ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción

"Efecto del tiempo de germinación sobre las características físicas, reológicas y tecnológicas de la harina del arroz integral variedad INIAP 15, cosecha verano"

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERAS DE ALIMENTOS

Presentada por:

Janaína Madelein Sánchez García
Eliana Carmita Loayza Jaramillo

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2012

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la vida y las fuerzas necesarias para enfrentar con sabiduría los obstáculos que se nos presentan en la vida.

A nuestras familias por su incondicional apoyo y amor brindado día a día.

A nuestra directora de tesis MSc. Fabiola Cornejo y a la Ing. Grace Vásquez, quienes con sus amplios conocimientos supieron aclararnos dudas y conducirnos al cumplimiento de nuestra meta.

A la ESPOL por habernos abierto las puertas y enseñarnos que de todo sacrificio se obtiene una recompensa.

Janaína Sánchez García.

Eliana Loayza Jaramillo.

DEDICATORIA

A Dios por regalarme bendiciones en todo momento.

A mi madre por su amor, y por ser un pilar fundamental en mi vida.

A mi padre por su cariño, por el sacrificio constante que realiza día a día, y por ser mi guía incondicional.

A mi hermano por las horas de dedicación con sus conocimientos y por ser mi ejemplo a seguir.

A mi hermana por su cariño y constante preocupación en mí.

A mi sobrino por ser esa estrellita que da felicidad a mi vida.

A mi mejor amiga, Eliana Loayza, por su cariño y paciencia en todo momento.

Janaína Sánchez García.

A Dios y a la Virgen María por ser mis guías espirituales y conducirme por un buen camino.

A mi amada madre por su eterna fidelidad y amor constante.

A mi padre por ser mi mejor maestro y ejemplo a seguir.

A mi hermana y cuñado por dejarme formar parte de su hogar y hacerme sentir como en casa, y sobre todo por su preocupación por mí.

A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional.

A mis queridos sobrinos por su amor puro y sincero y enseñarme que para vivir feliz solo hay que sonreír.

A mi mejor amiga, Janaína Sánchez, por su incondicional y desinteresado apoyo en todo momento.

Eliana Loayza Jaramillo.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr. Kleber Barcia V.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

MSc. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTORA

Ing. Grace Vásquez V.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Informe de Proyecto de Tesis de Grado nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Janaina Sánchez G.

Eliana Loayza J.

RESUMEN

El arroz es el segundo cereal mas producido en el mundo después del trigo. Además, ha constituido a través de la historia uno de los alimentos más importantes en la dieta humana. Incluso actualmente sigue siendo la base de la alimentación de dos tercios de la población mundial. Es una buena fuente de energía, ya que su mayor componente son carbohidratos, posee un bajo contenido de grasa, y es fácilmente digerible.

En el Ecuador el consumo de arroz integral es bajo a pesar de sus beneficios en nutrientes y antioxidantes naturales, según estudios se considera que mediante el proceso de germinación se producen cambios metabólicos y principalmente un incremento en el contenido de componentes bioactivos, como γ-aminobutyric acid (GABA) y γ-Oryzanol. Así tenemos, que GABA es un aminoácido que tiene efectos diuréticos, tranquilizantes, e inhibe la proliferación de células cancerígenas, y el γ-Oryzanol es un antioxidante que posee efectos beneficiosos sobre el crecimiento humano, facilita la circulación de la sangre, estimula la secreción hormonal, combate las cefaleas y minimiza síntomas de la menopausia.

El proceso de germinación inició con la desinfección del grano con una solución de hipoclorito de sodio al 0,1% por 30 minutos, posteriormente se enjuagó y se dejó en remojo con agua destilada en proporción 1:5 (arroz:solución), en una incubadora por 24 horas a 28±1 °C. Luego los granos remojados se colocaron en una cama de germinación cubiertos con papel filtro, en una incubadora a 28±1 °C y humedad relativa del 100%, durante 24, 48 y 72 horas.

Para analizar el efecto del tiempo de germinación sobre las características físicas, reológicas y tecnológicas del arroz integral germinado variedad INIAP 15, se establecieron metodologías como temperatura inicial de gelatinización para las características físicas; número de caída, viscosidad y consistencia para las características reológicas; y claridad de geles, índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento para las características tecnológicas. Se consideró para el análisis las harinas de arroz integral (día 0), arroz integral remojado (día 1), y las harinas de arroz integral germinado de 24 (día 2), 48 (día 3) y 72 horas (día 4).

Los resultados obtenidos de los análisis mostraron que la harina de arroz integral con 24 h de germinación posee mejores características físicas, reológicas y tecnológicas. En cuanto a las características físicas presentó una

temperatura inicial de gelatinización de 70 °C. Para las características reológicas mostró valores de número de caída de 243 seg, una viscosidad de 17.93 Cp y una consistencia de 18.50 cm/10 seg. Mientras que para las características tecnológicas se obtuvieron valores de claridad de 0.42 %T, índice de absorción de agua de 0.65 g gel/g muestra, poder de hinchamiento de 0.66 g gel/g muestra, y una solubilidad de 1.64%. Determinando así que esta harina es la más adecuada para usos industriales; tanto en productos de panadería, pastelería, embutidos, alimentos para bebés, como espesantes, etc.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN II

ÍNDICE GENERAL V

ABREVIATURAS VIII

SIMBOLOGÍA IX

ÍNDICE DE FIGURAS X

ÍNDICE DE TABLAS XI

ÍNDICE DE GRÁFICOS XIII

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1

1. EL PROBLEMA 3

1.1. Planteamiento del problema 3

1.2. Formulación del problema 5

1.3. Objetivos 5

1.3.1. Objetivos generales 5

1.3.2. Objetivos específicos 5

1.4. Hipótesis 6

1.5. Limitaciones 6

CAPÍTULO 2

2. GENERALIDADES 7

2.1. Cultivo de arroz en el Ecuador 7

2.2. Obtención de arroz integral 20

2.3. Germinación de granos 26

2.4. Reacciones bioquímicas de la germinación de arroz 39

CAPÍTULO 3

3. MATERIALES Y MÉTODOS 57

3.1. Materia prima 57

3.2. Diseño experimental 58

3.3. Método de germinación de arroz integral 59

3.4. Caracterización de la harina de arroz integral germinado 60

3.4.1. Caracterizaciones físicas..... 61

3.4.2. Caracterizaciones reológicas 62

3.4.3. Caracterizaciones tecnológicas..... 65

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS 68

4.1. Efecto de la germinación en las características físicas de la harina de arroz integral germinado..... 68

4.2. Efecto de la germinación en las características reológicas de la harina de arroz integral germinado..... 71

4.3. Efecto de la germinación en las características tecnológicas de la harina de arroz integral germinado..... 79

4.4. Recomendaciones del uso de la harina de arroz integral germinado 91

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 97

APÉNDICES 100

BIBLIOGRAFÍA 115

ABREVIATURAS

h	Horas
min	Minutos
seg	Segundos
m	Metros
cm	Centímetros
mm	Milímetros
Kg	Kilogramos
g	Gramos
mg	Miligramos
µg	Microgramos
TM	Toneladas Métricas
Cp	Centipoise
rpm	Revoluciones por minuto
ml	Mililitros
KJ	Kilojoules
Kcal	Kilocalorías
bs	base seca
nm	Nanómetro
MS	Materia Seca
U	Unidad
ADN	Ácido desoxirribonucleico
ARN	Ácido ribonucleico
ATP	Adenosin Trifosfato
CoA	Acetil coenzima A

SIMBOLOGÍA

°C	Grados Centígrados
%	Porciento
%T	Porcentaje de Transmitancia
O_2	Oxígeno molecular
CO_2	Dióxido de carbono
N	Nitrógeno
H_2S0_4	Ácido sulfúrico

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1. Problemas en la producción de arroz 15

Figura 1.2. Estructura del grano de arroz..... 21

Figura 1.3. Semilla en germinación..... 27

Figura 1.4. Evolución de la actividad respiratoria durante la germinación de las semillas..... 42

Figura 1.5. Variaciones en el contenido de almidón de los cotiledones en la germinación de semillas..... 44

Figura1.6. Cambio en el contenido de lípidos de cotiledones de cítricos durante la germinación..... 46

Figura 1.7. Acumulación de aminoácidos libres (A) y degradación de las proteínas de reserva (B) durante la germinación de semillas de Lens culinaris . 47

Figura 1.8. Acontecimientos metabólicos más relevantes en el proceso de la germinación de los cereales 56

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Efecto de la temperatura (°C) sobre el crecimiento y el desarrollo de la planta de arroz 14

Tabla 2. Concentraciones críticas de macro- y micronutrientes importantes 17

Tabla 3. Composición química aproximada del arroz integral 23

Tabla 4. Contenido de vitaminas presentes en el arroz integral 24

Tabla 5. Contenido de aminoácidos presentes en el arroz integral 25

Tabla 6. Contenido de minerales presentes en el arroz integral 25

Tabla 7. Contenido de GABA en arroz integral y arroz integral germinado 50

Tabla 8. Contenido de γ-Oryzanol en arroz integral y arroz integral germinado . 52

Tabla 9. Contenido de ácido felúrico en arroz integral y arroz integral germinado 53

Tabla 10. Contenido de ácido fítico en arroz integral y arroz integral germinado 54

Tabla 11. Etapas de germinación 58

Tabla 12. Prueba de múltiples rangos para temperatura inicial de gelatinización por tiempo 70

Tabla 13. Prueba de múltiples rangos para número de caída por tiempo 73

Tabla 14. Prueba de múltiples rangos para viscosidad por tiempo 76

Tabla 15. Prueba de múltiples rangos para consistencia por tiempo 79

Tabla 16. Prueba de múltiples rangos para claridad de los geles por tiempo 81

Tabla 17. Prueba de múltiples rangos para índice de absorción por tiempo..... 84

Tabla 18. Prueba de múltiples rangos para índice de solubilidad por tiempo 87

Tabla 19. Prueba de múltiples rangos para poder de hinchamiento por tiempo . 90

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 1. Temperatura Inicial de Gelatinización vs Tiempo 70

Gráfico 2. Número de caída vs Tiempo 73

Gráfico 3. Viscosidad vs Tiempo 75

Gráfico 4. Consistencia vs Tiempo 78

Gráfico 5. Claridad de los geles vs Tiempo 80

Gráfico 6. Índice de Absorción de Agua vs Tiempo 83

Gráfico 8. Poder de hinchamiento vs Tiempo 89

INTRODUCCIÓN

Ecuador en los últimos años ha tenido un crecimiento en la producción de arroz siendo la región Costa la que más aporta, las principales provincias de mayor producción son Guayas y Los Ríos.

El arroz se utiliza como alimento desde la antigüedad. Más de la mitad de la población del mundo consume arroz como componente principal de la dieta. En la actualidad es importante el uso de alimentos ricos en fibras y que contribuyan al cuidado de la salud del consumidor.

Según estudios realizados el proceso de germinación de alimentos es una intensa actividad metabólica; en la cual se llevan a cabo reacciones enzimáticas hidrolizando el almidón, y de esta manera se producen cambios bioquímicos en la composición del grano. Para que se logre la geminación es necesario tomar en cuenta una serie de condiciones favorables tales como: la temperatura, humedad y oxígeno.

A pesar de que existen muchos estudios en los que se ha demostrado que el consumo de arroz germinado tiene buenos beneficios sobre la salud del consumidor, ciertamente no se ha visto una explotación de productos de arroz integral germinado a nivel industrial, esto puede ser debido a la falta de información en cuanto a características de calidad de estas harinas.

CAPÍTULO 1

1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El arroz es uno de los principales cultivos agrícolas en el Ecuador, es considerado como la gramínea más importante por su aporte en la alimentación diaria y el alto consumo de la población. El arroz integral posee un elevado contenido de fibra, el cual es muy beneficioso para la salud, y este al ser sometido a un proceso de germinación aumenta el valor nutritivo de este arroz.

Según estudios se conoce que la germinación de granos es un proceso en el que se producen una serie de cambios metabólicos que incluye la respiración, síntesis proteica y movilización de reservas como por ejemplo; los macroelementos cambian y los convierte en otros más sencillos, (los almidones se transforman en azucares sencillos o almidón soluble, las proteínas cambian a proteínas solubles y aminoácidos libres, los lípidos se transforman en ácidos grasos libres) así como también puede producir cambios en la estructura de los almidones afectando las características físicas (temperatura de gelatinización), reológicas (viscosidad y el número de caída) y tecnológicas (índice de absorción de agua, poder de hinchamiento y claridad de los geles de almidón) de la harina de arroz integral, sea esta de una harina de arroz integral que no sea germinada por una que si este germinada.

Es por esto que es de mucha importancia determinar que cambios se producen en sus propiedades que conlleven luego a una mejora tecnológica de esta harina en función de la aplicación en un producto alimenticio.

1.2. Formulación del problema

Determinar el cambio de las características físicas, reológicas y tecnológicas de la harina de arroz integral germinado variedad INIAP 15 cosecha verano, a diferentes tiempos de germinación, analizando las diferencias significativas con respecto a una harina de arroz integral que no sea germinado.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivos generales

Determinar los cambios que produce el tiempo de germinación sobre las características físicas, reológicas y tecnológicas de la harina del arroz integral germinado variedad INIAP 15 cosecha verano.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Analizar el efecto del tiempo de germinación sobre las características físicas de la harina de arroz.

- ✓ Analizar el efecto del tiempo de germinación sobre las características reológicas de la harina de arroz.

- ✓ Analizar el efecto del tiempo de germinación sobre las características tecnológicas de la harina de arroz.

1.4. Hipótesis

El tiempo de germinado afecta las características físicas, reológicas y tecnológicas de la harina de arroz integral germinado variedad INIAP 15.

1.5. Limitaciones

- ✓ Que el arroz no se desinfecte de una forma adecuada.
- ✓ Presencia de mohos.
- ✓ La temperatura de germinación no se mantenga constante.
- ✓ Los granos germinen por debajo del porcentaje esperado que es 90%.

CAPÍTULO 2

2. GENERALIDADES

2.1. Cultivo de arroz en el Ecuador

2.1.1. Zonas productoras

La mayor área sembrada de arroz en el país está en la Costa, pero también se siembra en las estribaciones andinas y en la Amazonía pero en cantidades poco significantes (1).

Apenas dos provincias, Guayas y Los Ríos, representan el 83% de la superficie sembrada de la gramínea en el Ecuador. Otras

provincias importantes en el cultivo son Manabí con 11%, Esmeraldas, Loja y Bolívar con 1% cada una; mientras que el restante 3% se distribuye en otras provincias (1).

En cuanto a la producción, de forma correspondiente, Guayas y Los Ríos tienen el 47% y 40% respectivamente. Manabí el 8% y las restantes provincias productoras representan producciones menores y por tanto, su rendimiento también es más bajo que las principales zonas productoras (1).

2.1.2. Superficie y producción

El arroz es el cultivo más extenso del Ecuador, ocupa más de la tercera parte de la superficie de productos transitorios del país. Según el Censo Nacional Agropecuario del 2002, el arroz se sembró anualmente en alrededor de 340 mil hectáreas (1).

De acuerdo a los datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca del Ecuador y el Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria, para el año 2009 señalan

aproximadamente 371 mil hectáreas sembradas de arroz en el territorio nacional. La tendencia es más bien decreciente en cuanto a esta variable, se detecta claros picos de siembra en el 2004 y 2007 con casi 433 y 410 mil hectáreas respectivamente (INEC) (1).

De forma correspondiente a la superficie sembrada, la producción de arroz también ha tenido una baja desde 2007 cuando se produjo aproximadamente 1.73 millones de TM de arroz paddy, mientras que en el año 2009 se alcanzó las 1.37 millones de TM (INEC–2007, MAGAP–SIGAGRO-2009) (1).

En el período 2005 a 2009 se registran decrecimientos promedio anuales de 2.8% en superficie sembrada y de 4.2% en producción. Si el análisis se realiza para el último trienio, la superficie casi no varía mientras que la cantidad producida de arroz decrece anualmente en 2% en promedio (INEC–2005-2008, MAGAP–SIGAGRO- 2009) (1).

2.1.3. Variedades

El INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias) que es el organismo regulador de semillas y el encargado de las investigaciones sobre el arroz en nuestro país, ha desarrollado un importante trabajo de investigación en la obtención de variedades de arroz, entre las cuales tenemos (2):

INIAP 11: Variedad con buenas características agronómicas, es precoz con un ciclo vegetativo de 97 a 110 días y tiene un alto potencial de rendimiento (de 60.5 a 74.5 sacas de arroz en cáscara al 14% de humedad y 0% de impurezas). La longitud del grano es largo de 7.2 mm, y actualmente se encuentra cultivándose bajo riego.

INIAP 12: Variedad con un ciclo vegetativo de 110 a 113 días, la siembra se recomienda bajo condiciones de riego (trasplante) y secano (siembra directa) obteniendo un rendimiento de 57 a 100 sacas y de 44 a 61 sacas de arroz en cáscara al 14% de

humedad y 0% de impurezas respectivamente. La longitud del grano es extra largo con 7.8 mm.

INIAP 14: Variedad con buenas características agronómicas, es precoz con un ciclo vegetativo de 110 a 117 días, resistente a la quemazón. Se la recomienda para la siembra bajo condiciones de riego (trasplante) y secano (siembra directa) obteniendo un potencial de rendimiento de 64 a 100 sacas y de 53 a 68 sacas de arroz en cáscara al 14% de humedad y 0% de impurezas respectivamente. La longitud del grano es de 7.1 mm.

INIAP 15: Es una variedad precoz con un ciclo vegetativo de 117 a 128 días en siembra por trasplante, resistente a la quemazón. Tiene un rendimiento de 64 a 91 sacas de 200 lbs. de arroz en cáscara al 14% de humedad y 0% de impurezas. La longitud del grano es extra largo, mayor de 7.5 mm.

INIAP 16: Es una variedad precoz con un ciclo vegetativo de 106 a 120 días en siembra directa, resistente a la quemazón. La siembra se recomienda bajo condiciones de riego y secano

obteniendo un rendimiento de 5 a 9 sacas y de 4,3 a 8 sacas de arroz en cáscara al 14% de humedad y 0% de impurezas. La longitud del grano es extra largo, mas de 7.5 mm.

INIAP 17: Variedad presenta un ciclo vegetativo de 117 a 136 días según la época del cultivo, la siembra se recomienda bajo condiciones de riego (trasplante) obteniendo un rendimiento de 6,2 a 10 sacas de arroz en cáscara al 14% de humedad y 0% de impurezas. La longitud del grano es de 7.64 mm calificado como extra largo.

INIAP 18: Es una variedad con un ciclo vegetativo de 117 a 136 días según la época del cultivo, la siembra se recomienda bajo condiciones de riego (trasplante), obteniendo un rendimiento de 6,4 a 9,8 sacas de arroz en cáscara al 14% de humedad y 0% de impurezas. . La longitud del grano es extra largo, mas de 7.5 mm.

2.1.4. Problemas en la producción de arroz

Dentro de los problemas que existen en la producción de arroz están los problemas físicos como el clima, el agua y el tipo de suelo. En cuanto a las limitaciones bióticas se encuentran las malezas, los insectos o plagas, y enfermedades. Por último están las limitaciones socioeconómicas e institucionales.

a. Problemas físicos

Clima

Los factores climáticos tales como la temperatura, la radiación solar y el viento tienen influencia sobre el rendimiento del arroz ya que afectan el crecimiento de la planta y los procesos fisiológicos relacionados con la formación del grano.

- ✓ *Temperatura:* Las altas y bajas temperaturas por encima y por debajo de los límites críticos afectan el rendimiento de grano ya que inciden sobre el macollaje, la formación de

espiguillas y la maduración (Tabla 1). Las bajas temperaturas limitan la duración del período y la tasa de crecimiento y el desarrollo de las plantas de arroz. Las altas temperaturas causan estrés térmico sobre las plantas de arroz (3).

TABLA 1

EFECTO DE LA TEMPERATURA (°C) SOBRE EL CRECIMIENTO Y EL DESARROLLO DE LA PLANTA DE ARROZ

Crecimiento y desarrollo de la planta	Baja temperatura		Alta temperatura		Temp. óptima
	Rango	Efecto	Rango	Efecto	
Germinación	10	*Inhibición*	45	-	20-35
Emergencia de la plántula	12-13	*Demorada*	35	-	25-30
Enraizamiento	16	*Raquitismo*	35	-	25-28
Hoja	7-12	*Decoloración de la hoja, raquitismo*	45	*Punta blanca, bandas cloróticas y manchas*	31
Macollaje	9-16	*Reducido*	33	*Reducido*	25-31
Iniciación de la panoja	15	*Demorada*	-	*Panoja blanca*	–
Diferenciación de la panoja	15-20	*Degeneración del ápice de la panoja, alta esterilidad de la espiguilla*	38	*Número reducido de espiguillas*	–
Exerción de la panoja	22	*Exerción incompleta, floración demorada*	35	*Esterilidad*	30-33
Grano	12-18	*Madurez irregular*	30	*Menor llenado del grano*	20-25

Fuente: *(R.C. CHAUDHARY; J.S. NANDA; D.V. TRAN, 2003) (3).*

- ✓ *Radiación solar:* La radiación solar es la fuente de energía para el proceso fotosintético y la evapotranspiración (Figura 1.1 a). Por otro lado la sombra reduce el rendimiento debido al menor porcentaje de espiguillas llenas, ya que se produce una esterilización de las mismas (3).

- ✓ *Viento:* Las plantaciones deben tolerar el tiempo ciclónico caracterizado por los fuertes vientos, donde no solo se vuelcan las variedades altas sino todas las variedades (Figura 1.1 b), con el resultado de grandes reducciones de rendimiento (3).

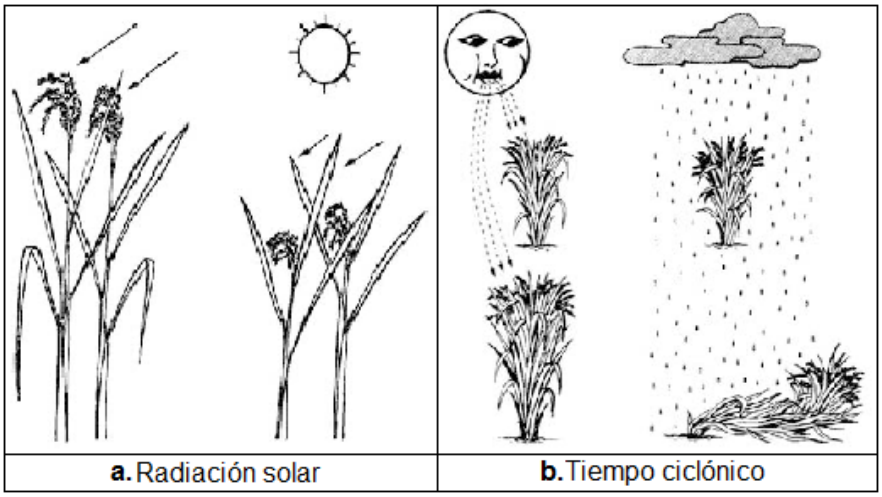


Figura 1.1. Problemas en la producción de arroz. R.C. (CHAUDHARY; J.S. NANDA; D.V. TRAN, 2003) (3).

Agua

El nivel recomendado de agua o de humedad en el suelo es esencial para mantener un adecuado manejo de los nutrientes, de las malezas y de las pestes y enfermedades.

- ✓ *Efecto del déficit de agua sobre el crecimiento y el rendimiento:* Los síntomas comunes son el enrollado de las hojas, las hojas resecas, el macollaje limitado, el raquitismo, el retraso de la floración, la esterilidad de las espiguillas y un llenado incompleto de los granos; lo cual reduce el rendimiento (3).

- ✓ *Efecto del exceso de agua sobre el crecimiento y el rendimiento:* La sumersión de la planta produce una reducción del rendimiento atribuida a un menor macollaje y a una reducción del área fotosintética. Sin embargo, hay variedades con tolerancia a la sumersión, altura intermedia y buenos rendimientos (3).

Suelo

Una de las mayores limitaciones del suelo para la producción de arroz es la erosión más aún en el cultivo de arroz de secano y cuando se cultiva en laderas. Por otro lado la deficiencia de nutrientes, la toxicidad y los suelos inadecuados (Tabla 2) es otro factor que afecta la producción.

TABLA 2

CONCENTRACIONES CRÍTICAS DE MACRO- Y MICRONUTRIENTES IMPORTANTES

Elemento	Deficiencia (D) Toxicidad (T)	Nivel crítico	Parte afectada de la planta	Etapa de crecimiento
N	D	2,5%	Lámina de la hoja	Macollaje
P	D	0,1%	Lámina de la hoja	Macollaje
	T	1,0%	Paja	Madurez
K	D	1,0%	Paja	Madurez
	D	1,0%	Lámina de la hoja	Macollaje
Ca	D	0,15%	Paja	Madurez
Mg	D	0,10	Paja	Madurez
S	D	0,10%	Paja	Madurez
Fe	D	70 ppm	Lámina de la hoja	Macollaje
	T	300 ppm	Lámina de la hoja	Macollaje
Zn	D	10 ppm	Tallo	Macollaje
	T	1 500 ppm	Paja	Madurez
Mn	D	20 ppm	Tallo	Macollaje
	T	2 500 ppm	Tallo	Macollaje
B	D	3,4 ppm	Paja	Madurez
	T	100 ppm	Paja	Madurez
Cu	D	6 ppm	Paja	Madurez
	T	30 ppm	Paja	Madurez
Al	T	30 ppm	Tallo	Macollaje

Fuente: (R.C. CHAUDHARY; J.S. NANDA; D.V. TRAN, 2003) (3).

b. Limitaciones bióticas

Malezas

Las malezas se encuentran entre las principales plagas que interfieren con el cultivo de arroz, y para su manejo se invierte aproximadamente el 28% del costo total de producción. El cultivo de arroz tiene un periodo crítico comprendido entre los 0 a 40 días de edad en el cual no deben presentarse malezas, ya que pueden provocar pérdidas del 45 al 75% del rendimiento, tanto en condiciones de siembra bajo riego como en secano. El complejo de malezas es muy diverso, encontrándose especies monocotiledóneas y dicotiledóneas que son propias de sistemas bajo inundación, entre ellas cortadera, tamarindilo, cegua, belitta, lechosa, caminadora, arroz rojo, clavo de agua (4).

Insectos - Plagas

Los daños que causan los insectos plaga en arroz son variables y dependen del estado de desarrollo de las platas, sistemas y

manejo de cultivo, condiciones climáticas, época de siembra, variedades y poblaciones de insectos. Entre las especies que mas atacan al arroz, están: hidrellia, cogollero, cortador, chinchorro del arroz, pulgón, sogata, novia del arroz, caracol manzana (4).

Enfermedades

En Ecuador, las enfermedades que más prevalecen en el cultivo de arroz son piricularia, hoja blanca y manchado de grano. En años recientes se han presentado tres enfermedades que podrían resultar potencialmente dañinas al cultivo: la pudrición de la vaina, el entorchamiento y tizón de la vaina (4).

c. Limitaciones socioeconómicas e institucionales

- ✓ Inadecuado abastecimiento de los insumos.
- ✓ Falta de crédito y precios desfavorables.
- ✓ Pobre infraestructura y comercialización.
- ✓ Falta de conocimientos y de mano de obra (3).

2.2. Obtención de arroz integral

El arroz es una planta de la familia del trigo o de la avena que puede llegar a alcanzar hasta 1,8 m de altura. Al igual que ellas, presenta un tallo en forma de caña hueca por dentro, excepto en los nudos. Presenta hojas lanceoladas acabadas en punta (5).

Lo más significativo son las espigas, formadas por una panícula caediza donde se encuentran las semillas o granos de arroz (5), las mismas que tienen la siguiente estructura (Figura 1.2):

- ✓ Corteza, pericarpio o salvado: Es una vaina de color castaño, contiene minerales, proteínas y fibras.

- ✓ Embrión o germen: Abundan las proteínas de alto valor biológico, contiene las grasas y vitaminas que se pierden en parte durante los procesos de refinación.

- ✓ Endospermo: Está compuesto por almidón y es el grano propiamente dicho (6).

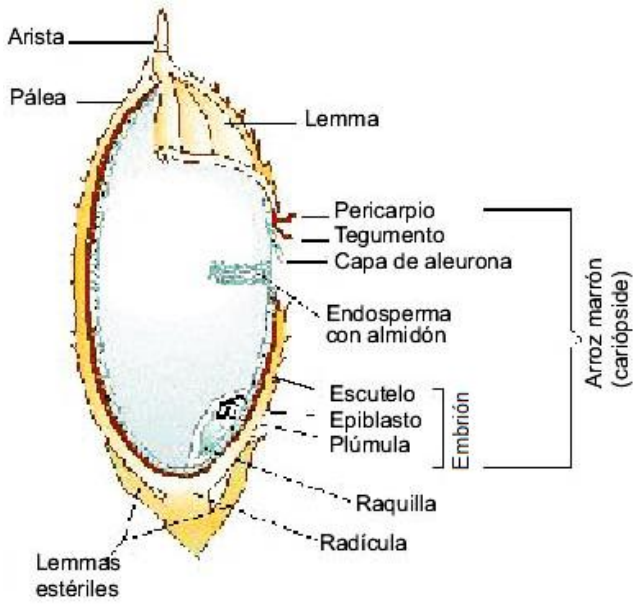


Figura 1.2. Estructura del grano de arroz. (R.C. CHAUDHARY; J.S. NANDA; D.V. TRAN, 2003) (3).

El arroz integral se trata de un arroz al que se le ha quitado la cáscara externa, fibrosa y no comestible conocida como cascabillo pero que conserva la mayor parte de la cutícula o salvado que cubre al grano. Se considera que es más natural y que su aporte de fibra, vitaminas y minerales es superior a otros alimentos. De hecho, son propiedades que se pierden si se come arroz refinado, el popular arroz blanco, considerado más astringente que la variedad integral (7), así podemos decir que éste último tiene un sabor semejante a las nueces (6).

2.2.1. Composición química y valor nutricional

En muchas regiones de Asia (China, Corea, Japón, otros) el arroz integral en el pasado era raramente ingerido excepto por los enfermos, los ancianos y como tratamiento para evitar la constipación por su contenido en fibra dietética. Actualmente ha sido reconocido su valor curativo para muchas enfermedades, por su contenido nutricional. Es muy importante además destacar que este arroz ayuda a disminuir las cifras de colesterol de baja densidad (LDL colesterol) (6).

El arroz constituye un alimento básicamente energético ya que su componente más importante son los glúcidos o hidratos de carbono (almidón). Por el contrario, es pobre en sustancias nitrogenadas y el contenido en materia grasa (lípidos) es insignificante (8). La Tabla 3 muestra la composición química aproximada del arroz integral para 100 gramos de producto comestible.

TABLA 3

COMPOSICIÓN QUÍMICA APROXIMADA DEL ARROZ INTEGRAL

(Para 100 gramos de producto comestible)

COMPONENTES	UNIDAD	VALOR
Humedad	%	14,0
Proteína	g N x 6,25	7,3
Grasa cruda	g	2,2
Carbohidratos disponibles[1]	g	71,1
Fibra dietética	g	4,0
Fibra insoluble en agua	g	2,7
Lignina	g	0,1
Cenizas crudas	g	1,4
Energía	kJ	1610
Energía	kcal	384

[1]Extracto sin nitrógeno por diferencia.
Fuente: *(BIENVENIDO O. JULIANO, 1994) (9).*
Elaborado por: *SÁNCHEZ G. JANAÍNA; LOAYZA J. ELIANA, 2012*

La diferencia entre el arroz integral y el arroz blanco es el contenido nutricional, ya que varias vitaminas y minerales se pierden en el proceso de pulido o blanqueado como las vitaminas B_1, B_3, el hierro y el magnesio (6). En cuanto a las vitaminas (Tabla 4) el arroz integral es rico principalmente en tiamina, riboflavina y niacina (8).

TABLA 4

CONTENIDO DE VITAMINAS PRESENTES EN EL ARROZ INTEGRAL

(mg/100g y µg/100g sobre sustancia seca)

VITAMINAS	UNIDAD	VALOR
Ácido fólico	µg	40,0
Ácido pantoténico	mg	1,66
Biotina	µg	12,0
Tiamina B1	mg	0,29
Riboflavina B2	mg	0,04
Niacina	mg	4,0
Piridoxina B6	mg	0,79
Vitamina A	µg	13,0
Vitamina E	mg	0,8

Fuente: *(BIENVENIDO O. JULIANO, 1994) (9)*
(GIL H. ANGEL; RUIZ L. MARIA, 2010) (10)
Elaborado por: *SÁNCHEZ G. JANAÍNA; LOAYZA J. ELIANA, 2012*

De un análisis de los aminoácidos (Tabla 5) resulta que la lisina es el primer aminoácido esencial reductor en las proteínas cerealeras, pero el contenido de lisina es máximo en el arroz entre las proteínas de los cereales (9).

TABLA 5

CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS PRESENTES EN EL ARROZ INTEGRAL

(g/100g de proteína)

AMINOÁCIDOS	UNIDAD	VALOR
Lisina	g	3,8
Treonina	g	3,6
Metionina + Cisteína	g	3,9
Triptófano	g	1,1

Fuente: *(GIL H. ANGEL; RUIZ L. MARIA, 2010) (10).*
Elaborado por: *SÁNCHEZ G. JANAÍNA; LOAYZA J. ELIANA, 2012*

Por otro lado tenemos que el arroz integral tiene altos contenidos de minerales que se detallan en la Tabla 6.

TABLA 6

CONTENIDO DE MINERALES PRESENTES EN EL ARROZ INTEGRAL

(Para 100 gramos de producto comestible)

MINERALES	UNIDAD	VALOR
Calcio	mg	40,0
Zinc	mg	1,66
Cobre	mg	12,0
Fósforo	mg	0,29
Hierro	mg	0,04
Magnesio	mg	4,0
Manganeso	mg	0,79
Potasio	mg	13,0
Sodio	mg	0,8

Fuente: *(GIL H. ANGEL; RUIZ L. MARIA, 2010) (10)*
Elaborado por: *SÁNCHEZ G. JANAÍNA; LOAYZA J. ELIANA, 2012*

2.3. Germinación de granos

La germinación es el reinicio del crecimiento del embrión (Figura 1.5), paralizado durante las fases finales de la maduración. Los procesos fisiológicos de crecimiento exigen actividades metabólicas aceleradas y la fase inicial de la germinación consiste primariamente en la activación de los procesos por aumentos en la humedad y actividad respiratoria de la semilla.

La absorción de agua por la semilla desencadena una secuencia de cambios metabólicos que incluye la respiración, síntesis proteica y movilización de reservas. A su vez, la división y el alargamiento celular en el embrión provocan la rotura de las cubiertas seminales, que generalmente se produce por la emergencia de la radícula. Sin embargo, las semillas de muchas especies son incapaces de germinar, aun cuando presentan condiciones favorables para ello, lo cual se debe a que las semillas se encuentran en estado de latencia. Por ello, mientras no se den las condiciones adecuadas para la germinación, la semilla se encontrará en estado latente durante un tiempo variable,

dependiendo de la especie, hasta que en un momento dado pierda su capacidad de germinar (11).

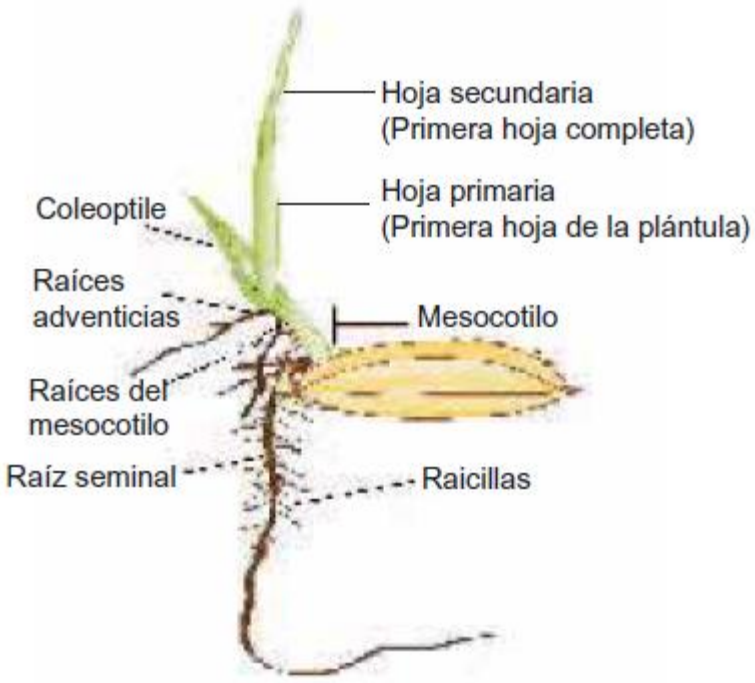


Figura 1.3. Semilla en germinación. (R.C. CHAUDHARY; J.S. NANDA Y D.V. TRAN, 2003) (3).

2.3.1. Importancia de la germinación

Este proceso en la semilla es vital, pues si no hay germinación no hay planta y sin planta no hay cosecha.

La germinación permite facilitar el nacimiento precoz de las diferentes plantas a cultivar, el máximo rendimiento de la semilla y, por ende, de plantas útiles, la obtención de mejores frutos y mayores cosechas, evitando el deshijamiento (eliminación de plántulas por exceso). Se logra también una adaptación más rápida de la plántula al medio donde se desarrollará (11).

2.3.2. Fases de la germinación

Comprende tres etapas sucesivas que se superponen parcialmente (11):

2.3.2.1. Hidratación

La absorción de agua es el primer paso para la germinación, sin el cual el proceso no puede darse. Durante esta fase se produce una intensa absorción de agua (imbibición) por parte de los distintos tejidos que forman la semilla, causando su hinchamiento y ruptura final de la testa. Dicho incremento va

acompañado de un aumento proporcional en la actividad respiratoria.

2.3.2.2. Germinación

Inicio de la actividad enzimática y proceso en el que se producen las transformaciones metabólicas necesarias para el completo desarrollo de la plántula, además de la translocación y asimilación de las reservas alimentarias en las regiones en crecimiento del embrión. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse.

2.3.2.3. Crecimiento

Es la última fase de la germinación y se asocia con el crecimiento y división celular que provoca la emergencia de la radícula (cambio morfológico visible) y posteriormente de la plúmula. Esta fase se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria.

2.3.3. Condiciones de germinación

- ✓ La semilla debe ser viable.
- ✓ Las condiciones ambientales para la semilla deben ser favorables: agua, temperatura, oxígeno y luz.
- ✓ Las condiciones de la semilla deben ser favorables para la germinación (libre de dormancia).
- ✓ Las condiciones de sanidad deben ser satisfactorias (ausencia de agentes patógenos) (11).

2.3.4. Factores que afectan la germinación

La geminación se ve afectada por factores internos y externos, los cuales son detallados a continuación (11):

a. Internos

Madurez de la semilla: Cuando ha alcanzado su completo desarrollo tanto desde el punto de vista morfológico como fisiológico. La madurez morfológica se consigue cuando las

distintas estructuras de las semillas se han completado, dándose por finalizada cuando el embrión ha alcanzado su máximo desarrollo. Aunque la semilla sea morfológicamente madura, muchas de ellas pueden seguir siendo incapaces de germinar, porque necesitan experimentar aún una serie de transformaciones fisiológicas.

Viabilidad de la semilla: Es el período de tiempo durante el cual las semillas conservan su capacidad para germinar. Es un período variable y depende del tipo de semilla y las condiciones de almacenamiento. Una semilla puede tener mayor longevidad (tiempo que estas permanecen viables) cuando menos activo sea su metabolismo.

Al conservar las semillas a bajas temperaturas o someter las mismas a un proceso de deshidratación, se obtiene como resultado un metabolismo mucho más lento permitiendo alargar la vida de la semilla. Sin embargo, una semilla longeva origina una serie de productos tóxicos, que al acumularse produce efectos letales para el embrión.

b. Externos

Humedad: La absorción de agua es el primer paso y el más importante durante la germinación, la entrada de agua en el interior de la semilla se debe a una diferencia de potencial hídrico entre la semilla y el medio que le rodea, teniendo mayor potencial hídrico este último. Por ello, hasta que emerge la radícula, el agua llega al embrión a través de las paredes celulares de la cubierta seminal, siempre a favor de un gradiente de potencial hídrico.

Aunque es necesaria el agua para la rehidratación de las semillas, un exceso de ella actuaría desfavorablemente para la germinación, pues dificultaría la llegada de oxígeno al embrión.

Temperatura: es un factor decisivo en el proceso de germinación, ya que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación. La actividad de cada

enzima tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un óptimo intermedio.

La temperatura óptima, puede definirse como la más adecuada para conseguir el mayor porcentaje de germinación en el menor tiempo posible. Las semillas de especies tropicales suelen germinar mejor a temperaturas superiores a 25ºC. Por otra parte, la alternancia de las temperaturas entre el día y la noche actúan positivamente sobre las etapas de la germinación, por lo que el óptimo térmico de la fase de germinación y crecimiento no tiene porqué coincidir. Así, unas temperaturas estimularían la fase de germinación y otras la de crecimiento.

Gases: La mayor parte de las semillas requieren para su germinación una adecuada disponibilidad de O_2 y CO_2. Las semillas germinan bien en atmósfera normal con 21 % de O_2 y un 0.03 % de CO_2. Para que la germinación tenga éxito, el O_2 disuelto en el agua de imbibición debe poder llegar hasta el embrión. A veces, algunos elementos presentes en la cubierta seminal, como los compuestos fenólicos, capas de mucílago,

macroesclereidas, etc. pueden obstaculizar la germinación de la semilla, porque reducen la difusión del O_2 desde el exterior hacia el embrión.

2.3.5. Latencia de las semillas

Latencia o dormición es el estado en el cual una semilla viable no germina, aunque se coloque en condiciones de humedad, temperatura y concentración de oxígeno idóneas para hacerlo. Las semillas pueden mantener su viabilidad durante largos períodos de tiempo, sobreviviendo en condiciones desfavorables y adversas, aunque no indefinidamente (11).

2.3.6. Métodos para superar la latencia o dormancia

Existen diferentes métodos, entre los que se pueden señalar (11):

Escarificación ácida: consiste en sumergir las semillas en H_2S0_4, luego lavarlas con agua corriente y dejarlas secar.

Escarificación mecánica: consiste en pasar las semillas por superficies abrasivas, con el fin de causar daño en la testa sin tocar el embrión.

Tratamiento con agua caliente: consiste en sumergir las semillas en agua caliente por cinco segundos.

Lavado en agua corriente: algunas sustancias inhibidoras son solubles en agua y pueden ser removidas por el simple lavado de las semillas.

Secado previo: las semillas recién cosechadas pueden perder la dormancia si se secan por algunas semanas en una cámara a 40°C.

Pre-enfriamiento: algunas semillas pierden la dormancia sometiéndolas a bajas temperaturas.

Estratificación: se emplea para inducir procesos fisiológicos en el embrión que son necesarios a la germinación.

Imbibición en nitrato de potasio: algunas semillas superan la dormancia de actividad aparentemente metabólica.

Exposición a la luz: las semillas pueden requerir un determinado tratamiento de luz para poder germinar.

2.3.7. Tipos de latencia

Existen tres tipos de latencia (11):

Exógena: Las semillas que presentan este tipo de latencia tienen un retraso en la germinación y se debe a propiedades físicas y químicas de las cubiertas seminales, por lo que se puede denominar latencia impuesta por las cubiertas seminales. En este caso, el embrión aislado puede germinar con normalidad.

Endógena: Viene determinada por características anatómicas, morfológicas y fisiológicas del propio embrión (latencia embrionaria). En este caso, el embrión es durmiente en sí

mismo e incapaz de germinar incluso si es aislado de la semilla y colocado en condiciones favorables. Este tipo de latencia solo puede eliminarse cuando existan factores que provoquen cambios en las características anteriores, tales como la estratificación a ciertas temperaturas, condiciones de iluminación, administración de sustancias de crecimiento.

Combinada: Generalmente, en la mayoría de los casos, las semillas presentan una latencia combinada, es decir, una combinación de latencia endógena y exógena. Así, hay semillas en las que la dormición fisiológica está asociada a una impermeabilidad al agua de las cubiertas seminales. En otros casos, hay una asociación entre el endocarpo duro y la latencia fisiológica.

2.3.8. Métodos de germinación

A continuación se describen algunos métodos de germinación realizados en otros estudios:

Método 1

- ✓ Descascarillar el arroz en cáscara para obtener arroz integral.
- ✓ Remojar 5 Kg de arroz integral en agua destilada a temperatura ambiente (28-30°C) por 12h.
- ✓ Cambiar el agua de remojo cada 4 h y drenar la misma al final del remojo.
- ✓ Distribuir los granos de arroz remojado en dobles capas de papel filtro y colocarlos en una bandeja plástica.
- ✓ Cubrir con dobles capas de papel filtro la bandeja plástica.
- ✓ Germinar en una cámara de germinación por 24h a 28-30 °C, con una humedad relativa del 90-95%, usando un rociador automático.
- ✓ Secar las semillas germinadas a 50 °C hasta aproximadamente 10% de humedad (12).

Método 2

- ✓ Enjuagar completamente los granos de arroz integral en agua desionizada.

- ✓ Remojar los granos en un matraz con 1000 ml de agua desionizada estéril por 24h a 30 °C.
- ✓ Someter los granos a germinar en una incubadora por 48h a 30 °C.
- ✓ Rociar agua por 15 min cada 4 horas, para controlar el contenido de humedad en los granos de arroz hasta que estos comiencen a brotar.
- ✓ Secar el arroz integral germinado en un horno de convección a 40 °C hasta que el contenido de humedad de las muestras alcancen aproximadamente 8 g/100 g (13).

2.4. Reacciones bioquímicas de la germinación de arroz

Los procesos metabólicos relacionados con la germinación son la respiración y movilización de las sustancias de reserva.

2.4.1. Respiración

Tres rutas respiratorias -*glucólisis*, *ciclo de las pentosas fosfato* y *ciclo de Krebs*- son funcionales en las semillas embebidas.

Estas producirán una serie de compuestos intermediarios del metabolismo vegetal, así como considerables cantidades de energía y poder reductor. El objetivo principal del proceso respiratorio es la formación de ATP y pirimidín nucleótidos, necesarios para la intensa actividad metabólica que tiene lugar durante la germinación. La semilla seca muestra una escasa actividad respiratoria, aumentando el consumo de O_2 después de iniciada la imbibición. A partir de este momento, el proceso respiratorio de las semillas puede dividirse en cuatro fases (Figura 1.4) (11):

***Fase I**:* Se caracteriza por un rápido incremento en la respiración, que generalmente se produce antes de transcurridas 12 h desde el inicio de la imbibición. El aumento en la actividad respiratoria es proporcional al incremento de la hidratación de los tejidos de la semilla. El principal sustrato utilizado en esta fase es, posiblemente, la sacarosa.

***Fase II**:* La actividad respiratoria se estabiliza entre las 12 y 24 h desde el inicio de la imbibición. Probablemente las cubiertas

seminales, que todavía permanecen intactas, limitan la entrada de O_2. La eliminación de la testa puede acortar o anular esta fase.

***Fase III**:* Se produce un segundo incremento en la actividad respiratoria, que se asocia a la mayor disponibilidad de O_2, como consecuencia de la ruptura de la testa producida por la emergencia de la radícula. Otro factor que contribuye a ese aumento es la actividad de las mitocondrias, recientemente sintetizadas en las células del eje embrionario.

***Fase IV**:* En esta última fase tiene lugar una acusada disminución de la respiración, que coincide con la desintegración de los cotiledones, después que han exportado las reservas almacenadas.

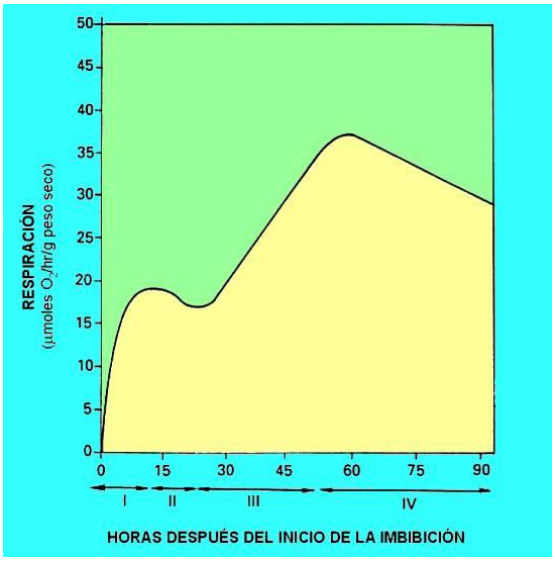


Figura 1.4. Evolución de la actividad respiratoria durante la germinación de las semillas. (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA) (14).

2.4.2. Movilización de las sustancias de reserva

Las semillas contienen cantidades relativamente importantes de reservas alimenticias, que permitirán el crecimiento y el desarrollo de la plántula hasta que ésta sea capaz de alimentarse por sí misma. Estas reservas se encuentran en su mayor parte, formando cuerpos intracelulares que contienen lípidos, proteínas, carbohidratos y compuestos inorgánicos.

Los compuestos de reserva pueden estar almacenados en el embrión (cotiledones) o en tejidos extraembrionarios, principalmente en el endospermo. Al iniciarse la germinación de las semillas, y cuando las células están suficientemente hidratadas, se produce una activación de la síntesis proteica y, por lo tanto, la formación de enzimas hidrolíticas que son las que promueven la movilización de las sustancias de reserva.

La movilización de las reservas requiere un proceso previo de hidrólisis para liberar los compuestos de menor peso molecular, que pueden ser utilizados durante el crecimiento inicial de la plántula. Además, en muchos casos, los productos de la hidrólisis sufren una serie de transformaciones metabólicas antes de ser transportados al eje embrionario en desarrollo (14).

Carbohidratos: El hidrato de carbono más extendido en las semillas, como principal reserva energética, es el almidón (14). Según un estudio realizado en China, la actividad de la amilasa endógena se mantiene linear durante los tres primeros días de germinación. Además se comprobó que el incremento en el

contenido de azúcares reductores hasta los tres días podría ser atribuido a la hidrólisis del almidón por la amilasa endógena producida durante la germinación (15), donde la α-amilasa y la β-amilasa hidrolizan los componentes del almidón (amilosa y amilopectina) para dar glucosa. La degradación del almidón se incrementa progresivamente durante el proceso de germinación, primero lentamente, y luego de una forma más rápida que termina con la práctica desaparición del polisacárido (Figura 1.5) (14).

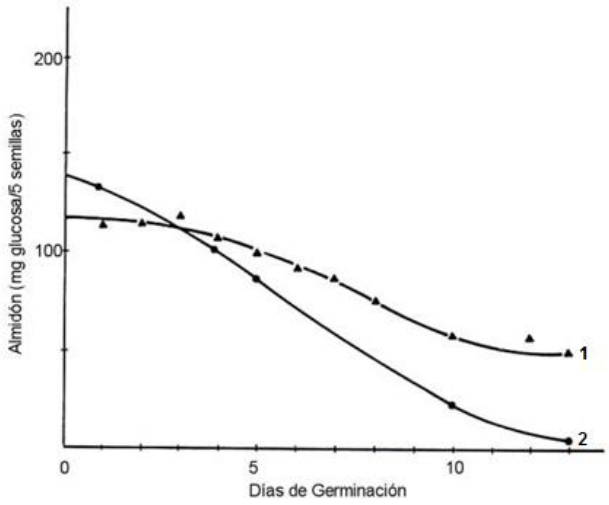


Figura 1.5. Variaciones en el contenido de almidón de los cotiledones en la germinación de semillas. [Figura modificada de Barceló, J. et al. 1984. “Fisiología Vegetal”. Ediciones Pirámide, S.A.]. (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA) (14).

Lípidos: Los lípidos constituyen un grupo de sustancias químicamente heterogéneas que tienen en común su solubilidad en disolventes orgánicos (éter de petróleo, hexano o cloroformo). Los lípidos de reserva predominantes en las semillas son los triglicéridos. En la movilización y metabolismo de las reservas lipídicas están implicados tres tipos de orgánulos: las vesículas que contienen aceites almacenados (cuerpos lipídicos), los glioxisomas y las mitocondrias. La degradación y metabolismo de los lípidos se produce en varias fases (14):

- ✓ Lipólisis de los triglicéridos para producir ácidos grasos y glicerol. Se produce en los cuerpos lipídicos por acción de las lipasas que rompen los enlaces éster.
- ✓ Oxidación de los ácidos grasos a acetil CoA y posterior formación de succinato en los glioxisomas.
- ✓ Conversión de succinato a oxalacetato en las mitocondrias.
- ✓ Formación de sacarosa a partir de oxalacetato en el citoplasma.

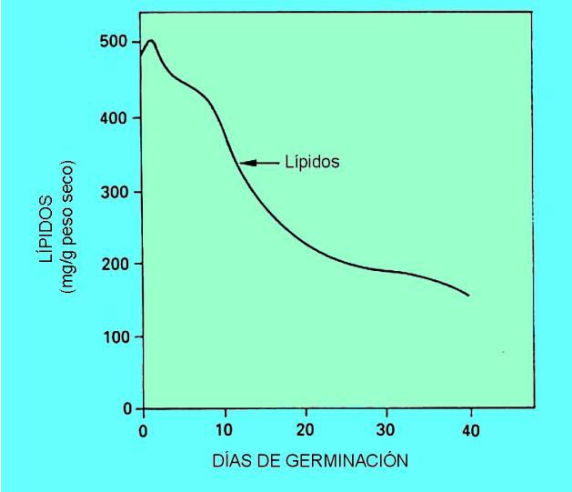


Figura1.6. Cambio en el contenido de lípidos de cotiledones de cítricos durante la germinación. [Figura modificada de Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 1993. "*Fisiología y Bioquímica Vegetal*". Interamericana/ McGraw-Hill]. (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA) (14).

Proteínas: La hidrólisis de las proteínas de reserva está catalizada por diferentes tipos de enzimas proteolíticas, agrupadas bajo el nombre de proteasas (14). La actividad de estas enzimas incrementa significativamente de 0 a 0.12 U/g MS durante la germinación. Por otro lado el contenido de proteína total decrece significativamente de 100.5 a 91.0 g/Kg MS, y la proteína soluble también decrece de 7.24 a 3.89 mg/g MS hasta el 2° día de germinación, sin embargo incrementa ligeramente a 5.29 mg/g MS hasta el 5° día de germinación (15). A medida que progresa la germinación, las fracciones proteínicas de

reserva se transforman en otras de menor peso molecular, especialmente pequeños péptidos y aminoácidos. Los aminoácidos liberados pueden ser utilizados en la síntesis de nuevas proteínas en la plántula en desarrollo o para proporcionar energía mediante la oxidación de su esqueleto carbonado. En los cereales las proteínas se almacenan en los gránulos de aleurona, acumulados, a su vez, en la capa de aleurona (Figura 1.7) (14).

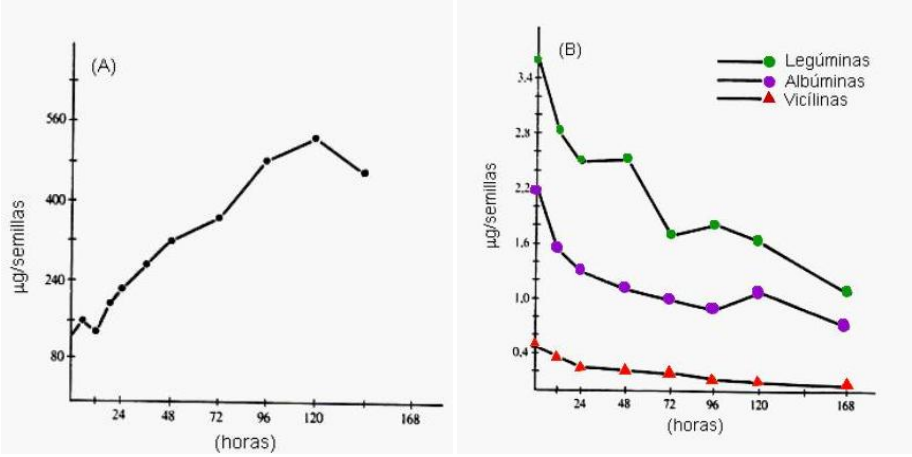


Figura 1.7. Acumulación de aminoácidos libres (A) y degradación de las proteínas de reserva (B) durante la germinación de semillas de Lens culinaris. [Figura modificada de Barceló, J. et al. 1984. “Fisiología Vegetal”. Ediciones Pirámide, S.A.]. (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA) (14).

Ácidos nucléicos: No hay duda en aceptar que la replicación del ADN es un fenómeno relativamente tardío en la germinación, iniciándose después de que tenga lugar una síntesis considerable de proteínas. Sin duda, en la codificación de éstas ha intervenido un ADN preexistente, formado, probablemente durante las fases de maduración de la semilla. Por lo que respecta al ARN, tanto en las capas de aleurona de cereales como en los cotiledones de las leguminosas, se han detectado varias ribonucleasas cuya función es la de degradar el ARN en nucleótidos que son transportados al embrión para la síntesis de sus ARNs propios. Sin embargo, se ha demostrado que los nucleótidos que llegan al embrión no son suficientes para mantener su crecimiento, por lo que en los embriones debe haber también una síntesis de nucleótidos, utilizando probablemente el nitrógeno de las reservas proteicas (14).

Componentes bioactivos: Un componente bioactivo es aquel compuesto químico que ejerce un efecto beneficioso para alguna función corporal del individuo produciendo una mejora en su salud y bienestar o reduciendo un riesgo de enfermedad (16).

En granos de cereales germinados, como se mencionó anteriormente enzimas hidrolíticas son activadas y estas descomponen el almidón, polisacáridos sin almidón y proteínas, que conduce a un incremento en oligosacáridos, y aminoácidos. La descomposición de los polímeros de alto peso molecular durante la germinación conduce a la generación de sustancias bio-funcionales y la mejora de las cualidades organolépticas debido al ablandamiento de la textura y el aumento en el sabor.

Arroz integral germinado ofrece considerables beneficios, que incluyen un incremento en γ-ácido aminobutírico (GABA), fibra dietética, inositoles, ácido felúrico, ácido fítico, tocotrienoles, magnesio, potasio, zinc, γ-oryzanol, e inhibidor prolilendopeptidasa. Además, la germinación de arroz integral libera sus minerales ligados, haciéndolos más absorbibles por el cuerpo y al arroz más sabroso (17).

γ-ácido aminobutírico (GABA): es un aminoácido libre extensamente distribuido en la naturaleza, es un neurotransmisor en el cerebro y la médula espinal de los

mamíferos, y es producido ante todo por la descarboxilación del ácido L-glutámico, catalizado por la enzima, glutamato descarboxilasa (GAD). GABA tiene varias funciones fisiológicas como neurotransmisión e inducción de efectos hipotensivos, efectos diuréticos, y efectos tranquilizantes. Los extractos de arroz integral germinado contienen GABA inhibiendo la proliferación de células cancerígenas. Durante el proceso de germinación del arroz integral el contenido de GABA incrementa significativamente como se muestra en la Tabla 7.

TABLA 7

CONTENIDO DE GABA EN ARROZ INTEGRAL Y ARROZ INTEGRAL GERMINADO

Variedad de Arroz	Contenido de GABA (mg/100g bs)	
	Arroz Integral	Arroz Integral Germinado
Niaw Dam Peuak Dam	3.61	40.72
Sangyod Phatthanlung	2.66	44.53
Chiang Phatthalung	3.09	29.25

Fuente: *(J. BANCHUEN et al., 2010) (17)*

γ-Oryzanol: se produce en la fracción insaponificable del aceite de salvado de arroz. Originalmente fue considerado un compuesto único, pero más tarde se determinó que era una mezcla de ácidos felúricos esterificados con esteroles normales o alcoholes triterpénicos. Diez componentes de γ-Oryzanol identificados en salvado de arroz consisten en ácido felúrico y compuestos derivados triterpénicos, que son combinados por un enlace éster. Cycloartenyl ferulate, 24-methylenecycloartanyl ferulate and campesteryl ferulate son los tres mayores componentes del γ-Oryzanol en salvado de arroz (19).

γ-Oryzanol ha sido recomendado por tener una funcionalidad potencial como actividad antioxidante, reducción del colesterol sérico, reducción de la absorción del colesterol y disminución de la aterosclerosis precoz, inhibición de la agregación plaquetaria, e inhibición del desarrollo de tumores (17). El contenido de γ-Oryzanol en arroz integral y arroz integral germinado son mostrados en la Tabla 8.

TABLA 8

CONTENIDO DE γ-ORYZANOL EN ARROZ INTEGRAL Y ARROZ INTEGRAL GERMINADO

Variedad de Arroz		Contenido de γ-oryzanol (mg/100g bs)			
		Cycloartenyl ferulate	24-Methylene cycloartanyl-ferulate	Campesteryl ferulate	Sitosteryl ferulate
Niaw Dam	AI	77.79	92.39	133.02	204.08
Peuak Dam	AIG	73.03	91.82	130.69	201.57
Sangyod	AI	26.25	64.16	101.41	135.09
Phatthalung	AIG	22.46	63.61	96.17	129.07
Chiang	AI	31.67	71.27	81.32	81.59
Phatthalung	AIG	26.58	67.84	77.21	75.86

AI: Arroz Integral, AIG: Arroz Integral Germinado
Fuente: *(J. BANCHUEN et al., 2010) (17)*

Ácido felúrico: es el mayor compuesto fenólico en el arroz. El ácido felúrico tiene la capacidad de prevenir la acumulación de superóxido, controlando la agregación de plaquetas de la sangre y propiedades de bajar el colesterol, así como su capacidad antioxidante (17). El contenido de ácido felúrico en arroz integral y arroz integral germinado son mostrados en la Tabla 9.

TABLA 9

CONTENIDO DE ÁCIDO FELÚRICO EN ARROZ INTEGRAL Y ARROZ INTEGRAL GERMINADO

Variedad de Arroz	Contenido de Ácido Felúrico (mg/100g bs)	
	Arroz Integral	Arroz Integral Germinado
Niaw Dam Peuak Dam	26.03	29.23
Sangyod Phatthanlung	21.75	31.02
Chiang Phatthalung	23.02	31.50

Fuente: *(J. BANCHUEN et al., 2010) (17)*

El fitato o ácido fítico (myo-inositol hexafosfato): es la principal forma de almacenamiento de fosfato en semillas de plantas y cereales. Con su buena estructura molecular y diseño cargado con seis grupos fosfato que se extienden desde el anillo central de inositol, es un quelante potencial de hierro y muchos minerales (17). El contenido de ácido fítico en arroz integral y arroz integral germinado son mostrados en la Tabla 10, donde se observa que durante la germinación hay una reducción en el contenido de este compuesto.

TABLA 10

CONTENIDO DE ÁCIDO FÍTICO EN ARROZ INTEGRAL Y ARROZ INTEGRAL GERMINADO

Variedad de Arroz	Contenido de Ácido Fítico (mg/100g bs)	
	Arroz Integral	Arroz Integral Germinado
Niaw Dam Peuak Dam	862.86	629.98
Sangyod Phatthanlung	860.77	609.17
Chiang Phatthalung	883.91	633.25

Fuente: *(J. BANCHUEN et al., 2010) (17)*

Acontecimientos metabólicos más relevantes en el proceso de germinación del arroz (Figura 1.8) (14):

- ✓ El embrión rehidratado libera giberelinas, que se difunden hacia el endospermo a través del escutelo.
- ✓ Las giberelinas liberadas en el endospermo, al llegar a las células de la capa de aleurona, inducen la producción de enzimas hidrolíticas.
- ✓ Entre las enzimas hidrolíticas sintetizadas se encuentran las amilasas, que se difunden hacia el endospermo para hidrolizar los granos de almidón a glucosa.

- ✓ Las moléculas de glucosa liberadas son utilizadas por el embrión como fuente de energía (ATP), las cuales llegan hasta el mismo por difusión.
- ✓ Las otras enzimas hidrolíticas sintetizadas degradan las restantes reservas: proteínas, lípidos, y ácidos nucléicos. Dichas reservas son hidrolizadas a moléculas más sencillas, es decir, a aminoácidos, ácidos grasos y glicerol, y nucleótidos, respectivamente.
- ✓ Ahora, el embrión ya dispone de las moléculas estructurales y de la energía necesaria para iniciar la síntesis de sus propias moléculas.
- ✓ Finalmente, el embrión, después de diferenciarse y crecer, se convertirá en una joven plántula.

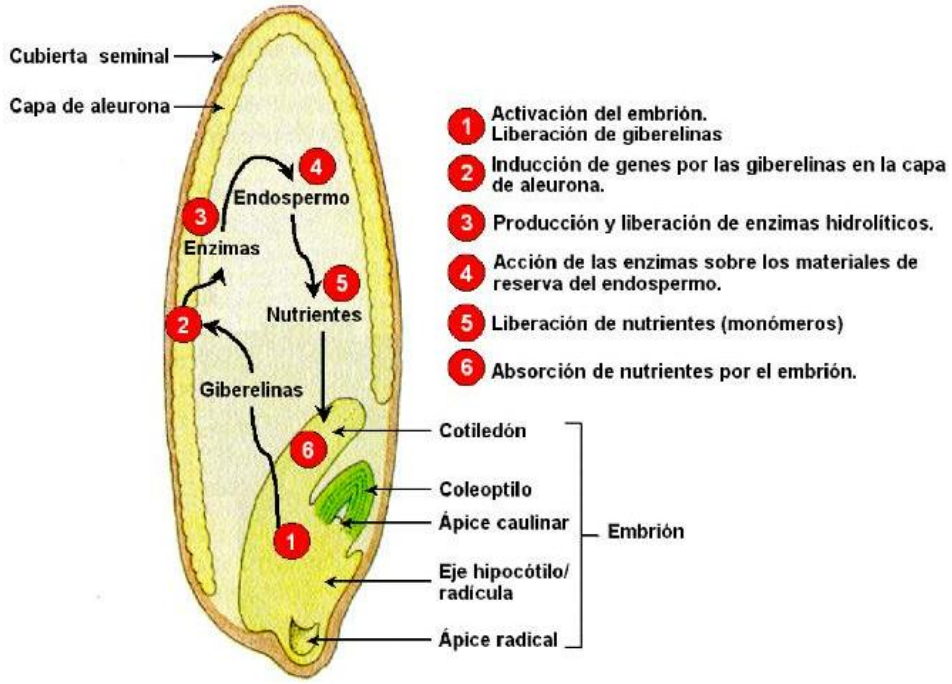


Figura 1.8. Acontecimientos metabólicos más relevantes en el proceso de la germinación de los cereales. (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA) (14).

CAPÍTULO 3

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materia prima

Para la ejecución de este proyecto se utilizó arroz paddy variedad INIAP 15, cosecha verano; proveniente del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador (INIAP), estación Boliche en la provincia del Guayas, Ecuador. Estudios no publicados de Cáceres, 2012 (20) revelaron que en estas variedades de arroz se producía un incremento del contenido de GABA. La característica principal de este tipo de variedad es el tamaño del grano, ya que es extra largo, mide aproximadamente 7.5 mm, lo que indica según

estudios que este posee alto contenido de amilosa y temperatura de gelatinización.

Para llevar a cabo el desarrollo del estudio se realiza un descascarillado sencillo de la semilla en la Bolsa de Producto para obtener arroz integral. Posteriormente, se germina el mismo, y por último las semillas son secadas y molidas hasta obtener harina.

3.2. Diseño experimental

Para el diseño del experimento se consideró como variable un solo factor que es el tiempo. Este factor consta de 5 tratamientos que corresponden a cada etapa de germinación (Tabla 11).

TABLA 11

ETAPAS DE GERMINACIÓN

Tratamiento	Factor (Día)	Etapa
1	0	Arroz integral
2	1	Arroz integral remojado
3	2	Arroz integral con 24 h de germinación
4	3	Arroz integral con 48 h de germinación
5	4	Arroz integral con 72 h de germinación

Elaborado por: *SÁNCHEZ G. JANAÍNA; LOAYZA J. ELIANA, 2012*

De cada tratamiento se realizaron 2 réplicas, y cada una fue analizada por triplicado. De esta manera, se obtuvo en total 30 observaciones que fueron analizadas estadísticamente con el programa Statgraphics 16.

Las variables de respuesta analizadas en el experimento fueron las características físicas (temperatura inicial de gelatinización), reológicas (número de caída, viscosidad y consistencia) y tecnológicas (claridad de los geles, índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento).

3.3. Método de germinación de arroz integral

El arroz integral fue desinfectado con una solución de hipoclorito de sodio al 0,1%, se dejó remojar el grano durante 30 minutos y luego se lo enjuagó tres veces con agua destilada. Posteriormente, se dejó el grano en remojo en agua destilada, en una proporción 1:5 (arroz:solución), en una incubadora por 24 horas a 28 ± 1 °C. Luego, los granos de arroz remojados fueron escurridos y distribuidos sobre una capa de papel filtro previamente humedecido con agua destilada, que fue colocado sobre una especie de cama contenida en una

bandeja de plástico. Esta bandeja fue cubierta luego por otra capa de papel filtro, el mismo que fue humedecido posteriormente. La germinación se llevó a cabo en una incubadora a 28 ± 1 °C y con una humedad relativa del 100%, colocando beakers con agua destilada dentro de la incubadora y rociando también de esta agua el sistema 2 veces por día. Las muestras fueron recolectadas después del remojo y a las 24, 48 y 72 horas de germinación. Las semillas germinadas fueron secadas en una estufa a 50 ± 1 °C por 24 horas, hasta aproximadamente 10% de humedad. Una vez seco el grano se molió hasta que la harina atravesó el tamiz de 10 micras. El Apéndice A muestras las fotos del sistema de germinación.

3.4. Caracterización de la harina de arroz integral germinado

Para determinar el comportamiento de las harinas de arroz integral durante los días de germinación se analizó la temperatura inicial de gelatinización como caracterización física. Por otro lado, se realizaron caracterizaciones reológicas entre ellas la viscosidad, consistencia y número de caída. Por último, se realizaron caracterizaciones tecnológicas como la claridad de los geles de almidón, índice de

absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento de los gránulos de almidón. A continuación se detallan las técnicas utilizadas para los análisis antes nombrados:

3.4.1. Caracterizaciones físicas

3.4.1.1. Temperatura inicial de gelatinización

La temperatura inicial de gelatinización se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por Cañizares y col, 1993 (21). Se preparó suspensiones de almidón al 0.5% (bs) y se colocaron sobre una placa eléctrica de calentamiento con agitación magnética graduada, de tal forma que permita elevar la temperatura de la suspensión a una velocidad de 1˚ C/min. A partir de los 50˚C, cada grado centígrado que aumente la temperatura, se tomaban muestras de 2 ml y se colocan en tubos de ensayo. Se dejó enfriar y se añadió una gota de solución saturada de yodo. Se reportó como temperatura inicial de gelatinización

cuando se observó un cambio de coloración, de amarillo verdoso a azul. El Apéndice B muestra las fotos con el procedimiento de determinación de la temperatura inicial de gelatinización.

3.4.2. Caracterizaciones reológicas

3.4.2.1. Número de caída

El método de número de caída fue utilizado para determinar la actividad de α – amilasa, usando el equipo Falling Number (modelo FN 1500 Fungal) (22). Se pesó siete gramos de harina en el tubo del equipo. Luego, se le añadió 25 gramos de agua. Los tubos fueron agitados para obtener una masa homogénea. Se coloca el tubo con un agitador en el equipo para determinar el valor de número de caída. Valores altos de números de caída indican una baja actividad de α – amilasa. El Apéndice C muestra las fotos con el equipo para la determinación del número de caída.

3.4.2.2. Viscosidad

La viscosidad fue determinada con el viscosímetro marca Brookfield (DV-II +Pro) de acuerdo a la metodología ISI 2002 (23). Se pesó 25 g de almidón en base seca, y se suspendió en agua destilada hasta completar 500 ml. En un vaso de precipitación se colocó la suspensión y se calentó con agitación hasta ebullición por aproximadamente 15 minutos. Posteriormente, se enfrió el gel hasta 25° C y finalmente se midió la viscosidad en centipoises (cp), con una velocidad de 10 rpm usando el spindle S63. El Apéndice D muestra las fotos con el sistema para la determinación de la viscosidad.

3.4.2.3. Consistencia

La determinación de la consistencia se la realizó con el consistómetro de Bostwick de acuerdo a la metodología descrita en la Norma Mexicana NMX-F-

322-S-1978 (24). Se colocó el nivel de burbuja en el fondo del canal del instrumento limpio y seco y se niveló éste por medio de los tornillos niveladores. Se llevó la muestra a 20± 1°C, se mezcló cuidadosamente con una espátula, teniendo cuidado de no incorporar burbujas de aire y, teniendo cerrada la compuerta, se llenó completamente la cámara con el producto. Con ayuda de una espátula se enrasó la parte superior de la masa del producto a ensayar, removiendo el exceso de éste. Se aseguró el instrumento para que no se mueva, se soltó súbitamente la compuerta, a la vez que se empezó a tomar el tiempo y se dejó que el producto fluya libremente en el canal. Diez segundos después de abierta la compuerta se leyó en la escala marcada en el fondo del instrumento la distancia máxima en centímetros que alcanzó el producto. La lectura se la realiza en el centro y a los costados, se promediaron las lecturas y se reportó la consistencia como el recorrido en centímetros (cm) en el tiempo dado (10 seg). El Apéndice E muestra las fotos de la

determinación de la consistencia en el consistómetro de Bostwick.

3.4.3. Caracterizaciones tecnológicas

3.4.3.1. Claridad de los geles

La determinación de claridad de los geles se la realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Bello – Pérez, 1995 (21). Se preparó suspensiones de almidón al 1 % (bs) en agua desionizada, se colocó en tubos de ensayo con tapón de rosca y fueron llevados a un baño maría marca Barnstead a temperatura de ebullición durante 30 minutos, agitándolos cada 5 minutos. Posteriormente los tubos fueron enfriados a temperatura ambiente y finalmente se determinó el porcentaje de transmitancia (%T) de las suspensiones en un espectrofotómetro marca Perkin Elmer a una longitud de onda de 650 nm, empleando como blanco agua desionizada. El Apéndice F muestra las fotos con

el procedimiento de determinación de la claridad de los geles.

3.4.3.2. Índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento

La determinación del índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento se la realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Crosbie et al. (25), 1991 y Anderson et al., 1969 (26) (método modificado). En un vaso de precipitación se preparó una suspensión de almidón al 1% (bs), se colocó en un baño maría a 60°C durante 30 min y con agitación cada 5 min. Posteriormente, se transfirieron porciones de 20 ml en tubos de centrífuga con tapa previamente pesados, los cuales se centrifugaron a 5000 rpm/15 min en una centrífuga marca Hermle. Se decantó el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar las muestras (máximo 1 min después) y se midió el volumen. Se tomaron alícuotas de 10 ml del

sobrenadante y se colocaron en platos de aluminio previamente pesados, las mismas que fueron secadas en una estufa toda la noche a 70 °C. Por último, se pesó el tubo con el gel y el plato de aluminio con los sólidos solubles. Los cálculos del índice de absorción de agua (IAA), solubilidad (ISA) y poder de hinchamiento (PH) se realizaron mediante las ecuaciones 1, 2 y 3 respectivamente.

$$IAA = \frac{Peso\ del\ gel}{Peso\ de\ la\ muestra\ (bs)} \quad (1)$$

$$ISA = \frac{Peso\ de\ solubles \times V \times 10}{Peso\ de\ la\ muestra\ (bs)} \quad (2)$$

$$PH = \frac{Peso\ del\ gel}{Peso\ de\ la\ muestra\ (bs) - Peso\ de\ solubles} \quad (3)$$

El Apéndice G muestra las fotos con el procedimiento de determinación de la absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Efecto de la germinación en las características físicas de la harina de arroz integral germinado

4.1.1. Temperatura inicial de gelatinización

Mediante la prueba de ANOVA se determinó que existe una relación estadísticamente significativa entre la temperatura inicial de gelatinización y el tiempo con un nivel de confianza del 95%. El gráfico 1 muestra el comportamiento de la temperatura inicial de gelatinización versus el tiempo, el cual indica que la

temperatura inicial de gelatinización para las muestras de arroz integral (día 0) es de 72 °C y disminuye hasta las 24 h de germinación (día 2) con valores de 70 °C, para posteriormente incrementar la temperatura durante las 48 h de germinación (día 3) y 72 h de germinación (día 4) hasta valores de 73 °C.

La disminución de la temperatura de gelatinización se debería a una hidrólisis parcial de la cadena de amilopectina a cadenas más cortas que son más fáciles de disociarse. Durante el primer día de germinación la actividad enzimática sigue rompiendo las cadenas de amilopectina, disminuyendo aun más la temperatura de gelatinización. La elevación de la temperatura de gelatinización se podría explicar por un aumento de carbohidratos simples que compiten junto a los almidones por el agua disponible (27).

La prueba de múltiples rangos (Tabla 12) indica que existe una diferencia significativa con un 95% de confianza entre las harinas de todos los días, sin embargo entre la harina de arroz

integral (día 0) y la de 48 h de germinación (día 3) no existe una diferencia significativa.

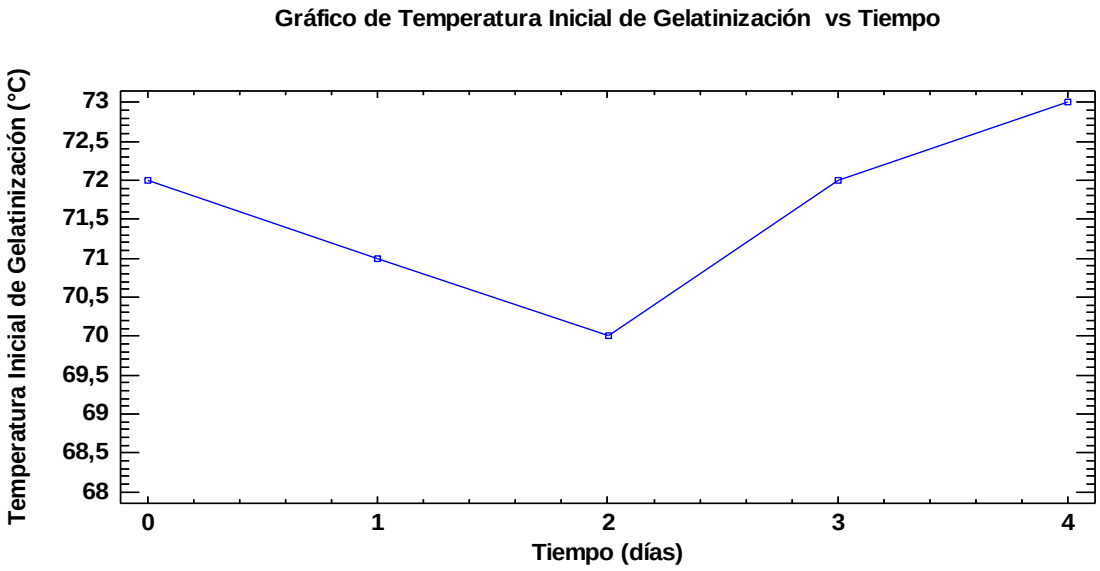


Gráfico 1. Temperatura Inicial de Gelatinización vs Tiempo

TABLA 12

PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS PARA TEMPERATURA INICIAL DE GELATINIZACIÓN POR TIEMPO

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	6	72.0	X
1	6	70.8	X
2	6	70.0	X
3	6	72.0	X
4	6	73.0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	1.67	0.22
0 - 2	*	2.00	0.22
0 - 3		0	0.22
0 - 4	*	-1.00	0.22
1 - 2	*	0.83	0.22
1 - 3	*	-1.17	0.22
1 - 4	*	-2.17	0.22
2 - 3	*	-2.00	0.22
2 - 4	*	-3.00	0.22
3 - 4	*	-1.00	0.22

* indica una diferencia significativa.

4.2. Efecto de la germinación en las características reológicas de la harina de arroz integral germinado

4.2.1. Número de caída

El número de caída es una medida indirecta de la actividad enzimática (contenido de alfa-amilasa) de la harina. El método sigue el principio de la gelatinización rápida de una suspensión de harina y la medición subsiguiente de la licuefacción del almidón por acción de la enzima alfa-amilasa. El valor óptimo en harinas de panadería varía entre 250-400 seg, prefiriendo los valores intermedios. Un valor bajo refleja mayor presencia de la

enzima, y uno alto, menor presencia de esta. Si está por encima de 400 seg, las harinas darán productos de baja calidad con migas muy pegajosas, poco volumen y mucho color; si el valor es muy bajo las fermentaciones serán demasiado lentas y el desarrollo del pan escaso (27).

Mediante la prueba ANOVA se determinó que existe una relación estadísticamente significativa entre el número de caída y el tiempo con un nivel de confianza del 95%. El gráfico 2 muestra el comportamiento del número de caída versus el tiempo, el cual indica que durante la germinación disminuye el número de caída debido a que se produce un incremento de la actividad de la alfa-amilasa. Así tenemos, que los valores más bajos de número de caída se encuentran durante las 72 h de germinación (día 4), y por ende una mayor actividad de la enzima alfa-amilasa.

La prueba de múltiples rangos (Tabla 13) indica que existe una diferencia significativa con un 95% de confianza entre las harinas de todos los días.

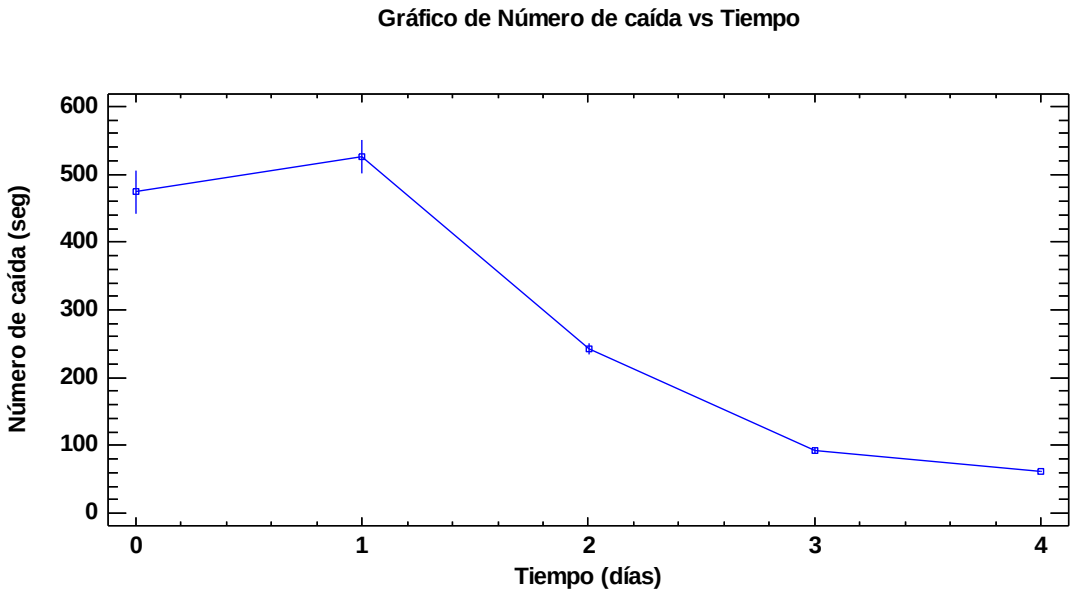


Gráfico 2. Número de caída vs Tiempo

TABLA 13

PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS PARA NÚMERO DE CAÍDA POR TIEMPO

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	6	473.67	X
1	6	525.17	X
2	6	243.00	X
3	6	92.50	X
4	6	62.00	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	-51.5	22.07
0 - 2	*	230.67	22.07
0 - 3	*	381.17	22.07
0 - 4	*	411.67	22.07
1 - 2	*	282.17	22.07
1 - 3	*	432.67	22.07
1 - 4	*	463.17	22.07
2 - 3	*	150.50	22.07
2 - 4	*	181.00	22.07
3 - 4	*	30.50	22.07

* indica una diferencia significativa.

4.2.2. Viscosidad

Con la prueba ANOVA se determinó que existe una relación estadísticamente significativa entre la viscosidad y el tiempo con un nivel de confianza del 95%. El gráfico 3 muestra el comportamiento de la viscosidad versus el tiempo, el cual indica que el pico más alto de viscosidad es durante el periodo de remojo (día 1). Sin embargo, durante la germinación se produce una disminución significativa de la viscosidad, alcanzando valores mínimos desde las 48 h de germinación (día 3). Cabe indicar que las harinas de los días 3 y 4 no se presentaron viscosas, por el contrario se presentaron como un agua turbia

que se asentaba a medida que transcurría el tiempo (ver Apéndice H), este fenómeno se debe a que enzimas que degradan el almidón, tales como α-amilasas, β-amilasas, dextrinasa, y α-glucosidasa se activan durante la germinación. Debido al aumento de la actividad de estas enzimas, las cadenas de almidón son fragmentadas a pequeñas dextrinas que a su vez muestran una reducción de la viscosidad (28).

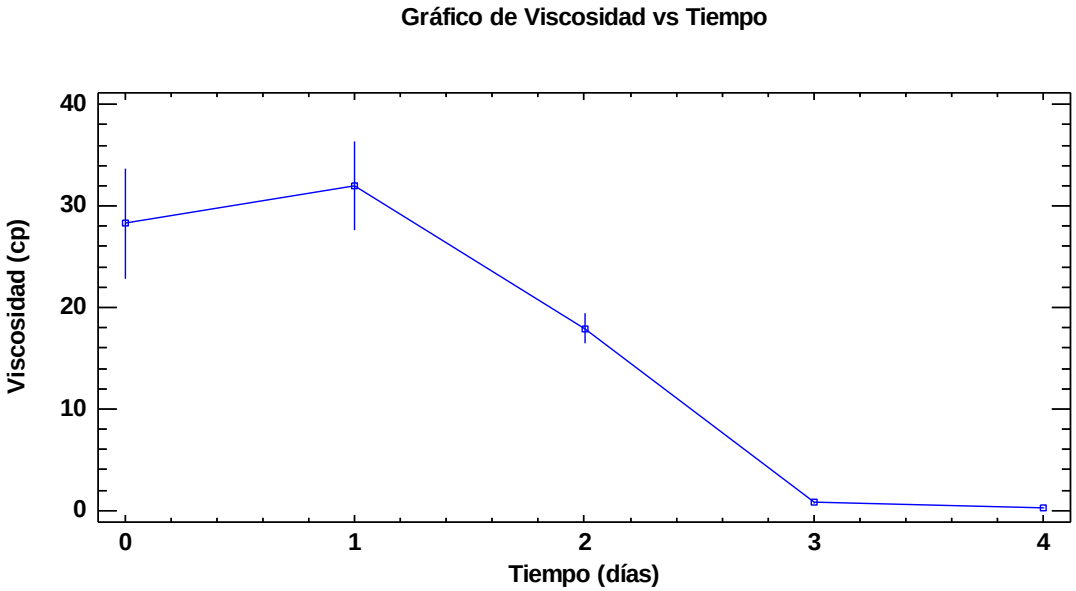


Gráfico 3. Viscosidad vs Tiempo

La prueba de múltiples rangos (Tabla 14) indica que existe una diferencia significativa con un 95% de confianza entre las

harinas de todos los días, sin embargo entre la harina de arroz integral (día 0) y la de remojo (día 1), y la de 48 h de germinación (día 3) y la de 72 h de germinación (día 4) no existe una diferencia significativa.

TABLA 14

PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS PARA VISCOSIDAD POR TIEMPO

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	6	28.28	X
1	6	31.95	X
2	6	17.93	X
3	6	0.73	X
4	6	0.25	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1		-3.67	3.79
0 - 2	*	10.35	3.79
0 - 3	*	27.56	3.79
0 - 4	*	28.04	3.79
1 - 2	*	14.02	3.79
1 - 3	*	31.22	3.79
1 - 4	*	31.70	3.79
2 - 3	*	17.21	3.79
2 - 4	*	17.69	3.79
3 - 4		0.48	3.79

* indica una diferencia significativa.

4.2.3. Consistencia

La consistencia es el grado de deformación que presentan los fluidos cuando se les somete a un esfuerzo cortante. El término está relacionado a la velocidad de flujo de un líquido o fluido; es decir, la distancia que un fluido recorre en un determinado tiempo, así tenemos que si la distancia recorrida es mayor hablamos de un fluido poco consistente y viceversa.

La prueba ANOVA mostró que existe una relación estadísticamente significativa entre la consistencia y el tiempo con un nivel de confianza de 95%. El gráfico 4 muestra el comportamiento de la consistencia para las muestras de harina de arroz integral (día 0), remojo (día 1) y 24 h de germinación (día 2) con valores promedios de 10.42, 10.42 y 18.58 cm/10seg respectivamente. Cabe destacar que posterior a las 24 h de germinación (día 2) las harinas obtenidas no se mostraron consistentes, por lo cual no fueron consideradas para el análisis. Al igual que en la viscosidad, este fenómeno se debe al incremento de la actividad alfa-amilásica durante la germinación,

rompiendo las cadenas de amilosa y amilopectina disminuyendo así la viscosidad.

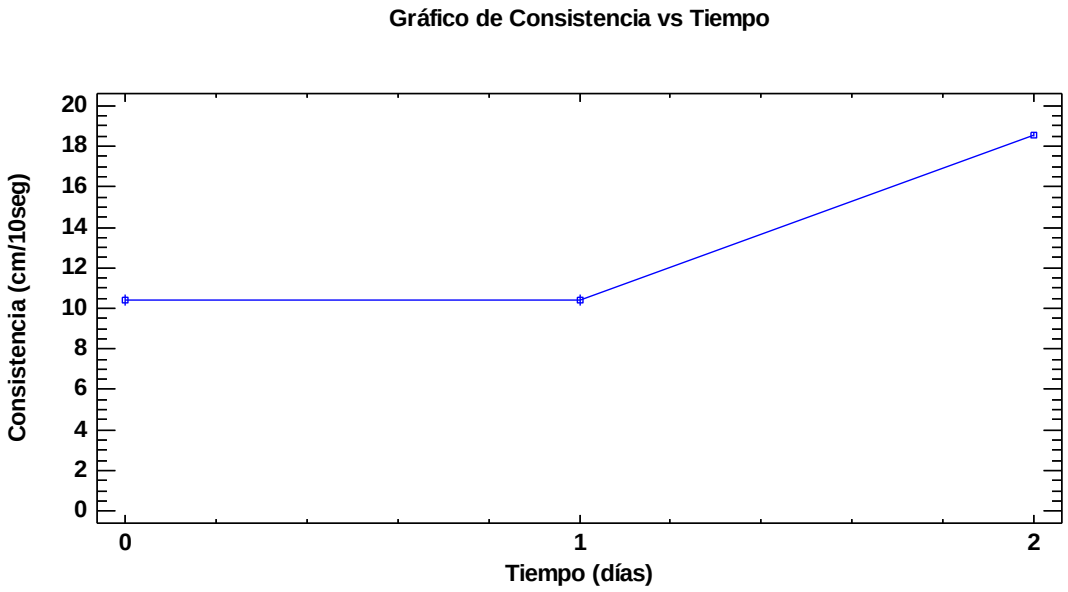


Gráfico 4. Consistencia vs Tiempo

La prueba de múltiples rangos (Tabla 15) indica que existe una diferencia significativa con un 95% de confianza entre las harinas de arroz integral (día 0) y 24 h de germinación (día 2), y las harinas de remojo (día 1) y 24 h de germinación (día 2). Por el contrario, entre las harinas de arroz integral (día 0) y remojo (día 1) no existe una diferencia significativa para este parámetro.

TABLA 15

PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS PARA CONSISTENCIA POR TIEMPO

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	6	10.4167	X
0	6	10.4167	X
2	6	18.5833	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1		0	0.27517
0 - 2	*	-8.16667	0.27517
1 - 2	*	-8.16667	0.27517

* indica una diferencia significativa.

4.3. Efecto de la germinación en las características tecnológicas de la harina de arroz integral germinado

4.3.1. Claridad de los geles

Se determinó con la prueba ANOVA que existe una relación estadísticamente significativa entre la claridad de los geles y el tiempo con un nivel de confianza del 95%. El gráfico 5 indica el comportamiento de la claridad de los geles versus el tiempo,

donde se observa que este parámetro se mantiene constante para las muestras de arroz integral (día 0), remojo (día 1), 24 h de germinación (día 2) y 48 h de germinación (día 3); mientras que para las muestras de 72 h de germinación (día 4) hay una disminución de los valores de la claridad de los geles. La disminución de este parámetro podría deberse también a la actividad enzimática que rompe las cadenas de almidón, provocando turbidez en la muestra al igual que en la viscosidad impidiendo el paso de la luz a través de la dispersión.

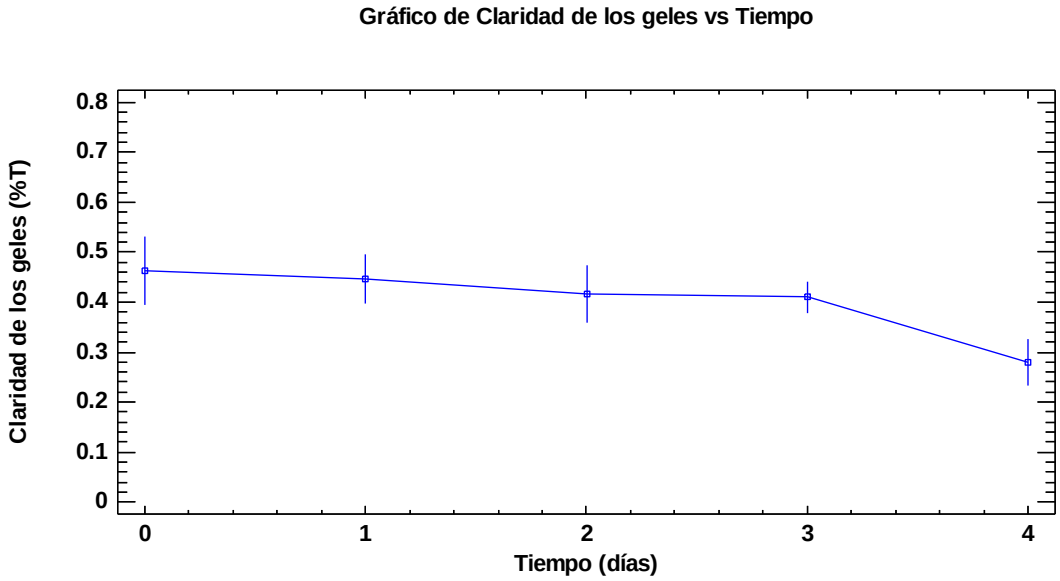


Gráfico 5. Claridad de los geles vs Tiempo

La prueba de múltiples rangos (Tabla 16) indica que no existe una diferencia significativa con un 95% de confianza entre las harinas de todos los días, exceptuando la harina con 72 h de germinación (día 4) que presenta una diferencia significativa con respecto a las demás harinas.

TABLA 16

PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS PARA CLARIDAD DE LOS GELES POR TIEMPO

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	6	0.463333	X
1	6	0.446667	X
2	6	0.416667	X
3	6	0.41	X
4	6	0.28	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1		0.0166667	0.0626498
0 - 2		0.0466667	0.0626498
0 - 3		0.0533333	0.0626498
0 - 4	*	0.183333	0.0626498
1 - 2		0.03	0.0626498
1 - 3		0.0366667	0.0626498
1 - 4	*	0.166667	0.0626498
2 - 3		0.00666667	0.0626498
2 - 4	*	0.136667	0.0626498
3 - 4	*	0.13	0.0626498

* indica una diferencia significativa.

4.3.2. Índice de absorción de agua

Los almidones tienden a hidratarse como consecuencia de la ruptura de los enlaces de hidrógeno en las regiones amorfas, a los que le sigue una irreversible y progresiva absorción de agua. Esta propiedad de retener agua es deseable, ya que indica la capacidad del polímero para interactuar con el agua de solvatación y es una medida indirecta de la consistencia de la dispersión formada (25).

Mediante la prueba ANOVA se determinó que existe una relación estadísticamente significativa entre el índice de absorción de agua y el tiempo con un nivel de confianza del 95%. El gráfico 6 indica que hay una tendencia de disminución del índice de absorción de agua para las muestras de harina de los días 0, 1, 2, 3, y 4.

La disminución del índice de absorción de agua estaría ligada a la ruptura de la cadena de amilopectina. Este resultado estaría vinculado a lo observado con la temperatura de gelatinización,

ya que la formación de unidades más simples a partir de almidón competirían por el agua, haciéndola menos ligada al almidón.

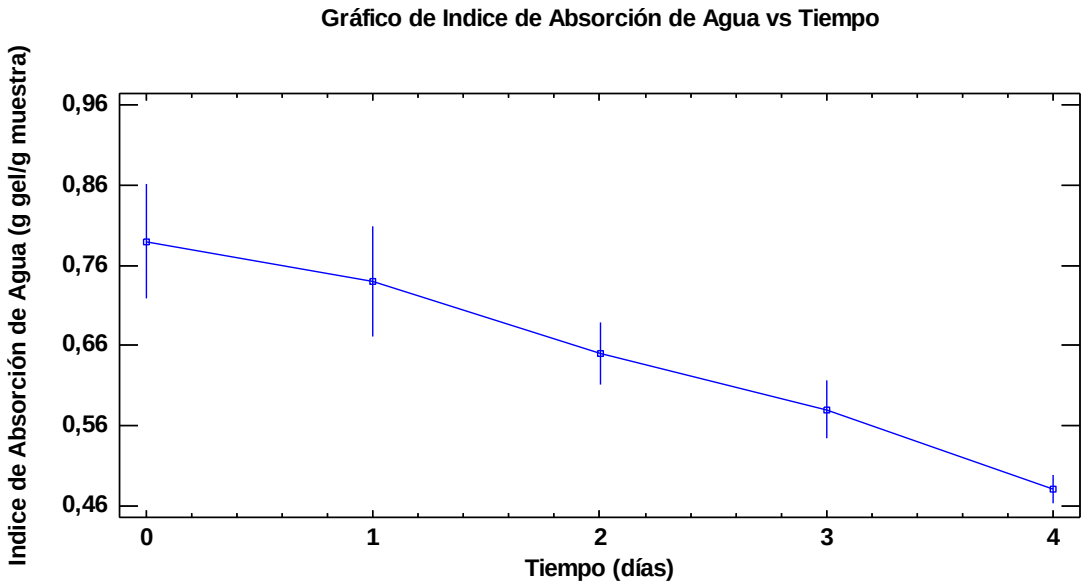


Gráfico 6. Índice de Absorción de Agua vs Tiempo

.

La prueba de múltiples rangos (Tabla 17) indica que existe una diferencia significativa con un 95% de confianza entre las harinas de todos los días, excepto entre las harinas de arroz integral (día 0) y la de remojo (día 1), y la de 24 h de germinación (día 2) y la de 48 h de germinación (día 3) que no presentan una diferencia significativa.

TABLA 17

PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS PARA ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA POR TIEMPO

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	6	0.79	X
1	6	0.74	X
2	6	0.65	X
3	6	0.63	X
4	6	0.48	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1		0.06	0.07
0 - 2	*	0.14	0.07
0 - 3	*	0.161	0.07
0 - 4	*	0.32	0.07
1 - 2	*	0.09	0.07
1 - 3	*	0.11	0.07
1 - 4	*	0.26	0.07
2 - 3		0.02	0.07
2 - 4	*	0.175	0.07
3 - 4	*	0.155	0.07

* indica una diferencia significativa.

4.3.3. Índice de solubilidad en agua

Se ha reportado que el poder de hinchamiento y la solubilidad presentan evidencia de uniones no covalentes entre las

moléculas de amilosa y amilopectina que integran el almidón; éstos parámetros están influenciados por factores tales como la relación amilosa/amilopectina, la longitud y distribución del peso molecular de las cadenas, el grado y la longitud de la ramificación así como por la conformación (25).

La prueba ANOVA mostró que existe una relación estadísticamente significativa entre el índice de solubilidad en agua y el tiempo con un nivel de confianza del 95%. El gráfico 7 muestra como el índice de solubilidad se mantiene constante para las muestras de arroz integral (día 0), remojo (día 1) y 24 h de germinación (día 2); para luego, mostrar un incremento de este parámetro en las muestras de 48 h de germinación (día 3) y 72 h de germinación (día 4).

Los compuestos simples, formados a partir de la cadena de almidón, son más solubles que el almidón por lo que este índice se incrementa.

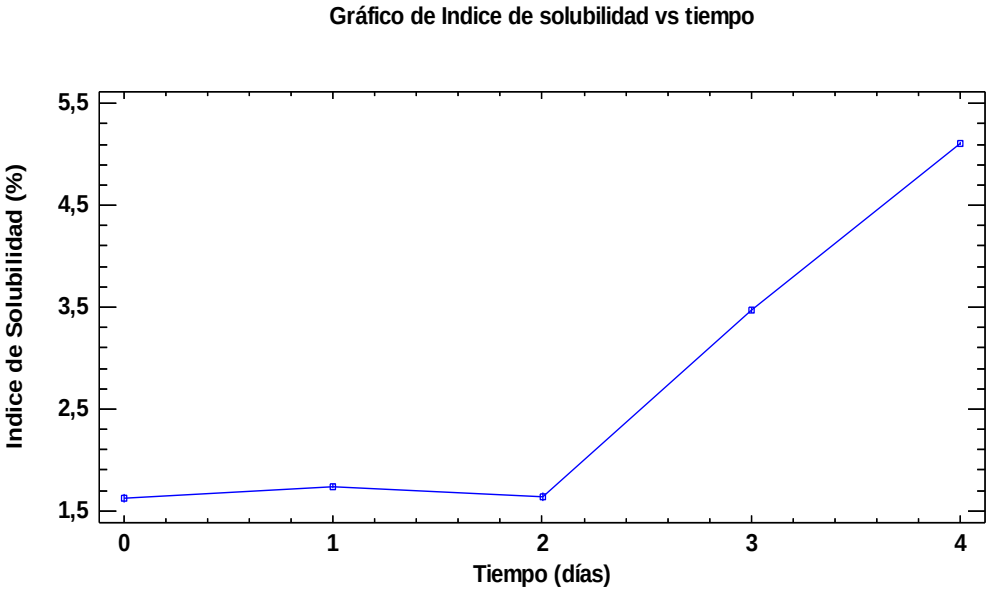


Gráfico 7. Índice Solubilidad vs Tiempo

La prueba de múltiples rangos (Tabla 18) indica que existe una diferencia significativa con un 95% de confianza entre la mayoría de las harinas. Así tenemos, que para las harinas de arroz integral (día 0) y remojo (día 1), arroz integral (día 0) y 24 h de germinación (día 2), y remojo (día 1) y 24 h de germinación (día 2) no existe una diferencia significativa para el índice de solubilidad en agua.

TABLA 18

PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS PARA ÍNDICE DE SOLUBILIDAD POR TIEMPO

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	6	1.63	X
1	6	1.74	X
2	6	1.64	X
3	6	3.61	X
4	6	4.54	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1		-0.11	0.59
0 - 2		-0.017	0.59
0 - 3	*	-1.99	0.59
0 - 4	*	-2.92	0.59
1 - 2		0.09	0.59
1 - 3	*	-1.88	0.59
1 - 4	*	-2.81	0.59
2 - 3	*	-1.97	0.59
2 - 4	*	-2.89	0.59
3 - 4	*	-0.93	0.59

* indica una diferencia significativa.

4.3.4. Poder de hinchamiento

En presencia de agua, los gránulos de almidón empiezan a hincharse y a embeber el agua, cuando se aplica energía, las

moléculas de agua rompen los puentes de hidrógeno intermoleculares en la región amorfa y penetran al gránulo causando hinchamiento del mismo. Si se continúa incrementando el calor, la dispersión de almidón perderá la conformación micelar, provocada por la absorción de agua y el incremento de tamaño del gránulo con un probable incremento en la cantidad de sólidos solubles (25).

Mediante la prueba ANOVA se determinó que existe una relación estadísticamente significativa entre el poder de hinchamiento y el tiempo con un nivel de confianza del 95%. El gráfico 8 indica que hay una tendencia a disminuir el poder de hinchamiento según avanza el tiempo de germinación. Este resultado está relacionado a lo discutido anteriormente sobre la ruptura de la cadena de amilopectina, que interviene directamente sobre el poder de hinchamiento.

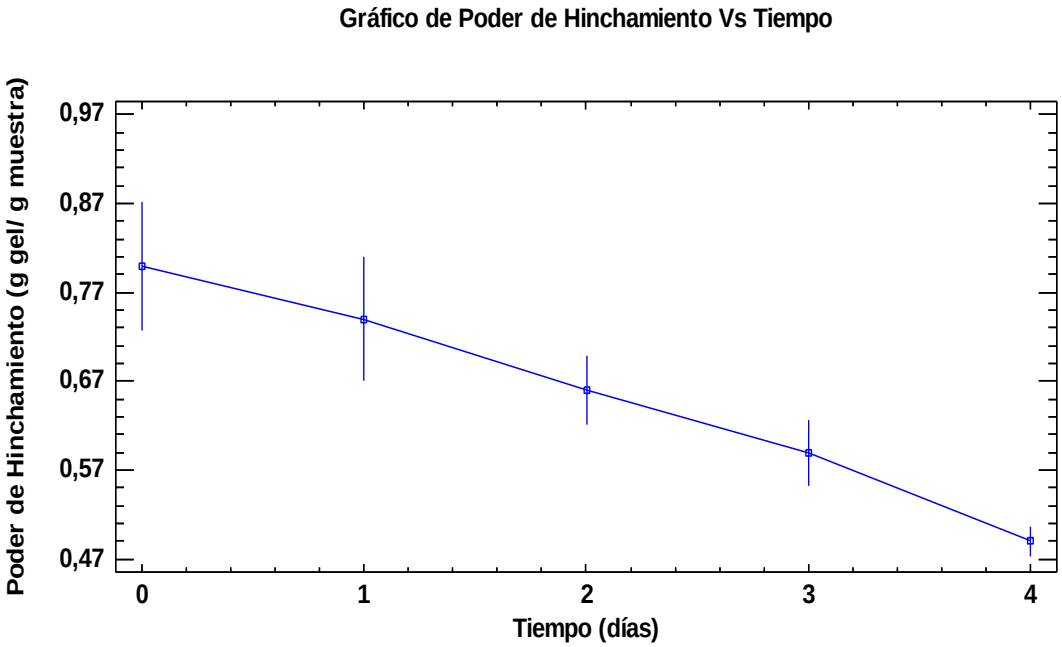


Gráfico 8. Poder de hinchamiento vs Tiempo

La prueba de múltiples rangos (Tabla 19) indica que existe una diferencia significativa con un 95% de confianza entre las harinas de todos los días, excepto entre las harinas de arroz integral (día 0) y la de remojo (día 1), y la de 24 h de germinación (día 2) y la de 48 h de germinación (día 3) que no presentan una diferencia significativa.

TABLA 19

PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS PARA PODER DE HINCHAMIENTO POR TIEMPO

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	6	0.80	X
1	6	0.74	X
2	6	0.66	X
3	6	0.64	X
4	6	0.49	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1		0.058	0.075
0 - 2	*	0.15	0.075
0 - 3	*	0.16	0.075
0 - 4	*	0.32	0.075
1 - 2	*	0.09	0.075
1 - 3	*	0.10	0.075
1 - 4	*	0.26	0.075
2 - 3		0.02	0.075
2 - 4	*	0.17	0.075
3 - 4	*	0.15	0.075

* indica una diferencia significativa.

4.4. Recomendaciones del uso de la harina de arroz integral germinado

Actualmente existe un gran interés por la industrialización de la harina de arroz como aprovechamiento de la producción de este cereal, percibiendo al mismo, como potencial materia prima para la elaboración de productos de panadería, repostería, pastas, galletas, extrusiones, etc.

Un aspecto importante de la inclusión de la harina de arroz en la dieta alimentaria, es que el almidón de arroz presenta respuestas metabólicas de glicemia e insulinemia diferentes al resto de los cereales, debido a la distinta proporción de amilosa:amilopectina. Así los productos con mayor contenido de amilosa presentan una menor digestibilidad del almidón y, consecuentemente, menores respuestas glicémicas e insulinémicas (29).

De acuerdo a los análisis realizados para determinar las características físicas, reológicas y tecnológicas tenemos las siguientes recomendaciones para futuros usos industriales.

Uno de los parámetros más importantes que define la calidad de una harina para productos de panadería y elaboración de pastas es el número de caída. Según bibliografía podemos decir, que para la elaboración de panes con bajo valor de número de caída (< 250 seg) darán panes con textura pobre, miga pegajosa y será difícil de procesar. Por el contrario, pan hecho de harina con alto valor de número de caída (> 400 seg) será de bajo volumen y miga seca (22). En ambas circunstancias, la calidad y vida útil del pan se verá afectada negativamente, por lo cual es indispensable elegir harinas con valores intermedios. Así mismo, la elaboración de pastas con harinas de bajo valor de número de caída dará un producto con color fuera de estándar, de pasta pegajosa incluso después de hervido, por lo cual es indispensable harinas con valores de número de caída de 300 seg (22) (30).

Dada estas características podemos decir que la harina con 24 h de germinación (día 2) es la más adecuada para la elaboración de pan, puesto a que presentó un valor de número de caída de 243 seg. A pesar de que es un valor < 250 seg, es aceptable ya que hay otras fuentes en las que valores de 200-350 seg son considerados como

normales (31), y que valores menores a 200 seg indican niveles indeseables de actividad enzimática (32).

Por otro lado, las harinas de arroz integral (día 0) y remojo (día 1) no son recomendables en panadería ni para la elaboración de pastas ya que presentaron valores de número de caída de 474 y 525 seg respectivamente, así con lo expuesto anteriormente se obtendrían panes con bajo volumen y miga seca. Además, las harinas con 48 h de germinación (día 3) y 72 h de germinación (día 4) tampoco son recomendables para los productos antes mencionados, ya que presentaron valores de número de caída de 93 y 62 seg respectivamente, obteniendo productos pegajosos.

Cabe señalar que en la fabricación de panes de trigo se ha usado harina procedente de arroz integral, provocando una reducción del volumen específico del pan, sin embargo, la utilización de harina de arroz integral germinado mejora la calidad del pan y retrasa el envejecimiento (28).

En cuanto a la temperatura de gelatinización es deseable bajas temperaturas, ya que se obtienen mejores migas de pan. Además, cabe indicar que arroces con bajo contenido de amilosa gelatinizan a temperaturas más bajas (33), esto permite la disminución de la retrogradación. Así tenemos, que para la elaboración de productos de panificación la harina más adecuada es la de 24 horas de germinación (día 2) que presentó la temperatura más baja (70 °C) en relación a las demás harinas.

Durante el calentamiento de una suspensión, los puentes de hidrógeno intermoleculares se rompen provocando una absorción progresiva e irreversible de agua dejando como resultado el hinchamiento de los gránulos de almidón (21). Es de esta manera como se relaciona la absorción de agua y el poder de hinchamiento, con la viscosidad y la consistencia, y estas a su vez influyen sobre la claridad de los productos que se preparen. Dado que las harinas con 48 h de germinación (día 3) y 72 h de germinación (día 4) no se presentaron consistentes ni viscosas, y por ende presentaron bajos valores de absorción de agua y poder de hinchamiento con un incremento en la solubilidad, estas harinas no son recomendadas para usos industriales.

Por otro lado, la claridad de los geles no es una característica de interés en productos de panadería, pastelería, galletas, etc.; sin embargo, en la elaboración de alimentos para bebés o su uso como espesante, es un parámetro clave en cuanto a la modificación sensorial de los productos que con esta harina se elaboren. Las harinas de arroz integral (día 0), remojo (día 1) y 24 h de germinación (día 2) presentaron excelentes características en cuanto a los parámetros antes descritos, sin embargo, se recomendaría la harina con 24 h de germinación (día 2) por el contenido de GABA y Oryzanol que se incrementa con la germinación.

Si bien es cierto, que a medida que transcurre el proceso de germinación, incrementa el contenido de GABA y Oryzanol, las propiedades de calidad de la harina se pierden. Esto es debido a los cambios bioquímicos que ocurren durante la germinación, donde las enzimas hidrolizan el almidón y las proteínas, a moléculas más pequeñas como azúcares y péptidos solubles respectivamente. Estas pequeñas moléculas degradadas podrían contribuir a la formación de débiles redes poliméricas en las pastas u otros productos causando una textura inaceptable (27). Además, el arroz no contiene gluten y

esto también repercutiría en la textura tanto de pastas como en productos panaderos. Sin embargo, existen productos que permiten mejorar la calidad de los productos de panificación, así tenemos los agentes estructurantes que confieren mayor estabilidad a los productos durante la fermentación, la goma xantana y la carboximetil celulosa (CMC) que han sido usados como sustitutos del gluten, hidrocoloides derivados de la celulosa como la hidroxipropilmetil celulosa (HPMC) que ayuda a retener gas y sus propiedades estructurantes (28).

En general, por presentar mejores características físicas, reológicas y tecnológicas la harina de arroz integral con 24 horas de germinación (día 2) es la más recomendada como materia prima para la elaboración de productos de panadería, pastelería, pastas, bizcochos, galletas, etc., sea por sustitución completa o parcial de harinas con las que estos productos suelen ser preparados. Además, puede ser utilizado como ingrediente en la elaboración de embutidos, compotas, espesantes y como harinas compuestas para coladas.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La harina obtenida del periodo de remojo de los granos para la posterior germinación, no tiene efecto significativo sobre las características físicas, reológicas y tecnológicas con respecto a la harina de arroz integral (día 1).

La harina de arroz integral con 24 h de germinación (día 2) presentó la temperatura inicial de gelatinización más baja (70 °C) en relación a las demás harinas que llegaron a valores cercanos a 73 °C, siendo la primera la más adecuada para la elaboración de productos de panificación ya que temperaturas bajas de gelatinización producen mejores migas de pan.

La harina de arroz integral con 24 h de germinación (día 2) presentó mejores características reológicas con un número de caída de 243 seg, una viscosidad de 17.93 Cp y una consistencia de 18.58 cm/10 seg. Por otro lado, harinas de arroz integral (día 0) y de remojo (día 1) se mostraron muy viscosas y consistentes, y con valores de número de caída muy altos, mientras que harinas con 48 h y 72 h de germinación se mostraron no viscosas con aspecto de agua turbia, y con valores de número de caída bastante bajos, esto debido a la actividad de las enzimas durante la geminación.

En cuanto a las características tecnológicas, las harinas de arroz integral (día 0), remojo (día 1) y 24 h de germinación (día 2) presentaron mejores respuestas, teniendo como resultado harinas con altos valores de claridad, índice de absorción de agua y poder de hinchamiento, y bajos valores de solubilidad; mientras que las harinas con 48 h (día 3) y 72 h (día 4) presentaron valores opuestos en relación a las harinas de los días 0, 1 y 2.

Por presentar las mejores características físicas, reológicas y tecnológicas, la harina de arroz integral con 24 h de germinación, es la más adecuada

para usos industriales; tanto en productos de panadería, pastelería, embutidos, alimentos para bebés, como espesantes, etc.

Las harinas de arroz integral con 48 h de germinación (día 3) y 72 h de germinación (día 4) no pueden ser aplicadas para usos industriales, debido a que este periodo de germinación (posterior a las 24 h) afecta las características de calidad de la harina (características físicas, reológicas y tecnológicas), producto de los cambios bioquímicos y la actividad enzimática que tiene lugar durante este proceso. Por esta razón, se recomienda realizar estudios de arroz cocido para consumo directo de los germinados de 48 h y 72 h; determinando así, condiciones y tiempos de cocción que pueden variar debido a los cambios que sufre el arroz durante la germinación.

Durante los días de germinación que fueron objeto de análisis, se obtuvo como resultado una ligera contaminación microbiana para las 48 h de germinación (día 3) y una contaminación más acentuada para las 72 h de germinación (día 4), por lo cual se recomienda realizar estudios del efecto de las características físicas, reológicas y tecnológicas de las harinas por periodos más cortos tiempo durante las 24 h de germinación.

APÉNDICES

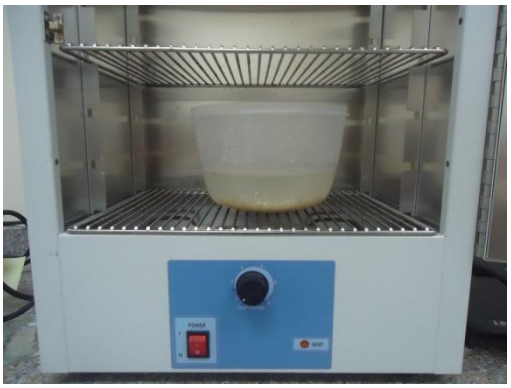
APÉNDICE A

GERMINACIÓN

1. Remojo de las semillas en solución de hipoclorito de sodio al 0.1% durante 30 min.

2. Enjuague de los granos con agua destilada (3 veces).

3. Remojo de los granos en una incubadora durante 24 h a 28±1 °C.



4. Escurrido y distribución de los granos sobre la bandeja para germinación.

5. Germinación de los granos en una incubadora durante 24 h a 28±1 °C y humedad relativa del 100%.

6. Arroz integral germinado de 24 h (día 2).

7. Arroz integral germinado de 48 h (día 3).

8. Arroz integral germinado de 72 h (día 4).

9. Secado del arroz germinado en estufa a 50 °C.

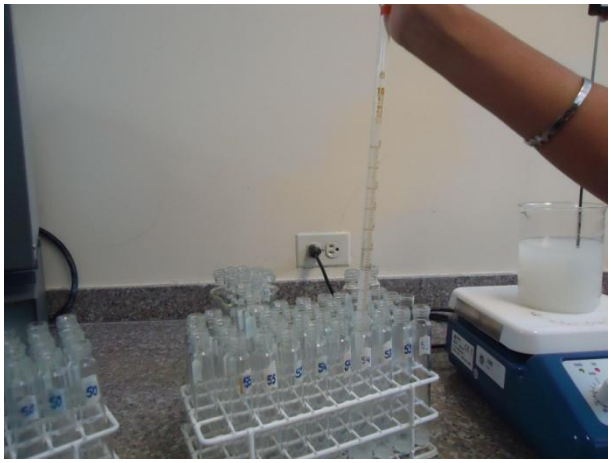
10. Molido de los granos para la obtención de harina de arroz integral germinado.

APÉNDICE B

TEMPERATURA INICIAL DE GELATINIZACIÓN

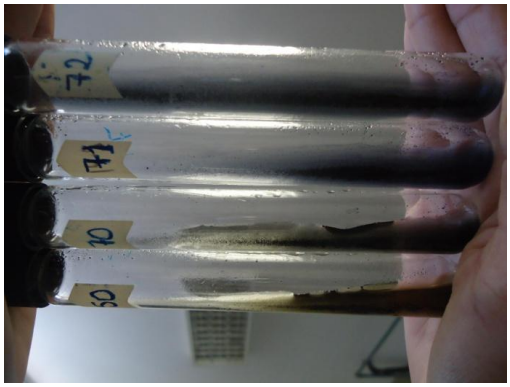
1. Sistema.

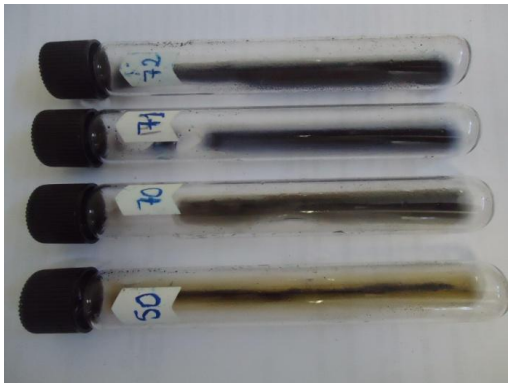
2. Tubos de ensayo con alícuota de 2 ml de solución de almidón al 0.5%.



3. Reacción de la solución de almidón al 0.5% con 1 gota de solución saturada de yodo.

4. Temperatura inicial de gelatinización– Viraje de color de amarillo verdoso a azul.





APÉNDICE C

NÚMERO DE CAÍDA

1. Baño maría de la muestra a 90 °C en el equipo Falling Number.

2. Lectura del número de caída.

APÉNDICE D

VISCOSIDAD

1. Solución de almidón al 5% calentada a temperatura de ebullición.

2. Lectura de la viscosidad en cP a 25 °C con el Spindle S63.

APÉNDICE E

CONSISTENCIA

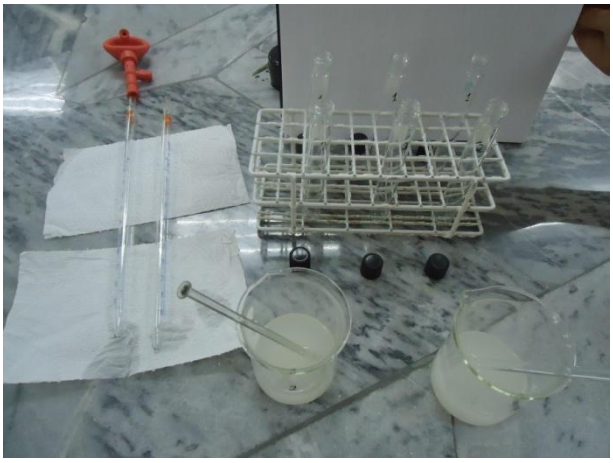
1. Solución de almidón al 5% calentada a temperatura de ebullición.

2. Lectura de la consistencia en cm/10seg a 20 °C.

APÉNDICE F

CLARIDAD DE LOS GELES

1. Sistema.



2. Alícuota de la solución por triplicado.

3. Baño maría de la solución de almidón al 1% a temperatura de ebullición.

4. Agitación cada 5 minutos durante 30 minutos

5. Lectura de la solución en celdas de espectrofotómetro

APÉNDICE G

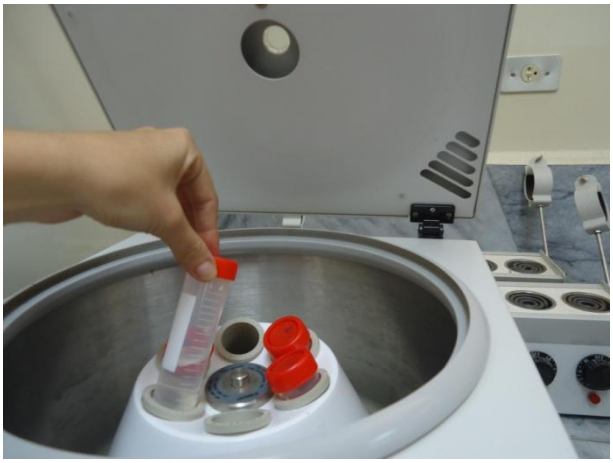
ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA, INDICE DE SOLUBILIDAD Y PODER DE HINCHAMIENTO

1. Baño maría a 60 °C de la solución de almidón al 1%.

2. Agitación cada 5 minutos durante 30 minutos.

3. Alícuota de 20 ml de la solución de almidón al 1% en tubos de centrífuga.

4. Centrifugación de las muestras a 500 rpm durante 15 minutos.



5. Separación del gel y el sobrenadante.

6. Alícuota de 10 ml del sobrenadante en platos de aluminio.

7. Secado de la alícuota del sobrenadante en estufa a 70 °C por una noche.

APÉNDICE H

MUESTRA PARA DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD Y CONSISTENCIA DE HARINA DE ARROZ INTGRAL GERMINADO DE 48 Y 72 h

48 h de germinación (día 3)

72 h de germinación (día 4)

BIBLIOGRAFÍA

1. DELGADO FREDDY, Arroz del Ecuador. [En línea]. Consultado: Junio 2012. Disponible en: http://www.ecuaquimica.com/info_tecnica_arroz.pdf

2. INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias), Variedades liberadas por el INIAP. [En línea]. Consultado: Junio 2012. Disponible en: http://www.iniap.gob.ec/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=346&Itemid=249

3. R.C. CHAUDHARY; J.S. NANDA; D.V. TRAN, Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz, Roma, Italia, 2003, Págs. 19-33. [En línea]. Consultado: Junio 2012. Disponible en: http://www.fao.org/DOCREP/006/Y2778S/y2778s00.htm#Contents

4. SAMUEL A.; MORA V., Comparación de dos tecnologías de aplicación de nitrógeno (urea) en diferentes niveles en el cultivo de arroz. Aplicación profunda de briquetas de urea y la aplicación tradicional al voleo. Ecuador 2010. Tesis. Págs. 16–20. [En línea]. Consultado: Junio 2012. Disponible

en: http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/11362/3/CAPITULO%201.pdf

5. CAMELIA MAIER, El arroz. [En línea]. Consultado: Junio 2012. Disponible en: http://www.botanical-online.com/arroz.htm

6. BOLET A. MIRIAM; SOCARRÁS S. MARÍA, Alimentación adecuada para mejorar la salud y evitar enfermedades crónicas, Revista Cubana Medicina General Integral, v. 26, n. 2, Págs. 324-325, Ciudad de La Habana, abr.-jun. 2010. ISSN 1561-3038. [En línea]. Consultado: Junio 2012. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21252010000200012&script=sci_arttext

7. EL MUNDO DEL ARROZ, El arroz integral. [En línea]. Consultado: Junio 2012. Disponible en: http://www.arrozsos.com/articulos/ver/el_arroz_integral

8. FRANQUET B. JOSEP; BORRÁS P. CINTA, Economía del Arroz: Variedades y Mejora, Tortosa, Baix Ebre, 2004, Págs. 109-110. ISBN-10:

84-689-7762-4. [En línea]. Consultado: Junio 2012. Disponible en: http://www.eumed.net/libros/2006a/fbbp/index.htm

9. BIENVENIDO O. JULIANO, El Arroz en la Nutrición Humana, Roma, Italia, 1994, Págs. 67-69. ISBN 92-5-303149-2. [En línea]. Consultado: Junio 2012. Disponible en: http://books.google.com.ec

10. GIL H. ANGEL; RUIZ L.MARIA, Tratado de Nutrición, 2° Edición, Tomo 2, Editorial Médica Panamericana S.A., Madrid, España, 2010, Págs. 105-107. ISBN 978-84-9835-347-1. [En línea]. Consultado: Junio 2012. Disponible en: http://books.google.com.ec

11. DORIA JESSICA, Cultivos Tropicales, La Habana, 2010, v. 31, n. 1, Págs. 75-78. ISSN 0258-5936. [En línea]. Consultado: Junio 2012. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362010000100011&script=sci_arttext

12. ANUCHITA MOONGNGARM; NATTAWAT SAETUNG, Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice, Thailand, 2010,Food Chemistry, v. 122, n. 3, Págs. 782–

88. [En línea]. Consultado: Agosto 2012. Disponible en: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814610003274

13. HYUN-JUNG CHUNG; AHRA CHO; SEUNG-TAIK LIM, Effect of heat-moisture treatment for utilization of germinated brown rice in wheat noodle, Republic of Korea, 2012, LWT - Food Science and Technology, v. 47, n. 2, Págs. 342-347. [En línea]. Consultado: Agosto 2012. Disponible en: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643812000485

14. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, Germinación de semillas, Parte III, Tema 17. [En línea]. Consultado: Junio 2012. Disponible en: http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_17.htm#Respiración

15. SUBAJINY VELUPPILLAI; KETHEESWARY NITHYANANTHARAJAH; SEEVARATNAM VASANTHARUBA; SANDRASEGARAMPILLAI BALAKUMAR; VASANTHY ARASARATNAM, Biochemical Changes Associated with Germinating Rice Grains and Germination Improvement, China, 2009, Rice Science, v. 16, n. 3, Págs. 240-242. [En línea]. Consultado: Julio 2012. Disponible en: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1672630808600852

16. JAVIER VIOQUE; FRANCISCO MILLÁN, Los péptidos bioactivos en alimentación: nuevos agentes promotores de salud, Sevilla, 2006, Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y la Alimentación, v. 26, Págs. 103-107, ISSN 1577-5917. [En línea]. Consultado: Agosto 2012. Disponible en: http://digital.csic.es/handle/10261/5751

17. JIRAPORN BANCHUEN; PAIBOON THAMMARUTWASIK; BUNCHA OORAIKUL; PHAISAN WUTTIJUMNONG; PIYARAT SIRIVONGPAISAL, Increasing the bio-active compounds contents by optimizing the germination conditions of Southern Thai Brown Rice, Canada, 2010, Songklanakarin J. Sci. Technol., v. 32, n.3, Págs. 219-230. [En línea]. Consultado: Agosto 2012. Disponible en: http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/journal/32-3/0125-3395-32-3-219-230.pdf

18. Noriko Komatsuzaki; Kikuichi Tsukahara; Hidechika Toyoshima; Tadanao Suzuki; Naoto Shimizu; Toshinori KIMURA, Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice, Japan, 2007, Journal of Food Engineering, v.78, n. 2, Págs. 556-560. [En línea]. Consultado: Agosto 2012. Disponible en: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877405007302

19. SIE-CHEONG KIING; PANG-HUNG YIU; AMARTALINGAM RAJAN; SIE-CHUONG WONG, Effect of Germination on γ-Oryzanol Content of Selected Sarawak Rice Cultivars, Maylasia, 2009, American Journal of Applied Sciences, v. 6, n.9, Págs. 1658-1661, ISSN 1546-9239. [En línea]. Consultado: Agosto 2012. Disponible en: http://www.google.com.ec/search?hl=es%09Effect+of+Germination+on+%CE%B3Oryzanol+Content+of+Selected+Sarawak+Rice+Cultivars

20. PATRICIO CÁCERES, Tesis Doctoral, Estudio del efecto de la germinación en el contenido de GABA y Oryzanol en variedades de arroz ecuatoriano, Madrid, 2012, Universidad Autónoma de Madrid.

21. JENNY RUALES; CECILIA CARPIO; STALIN SANTACRUZ; JUAN BRAVO, Manual de métodos de caracterización de carbohidratos, Quito, 2000, Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología, Programa Iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo (CYTED), Págs. 32-57.

22. PERTEN INSTRUMENTS, El método Falling Number. [En línea]. Consultado: Octubre 2012. Disponible en:

http://www.perten.com/Global/Brochures/FN/FN%20Application%20Method_spa_20110901.pdf

23. ISI 2002. Determination of viscosity of starch by Brookfield. ISI 17-1e. In: Laboratory methods. Science Park, Aarhus, Dinamarca, International Starch Institute (ISI). [En línea]. Consultado: Septiembre 2012. Disponible en: http://www.starch.dk/isi/methods/17brookfield.htm

24. NMX-F-322-S-1978. Determinación de la consistencia de la salsa de tomate, Normas Mexicanas, Dirección General De Normas, México, 1978. [En línea]. Consultado: Septiembre 2012. Disponible en: http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-322-S-1978.PDF

25. ALBERO GUÍZAR MIRANDA; JOSÉ LUÍS MONTAÑÉZ SOTO; IGNACIO GARCÍA RUIZ, Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote del cerro (Dioscorea spp), México, 2008, *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha,* v. 9, n. 1, Págs. 81-88, ISSN 1665-0204. [En línea]. Consultado: Septiembre 2012. Disponible en: http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=81311226011

26. ANDERSON R.; CONWAY H.F.; PHEISER V.F.; GRIFFIN E.L, 1969, Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking, Cereal Science Today, v. 14, Págs. 4-12.

27. SERGIO HENAO OSORIO; JOHANNA ARISTIZÁBAL GALVIS, Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación, Colombia, 2009, Revista Ingeniería e Investigación, v. 29, n. 1, Págs.39-46. [En línea]. Consultado: Octubre 2012. Disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v29n1/v29n1a05.pdf

28. HYUN-JUNG CHUNG; AHRA CHO; SEUNG-TAIK LIM, Effect of heat-moisture treatment for utilization of germinated brown rice in wheat noodle, Republic of Korea, 2012, LWT - Food Science and Technology, v. 47, n. 2, Págs. 342-347. [En línea]. Consultado: Octubre 2012. Disponible en: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643812000485

29. CRISTINA M. ROSELL; CARLA MOITA BRITES; ELEVINA PÉREZ; MARCIA GULARTE, De tales harinas, tales panes: Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica, 2007, Págs. 123-159. ISBN 9789871311071.

30. ANDREA PANTANELLI, Las pastas secas, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Dirección de Industria Alimentaria - S.A.G.P. y A. [En línea]. Consultado: Octubre 2012. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/farinaceos/Productos/Pastas/Secas/Secas_2001/Pastas_secas.htm

31. R. MIRANDA – A.C.A.; N. SALOMÓN – U.N.S., Trigos argentinos de calidad. [En línea]. Consultado: Octubre 2012. Disponible en: http://www.mejoravegetal.criba.edu.ar/Calidad/Instruc/index.htm

32. ROBERTO J. PEÑA, Influencia de la textura del endospermo y la composición de las proteínas del gluten en la calidad panadera del trigo, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). En línea]. Consultado: Octubre 2012. Disponible en: http://www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR29065.pdf

33. JULIANO B., Rice starch: Production, properties, and uses. IV Physicochemical properties of rice starch in Starch: Chemistry and Technology, 2nd ed. (Eds. R. L. Whistler, J. N. BeMiller, E. F. Paschall) Academic Press, London, 1984

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr. Kleber Barcia V.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

MSc. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTORA

Ing. Grace Vásquez V.
VOCAL