menor, el estado 2 con promedios de 1.54 y 1.48 g agua/g harina, respectivamente. Llegando a la conclusión de que el segundo podría producir pan fresco, con firmeza y volumen adecuado.
5. El estado de madurez con mayor IAA y menor ISA, fue el estado 3, con un promedio de 10.12 g sedimento/g harina y 5.80 g sólidos disueltos/ 100 g harina, respectivamente. Harina en este estado podría usarse en productos que requieran de una alta viscosidad; así también, durante el horneado podría aumentar la suavidad inicial y disminuir el endurecimiento del pan.
6. Finalmente el estado de madurez con mayor CAA fue el estado 3, con un promedio de 2.20 g sedimento/ g muestra; sin que se conozca con exactitud sus efectos en productos de la industria de la panificación.
7. En general, los estados de madurez con mejores propiedades de hidratación observadas fueron los estados 2 y 3, de entre los cuales este último resultó ser, aparentemente, el mejor. Debido a esto, se

recomienda sean considerados para estudios de su influencia en la elaboración de pan.

8. Una de las mayores transformaciones que atraviesa el almidón de banano durante la maduración es la reducción de su tamaño en los primeros estados de madurez; esto debido a la degradación mediada por enzimas amilasas, sucrosa sintasas y sucrosa-fosfato sintasas. Acompañándose esta reducción por el apareamiento de estrías en la superficie del mismo en los estados de madurez más avanzados.
9. La maduración del banano es un proceso que ocurre rápidamente (en ausencia de agentes antimaduradores). Por esta razón, es importante un riguroso control de los cambios físicos y químicos – como color y contenido de sólidos solubles- para la correcta identificación de los estados de madurez para la elaboración de harina.
10. Es importante la prevención de la oxidación de la fruta para obtener harina con un color deseable, imitando las características a emplearse en la industria. De la misma manera, el control de los parámetros de secado es fundamental para evitar daños en la estructura del almidón que modifiquen sus características de hidratación y formación de gel.

11. Futuros estudios a realizarse deberían hacer referencia a las propiedades reológicas de las soluciones acuosas de harina de banano, así como a los efectos directos sobre la textura, volumen y propiedades sensoriales del pan producido con dicha harina.

APÉNDICES

APÉNDICE A
TABLA DE COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA PULPA
DE BANANO

Análisis proximal y composición de macronutrientes de 100 g de pulpa de banano

Parámetro	Unidad	Valor	
Energía	kcal		89.00
Agua	g		74.91
Proteína	g		1.09
Ác. Glutámico	g	0.152	
Ác. Aspártico	g	0.124	
Histidina	g	0.077	
Leucina	g	0.068	
Lisina	g	0.050	
Fenilalanina	g	0.049	
Valina	g	0.047	
Alanina	g	0.040	
Treonina	g	0.028	
Isoleucina	g	0.028	
Tryptófano	g	0.009	
Metionina	g	0.008	

Parámetro	Unidad	Valor	
Grasas totales	g		0.33
Ác. Gr. Saturados	g	0.112	
Ác. Gr. Monoinsaturados	g	0.032	
Ác. Gr. Poliinsaturados	g	0.073	
Colesterol	mg	0.000	
Carbohidratos totales	g		22.84
Fibra dietaria total	g	2.60	
Azúcares totales	g	12.23	
Sacarosa	g	2.39	
Glucosa (dextrosa)	g	4.98	
Fructuosa	g	4.85	
Lactosa	g	0.00	
Maltosa	g	0.01	
Almidón	g	5.38	
Ceniza	g		0.82

Fuente: Adaptado de United States Department of Agriculture, 2014 (15)

Composición de micronutrientes de 100 g de pulpa de banano

Parámetro	Unidad	Valor	
Vitaminas			
Vitamina C	mg	8.700	
Tiamina	mg	0.031	
Riboflavina	mg	0.073	
Niacina	mg	0.665	
Ácido Pantoténico	mg	0.334	
Vitamina B-6	mg	0.367	
Folatos totales	µg	20.00	
Vitamina A	µg	3.000	
Vitamina D	µg	0.000	
Vitamina E	mg	0.100	
Vitamina K	µg	0.500	

Parámetro	Unidad	Valor	
Minerales			
Potasio	mg	358	
Magnesio	mg	27.0	
Fósforo	mg	22.0	
Calcio	mg	5.00	
Sodio	mg	1.00	
Selenio	µg	1.00	
Manganeso	mg	0.270	
Hierro	mg	0.26	
Zinc	mg	0.15	
Cobre	mg	0.078	

Fuente: Adaptado de United States Department of Agriculture, 2014 (15)

APÉNDICE B
PRODUCCIÓN DE HARINA DE BANANO

Selección de la materia prima

Estado de madurez 1 (*Prom.: 2.6 °Brix*)



Estado de madurez 2 (*Prom.: 4.9 °Brix*)



Estado de madurez 3 (*Prom.: 11.2 °Brix*)



Elaboración de harina

Corte, inmersión y escurrido
de rodajas de banano.



Proceso de secado
a 50 ± 5 °C por 24 h.

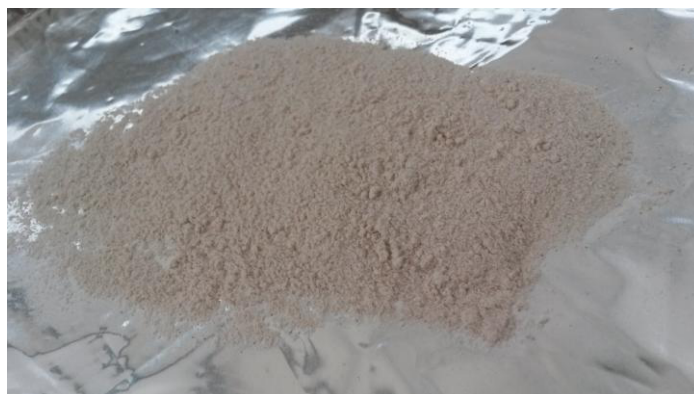


Rodajas secas, previo a la
molienda.



Obtención de harina

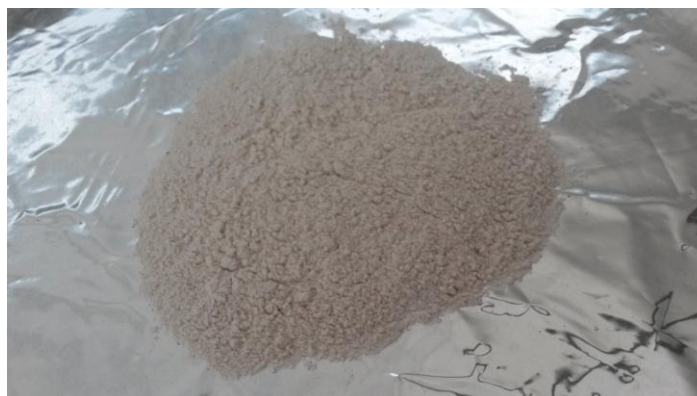
Estado de madurez 1 (A_w : 0.242, %HR: 6.09 %)



Estado de madurez 2 (A_w : 0.272, %HR: 5.97 %)



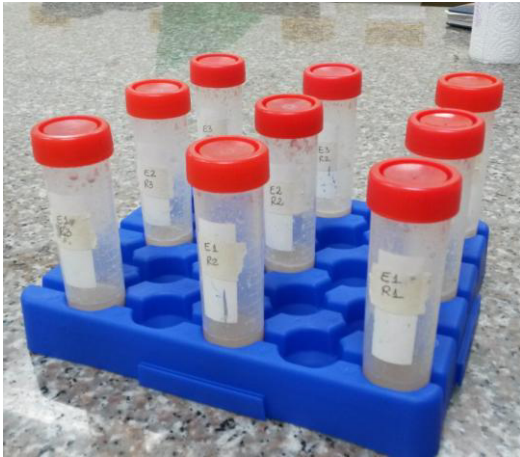
Estado de madurez 3 (A_w : 0.253, %HR: 5.76 %)



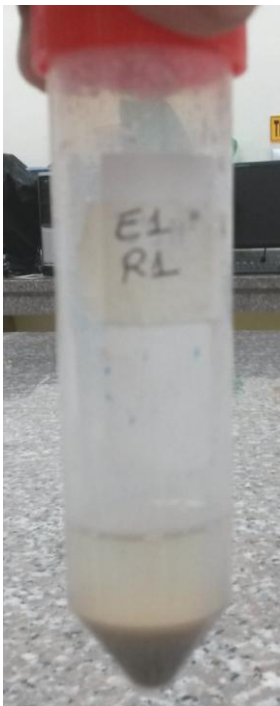
APÉNDICE C

PROPIEDADES DE HIDRATACIÓN DE HARINA

Capacidad de Retención de Agua



Antes del periodo de reposo.

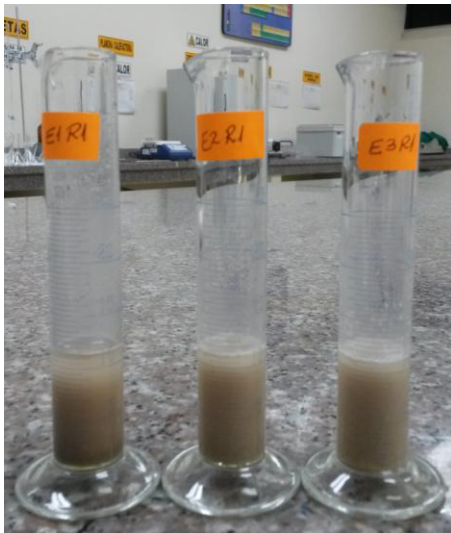


Retención de agua y separación de fases.



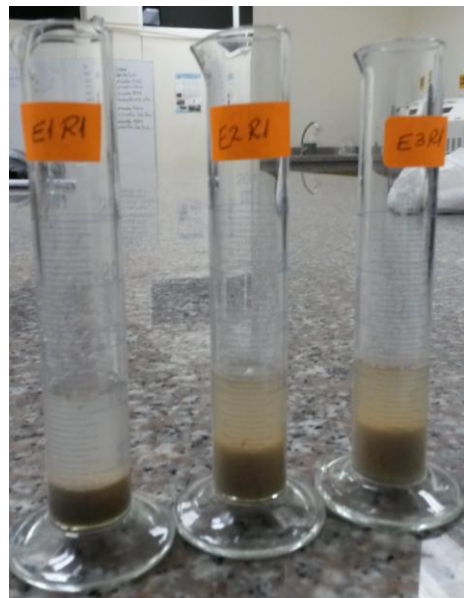
Decantación de las muestras.

Volumen de Hinchamiento

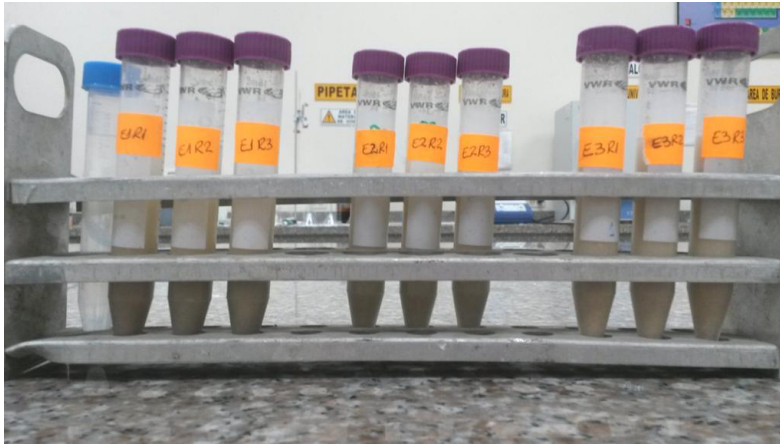


Solución de agua y
harina.

Muestras hinchadas,
luego del periodo de
reposo de 24 h.

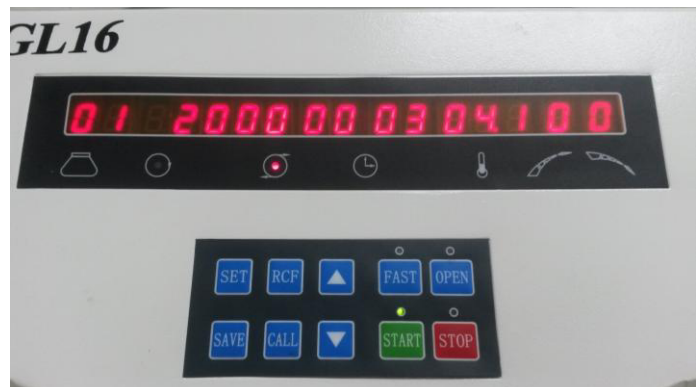


Capacidad de Ligación de Agua



Ligación de agua por parte de las muestras.

Parámetros de operación del proceso de centrifugación.



Separación de fases, luego de la centrifugación.

APÉNDICE D
POPIEDADES DE HIDRATACIÓN DEL GEL

Índice de Absorción de Agua

Muestra sometida a calentamiento para la formación del gel.



Parámetros de operación del proceso de centrifugación.

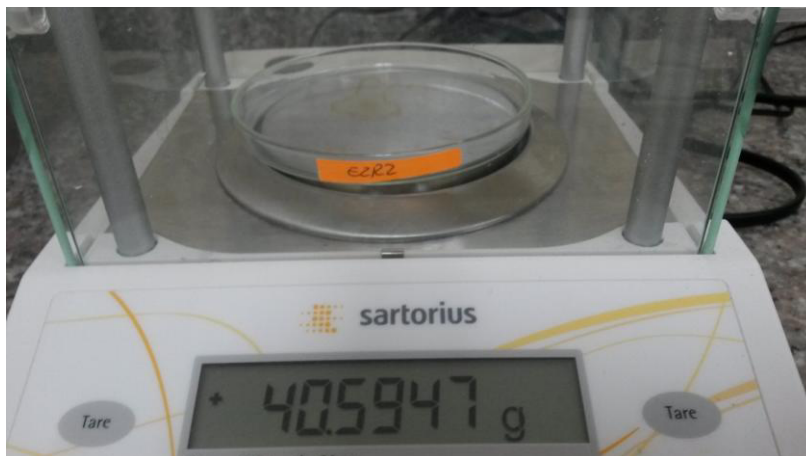
Peso del sedimento formado.



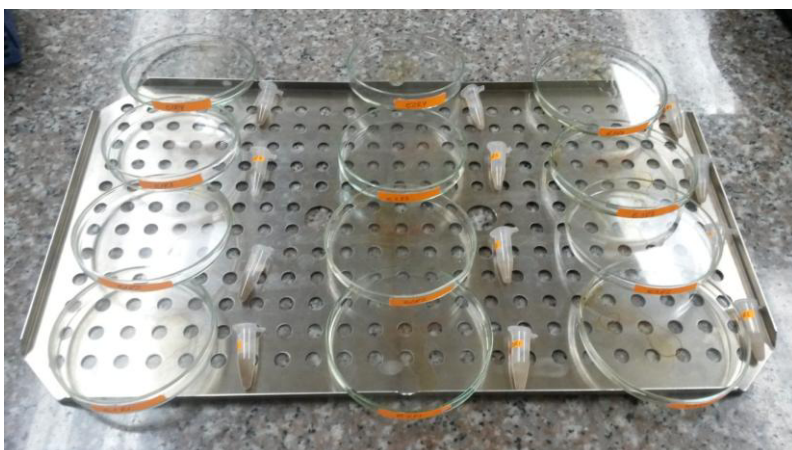
Índice de Solubilidad en Agua



Sobrenadante
sometido a secado en
estufa.



Pesado de los sólidos
resultantes, luego del
secado.



Muestras de IAA e ISA
juntas.

Capacidad de Absorción de Aceite

Parámetros de
operación del proceso
de centrifugación.



Escurrido de aceite por
25 min.



APÉNDICE E

TABLA DE COMPOSICIÓN DE BANANO VARIEDAD CAVENDISH DE ACUERDO AL ESTADO DE MADUREZ.

Composición proximal de la pulpa de banano durante la maduración (g/100 g)

Estado de Madurez	Agua	Proteína ¹	Grasa	Carbohidratos				Fibra	Ácidos Orgánicos				Ceniza	Energía ² (KJ)		
				Azúcares					Almidón	Dietética	Málico	Cítrico			Oxálico	Total
				Fructuosa	Glucosa	Sacarosa	Total									
1 ³	71.9	1.9	0.1	0.1	0.2	1.0	1.3	21.2	3.2	0.19	0.23	0.007	0.43	0.4	435	
3	73.2	1.7	0.1	1.0	1.6	6.4	9.0	12.0	2.7	0.41	0.22	0.003	0.63	0.5	399	
4	73.6	1.7	0.1	1.4	1.9	7.8	11.1	10.2	2.8	0.32	0.21	0.003	0.53	0.4	401	
5	74.0	1.7	0.1	2.0	2.9	9.5	14.4	5.8	2.5	0.26	0.15	0.003	0.41	0.5	377	
6	75.1	1.7	0.1	2.4	3.6	11.2	17.2	1.9	2.5	0.25	0.14	0.004	0.39	0.5	354	
7	76.1	1.6	0.1	3.2	4.2	8.8	16.2	0.8	1.9	0.25	0.15	0.004	0.40	0.5	315	

¹ % N x 6.25

² Energía (kJ) = (g proteína x 17) + (g grasa x 37) + (g monosacáridos x 16) + (g sacarosa x 16.8) + (g almidón x 17.6) + (g ácidos x 10)

³ La fruta había 'brotado'

Fuente: Adaptado de Wills et. al, 1984.

BIBLIOGRAFÍA

1. University of California, Santa Cruz. The History of the Banana: In the Beginning... *The History of the Banana: Ancient Origins to the 1800s*. [En línea] 15 de Agosto de 2007

<http://cwh.ucsc.edu/bananas/Site/Early%20History%20of%20the%20Banana.html>.
2. Krivonos, Ekaterina. Recent developments in global banana markets. *FAO*. [En línea] 2011.

http://www.fao.org/fileadmin/templates/banana/documents/SC_meeting_December_2012/Presentations_SC_2012/SC5-EST_presentation.pdf.
3. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. *Análisis del Sistema Agroalimentario del Banano en el Ecuador*. Quito : INEC, 2009.

4. FAO. Top production bananas - 2012. *FAOSTAT*. [En línea] 2012.
<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
5. FAO. *Banana Market Review and Banana Statistics 2012-2013*. Roma : s.n., 2014.
6. Ledesma, Eduardo. *La Industria Bananera Ecuatoriana*. Guayaquil : A.E.B.E., 2009.
7. INEC. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). *Ecuador en cifras*. [En línea] 2012.
http://www.inec.gob.ec/ESPAC2012/PRESENTACION-Espac.pdf?TB_iframe=true&height=600&width=1000.
8. A.E.B.E. Banana Export. [En línea] 2013.
http://www.bananaexport.com/noticias/estadisticas_2013.htm.
9. El Universo. Exportadores de banano piden revisión de precio. *El Universo*. 2013.
10. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. *MIPRO: Harina de banano apta para elaborar pan*. [En línea] 2014.
<http://portalbananero.agricultura.gob.ec/index.php/noticias-nacionales/124-mipro-harina-de-banano-apta-para-elaborar-pan>.

11. Goldenforce Bananas. Especificaciones Técnicas. [En línea] 2012.
[Citado el: 12 de Marzo de 2014.]

<http://www.goldenforcebananas.com/es/productos-y-marcas/bananas.html>.
12. Jordán, MJ., et al. *Aromatic profile of aqueous banana essence and banana fruit by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and gas chromatography-olfactometry (GC-O)*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2001.
13. Barbosa, Antonio, Nebra, Silvia y de Queiroz, Marlene. *Aspectos científico e tecnológico da banana*. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. 2000, págs. 87-101.
14. Viana, Nivaldo. Dissertações UESB. *Sítio Web Universidade Estadual do Sudeste da Bahia*. [En línea] 2010.

<http://www.uesb.br/ppgengalimentos/dissertacoes/2011/FARINHA%20DE%20BANANA%20MADURA%20-%20PROCESSO%20DE%20PRODU%CC3%87%C3%83O%20E%20APLICA%CC3%87%C3%95ES.pdf>.
15. United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference. *Agricultural Research Service - USDA*. [En línea] 2014.

<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2237?fg=&man=&lfacet=&count=&max=25&sort=&qlookup=banana&offset=&format=Full&new=&measureby=>.

16. Robinson, J.C. *Bananas and Plantains*. Wallingford : CAB International, 1996.
17. Weaver, Connie y Charley, Helen. *Enzymatic browning of ripening bananas*. Journal of Food Science. 1974, págs. 1200-1202.
18. Von Loesecke, H. W. *Bananas*. 2da. Edición. Nueva York : Interscience Publishers, 1950.
19. Wills, R., et al. *Fisiología y Manipulación de Frutas y Hortalizas Post-recolección*. Segunda Edición. Zaragoza : Editorial Acribia S.A., 1999.
20. Liew, C. y Lau, C. *Determination of quality parameters in Cavendish banana during ripening by NIR spectroscopy*. International Food Research Journal. 2012, págs. 751-758.
21. Miller Magazine. World wheat and flour market. [En línea] 2014.
<http://en.millermagazine.com/world-wheat-and-flour-market/>.
22. Wenzel, E, et al. *Chemical Composition and Nutritional Value of Unripe Banana Flour (Musa acuminata, var. Nanicão)*. Plant Foods for Human Nutrition. 2011, págs. 231-237.

23. Alkarkhi, Abbas, et al. *Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits*. Food Chemistry. 2011, págs. 312-318.
24. VaxaSoftware. Viscosidad dinámica del agua líquida a varias temperaturas. [En línea] 2014.
http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/viscoh2o.pdf.
25. Ramli, Saifullah, et al. *The use of principle component and cluster analyses to differentiate banana pulp flours based on starch and dietary fiber components*. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2009, págs. 317-325.
26. Vieira, Carolina, et al. *Nutritional Potencial of Green Banana Flour Obtained by Drying in Spouted Bed*. Revista Brasileira de Fruticultura, 2013, págs. 1140-1146.
27. Ling, L., et al. *Physical properties of starch from cavendish banana fruit*. Starch, 2006, págs. 184-188.
28. García, E. y Lajolo, F. *Starch transformation during banana ripening: The amylase and glucosidase behavior*. Journal of Food Science, 2006, págs. 1181-1186.

29. Murillo, Olga. Ficha técnica de industrialización de plátano (*Musa spp.*). *Consejo Nacional de Producción* -. [En línea] 2014.
- http://www.cnp.go.cr/biblioteca/fichas/platano_FTP.pdf.
30. Abiodun-Solanke, A. y Falade, K. A review of the uses and methods of processing banana and plantain (*Musa spp.*) into storable food products. *Federal University of Agriculture, Abeokuta*. [En línea] 2010.
- [http://www.unaab.edu.ng/publications-abstract/A%20review%20of%20the%20uses%20and%20methods%20of%20processing%20banana%20and%20plantain%20\(Musa%20spp.\)%20into%20storable%20food%20products.pdf](http://www.unaab.edu.ng/publications-abstract/A%20review%20of%20the%20uses%20and%20methods%20of%20processing%20banana%20and%20plantain%20(Musa%20spp.)%20into%20storable%20food%20products.pdf).
31. Bello, José. *Ciencia Bromatológica: Principios generales de los alimentos*. Madrid : Díaz de Santos, 2000. págs. 206-215.
32. Universidad de Córdoba. Anexo I: Materias Primas. *Biblioteca Virtual de Projectis de Ingeniería*. [En línea] 2002.
- <http://www.uco.es/dptos/bromatologia/tecnologia/bib-virtual/bajada/mempan.pdf>.
33. Pincirolí, María. Proteínas de arroz: Propiedades estructurales y funcionales. *Universidad Nacional de la Plata*. [En línea] 2010.

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1828/Documento_completo_.pdf?sequence=3.

34. Sciarini, L., et al. *Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality*. Food and Bioprocess Technology, 2010, págs. 577-585.
35. Otegbayo, B., Lana, O. y Ibitoye, W. *Isolation and physicochemical characterization of starches isolated from plantain (Musa paradisiaca) and cooking banana (Musa sapientum)*. Journal of Food Biochemistry, 2010, págs. 1303-1318.
36. Guízar, M., Montañéz, J. y García, I. *Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote del cerro*. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 2008, págs. 81-88.
37. Medcalf, D. y Gilles, K. Wheat Starches: I. Comparison of Physicochemical Properties. *AACC International*. [En línea] Noviembre de 1965.

http://www.aaccnet.org/publications/cc/backissues/1965/Documents/chem42_558.pdf.
38. Ramli, S., et al. *Physicochemical properties of banana flour as influenced by variety and stage of ripeness: Multivariate statistical*

analysis. Journal of Agricultural Science and Technology, 2010, págs. 69-78.

39. Han, H., et al. *Rice varieties in relation to rice bread quality*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, págs. 462-1467.
40. Cubero, N., Monferrer, A. y Villalta, J. *Tecnología de Alimentos: Aditivos Alimentarios*. Madrid : Mundi Prensa, 2002. págs. 119-121.
41. Arendt, E., Moore, M. y Dal Bello, F. *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*. Londres : London: Academic Press, 2008. págs. 289- 319.
42. Choi, Induck, et al. *Hydration and pasting properties of oat (Avena sativa) flour*. Preventive Nutrition and Food Science, 2012, págs. 87-91.
43. Heredia, A., et al. *Fibra Alimentaria*. Madrid : Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2003. págs. 67-68.
44. Monteiro, J. y da Silva, R. *Hygroscopic behavior of banana (Musa ssp. AAA) flour in different ripening stages* . Food and Bioproducts Processing, 2013, págs. 73-79.
45. Gularte, M.A. y Rosell, C.M. *Physicochemical properties and enzymatic hydrolysis of different starches in the presence of hydrocolloids*. Carbohydrate Polimers, 2011, págs. 237-244.

46. AACC International. AACC International Approved Methods. *Approved Methods of Analysis*. [En línea] 2010.
<http://methods.aaccnet.org/summaries/38-12-02.aspx>.
47. Anderson, R. A., et al. *Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking*. Journal of Cereal Science, 1969, págs. 4-12.
48. Lin, M. J. Y., Humbert, E. S. y Sosulski, F. W. *Certain functional properties of sunflower meal products*. Journal of Food Science, 1974, págs. 368-370.
49. Cordenunsi, B. y Lajolo, F. *Starch breakdown during banana ripening: sucrose synthase and sucrose phosphate synthase*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, págs. 347-351.
50. Cedeño, V., Galarza, A. y Cornejo, F. Efecto del tipo de variedad de arroz ecuatoriano en las características de hidratación de la harina y del gel. Guayaquil, Ecuador. Revista Tecnológica ESPOL, 2013.
51. Wills, R., Lim, J. y Greenfield, H. *Changes in chemical composition of 'Cavendish' banana (Musa acuminata) during ripening*. Journal of Food Biochemistry, 1984, págs. 69-77.