

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES CONDICIONES DE
ALMACENAMIENTO SOBRE LA ESTABILIDAD Y TIEMPO DE
VIDA EN ANAQUEL DE PANELA GRANULADA PRODUCIDA POR
LAS UNIDADES ARTESANALES EN INGAPI Y PACTO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL**

ANA LUCÍA DOMÍNGUEZ CARVAJAL
(anysdc@hotmail.com)

DIRECTOR: ING. OSWALDO ACUÑA
(oswaldoa@server.epn.edu.ec)

Quito, Marzo 2009

© Escuela Politécnica Nacional (2009)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Ana Lucía Domínguez Carvajal, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente cedo mis derechos de propiedad intelectual, correspondientes a éste trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente y al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.

Ana Lucía Domínguez Carvajal

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ana Lucía Domínguez Carvajal, bajo mi supervisión.

Ing. Oswaldo Acuña
DIRECTOR DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto CEREPS PIC05-2006-2-008: “Aseguramiento de la calidad, sanidad e inocuidad de la panela granulada elaborada por organizaciones de pequeños productores para el ingreso al mercado norteamericano”, que se ejecuta en el Departamento de Nutrición y Calidad del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina.

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque está conmigo siempre y es mi luz. Por su amor, su fidelidad y su guía que me ayudaron a culminar esta meta.

A mi madre por su cariño, comprensión y apoyo en todo momento.

A mi abuelita por su apoyo incondicional.

A mis hermanos Gaby, Mari y Oscar por su comprensión.

Al Ingeniero Oswaldo Acuña por su ayuda y dirección durante la realización de mi proyecto de titulación.

A la Doctora Florinella Muñoz por su orientación y ayuda en el desarrollo de este proyecto.

A la Ingeniera Nelly Lara como encargada del proyecto por sus consejos, su apoyo oportuno y su guía para realizar la presente investigación.

Al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina y su Director, Ingeniero Luis Rodríguez, por permitirme realizar mi proyecto de titulación en sus instalaciones.

Al personal de los Departamentos de Nutrición y Calidad, de Suelos y de Protección Vegetal, muchas gracias por el apoyo brindado. Al Doctor Armando Rubio por su ayuda durante la investigación.

A la Red de Comercialización Solidaria CAMARI, a la Fundación MCCH, a la planta panelera Ingapi de la Asociación de Productores Cumbres de Ingapi y a la unidad productiva artesanal de la Asociación de Productores de El Paraíso de Pacto por ser parte activa del presente proyecto.

A Delia, gracias por todo tu apoyo y amistad, a Bladimir Cruz por su ayuda oportuna, a Pao, a Vero, y a todos los que de alguna u otra manera me ayudaron en la realización de este proyecto.

A mi madre, mi abuelita y mis hermanos
Por su apoyo incondicional

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | PÁGINA |
|--|---------------|
| RESUMEN | xiii |
| INTRODUCCIÓN | xiv |
| | |
| 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 1 |
| 1.1 Descripción de la caña de azúcar | 1 |
| 1.1.1 Origen y variedades | 1 |
| 1.1.2 Taxonomía y morfología | 2 |
| 1.1.3 Requerimientos del cultivo | 3 |
| 1.1.4 Enfermedades y plagas | 3 |
| 1.1.4.1 Enfermedades | 3 |
| 1.1.4.2 Plagas | 8 |
| 1.1.5 Composición nutricional de la caña de azúcar | 10 |
| 1.1.6 Producción nacional | 11 |
| 1.1.7 Usos de la caña de azúcar | 11 |
| 1.2 Elaboración de panela granulada | 12 |
| 1.2.1 Composición nutricional de la panela | 13 |
| 1.2.2 Proceso de elaboración de panela granulada | 14 |
| 1.2.2.1 Corte y Almacenamiento | 14 |
| 1.2.2.2 Extracción | 15 |
| 1.2.2.3 Limpieza | 16 |
| 1.2.2.4 Evaporación y Concentración | 17 |
| 1.2.2.5 Punteo | 18 |
| 1.2.2.6 Batido | 18 |
| 1.2.2.7 Envasado | 18 |
| 1.2.2.8 Almacenamiento y Distribución | 19 |
| 1.3 Factores que afectan el deterioro y tiempo de vida útil en productos de baja humedad | 19 |
| 1.3.1 Causas de deterioro de los alimentos | 19 |
| 1.3.2 Factores extrínsecos que intervienen en el deterioro de los alimentos | 20 |
| 1.3.2.1 Aire y Oxígeno | 21 |
| 1.3.2.2 Luz | 21 |
| 1.3.2.3 Temperatura | 21 |
| 1.3.2.4 Humedad relativa | 22 |
| 1.3.3 Parámetros que afectan la estabilidad del alimento | 22 |
| 1.3.3.1 Humedad y actividad de agua | 22 |
| 1.3.3.2 Composición del alimento y la presencia microbiana | 27 |
| 1.3.3.3 pH | 30 |
| 1.3.3.4 Color | 32 |
| 1.3.3.5 Granulometría | 35 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1.3.3.6 | Compactación | 36 |
| 1.3.4 | Cinética de deterioro de la calidad y vida útil | 37 |
| 1.3.4.1 | Velocidad de reacción | 38 |
| 1.3.5 | Pruebas de estabilidad | 39 |
| 1.3.5.1 | Condiciones de almacenamiento | 40 |
| 2 | MATERIALES Y MÉTODOS | 42 |
| 2.1 | Caracterización físico-química de las muestras de panela granulada producida por las unidades artesanales en Ingapi y Pacto | 42 |
| 2.1.1 | Muestras de panela | 42 |
| 2.1.2 | Análisis físicos | 43 |
| 2.1.2.1 | Perfil de granulometría | 43 |
| 2.1.2.2 | Grado de compactación por humedecimiento | 43 |
| 2.1.3 | Análisis químicos | 45 |
| 2.2 | Efecto del almacenamiento a condiciones normal, acelerada y extrema sobre la calidad de la panela granulada | 45 |
| 2.2.1 | Hipótesis | 45 |
| 2.2.2 | Diseño experimental | 45 |
| 2.2.2.1 | Factores en estudio | 45 |
| 2.2.2.2 | Tratamientos | 46 |
| 2.2.2.3 | Análisis estadístico | 46 |
| 2.2.3 | Preparación de las muestras de panela granulada | 47 |
| 2.2.4 | VARIABLES RESPUESTA | 48 |
| 2.2.4.1 | Determinación del contenido de humedad | 48 |
| 2.2.4.2 | Determinación de la actividad de agua | 48 |
| 2.2.4.3 | Determinación del recuento de levaduras y mohos | 49 |
| 2.2.4.4 | Determinación del pH | 50 |
| 2.2.4.5 | Determinación del color | 50 |
| 2.3 | Cinética de deterioro y determinación de la vida útil de la panela granulada | 51 |
| 3 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 52 |
| 3.1 | Caracterización físico-química de las muestras de panela granulada de las unidades productivas de Ingapi y Pacto | 52 |
| 3.1.1 | Análisis físicos | 52 |
| 3.1.1.1 | Perfil de granulometría | 52 |
| 3.1.1.2 | Características de compactación por humedecimiento | 58 |
| 3.1.2 | Análisis químicos | 60 |
| 3.2 | Efecto del almacenamiento a condiciones normal, acelerada y extrema sobre la calidad de la panela granulada | 63 |
| 3.2.1 | Contenido de humedad | 63 |
| 3.2.2 | Actividad de agua | 66 |
| 3.2.3 | Recuento de mohos y levaduras | 68 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.2.4 | pH | 71 |
| 3.2.5 | Color | 73 |
| 3.3 | Relación entre el contenido de humedad, la actividad de agua y el color | 76 |
| 3.3.1 | Relación entre el contenido de humedad y la actividad de agua | 76 |
| 3.3.2 | Relación entre el contenido de humedad y el color | 78 |
| 3.4 | Cinética de deterioro y determinación de la vida útil de la panela granulada | 80 |
| 3.4.1 | Energía de activación | 80 |
| 3.4.2 | Determinación de la vida útil de la panela granulada | 83 |
| 4 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 85 |
| 4.1 | Conclusiones | 85 |
| 4.2 | Recomendaciones | 87 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 88 |
| | ANEXOS | 95 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | PÁGINA |
|------------------|--|--------|
| Tabla 1. | Composición nutricional de la caña de azúcar | 10 |
| Tabla 2. | Superficie de caña sembrada y cosechada, producción de caña en el Ecuador (2000-2006) | 11 |
| Tabla 3. | Composición nutricional de la panela | 13 |
| Tabla 4. | Estado de madurez de la caña de acuerdo con el índice de madurez | 15 |
| Tabla 5. | Límites de pH para el crecimiento de algunos microorganismos | 31 |
| Tabla 6. | Descripción de los tratamientos según la combinación entre factores A y B | 47 |
| Tabla 7. | Porcentaje retenido de panela granulada en función de la apertura de malla a 0 y 90 días de almacenamiento a condiciones normal, acelerada y extrema | 53 |
| Tabla 8. | Porcentaje retenido de las muestras de azúcar y panela granulada de Ingapi y Pacto al tiempo cero | 56 |
| Tabla 9. | Porcentaje retenido de panela granulada y azúcar según el tipo de muestra al tiempo cero | 57 |
| Tabla 10. | Fuerza y energía requeridas para el corte de pastillas elaboradas con panela de 0 y 90 días de almacenamiento a diferentes condiciones | 58 |
| Tabla 11. | Fuerza y energía de corte de pastillas elaboradas con panela de 0 y 90 días de almacenamiento | 60 |
| Tabla 12. | Análisis proximal, minerales y azúcares de panela granulada producida por las unidades artesanales Ingapi y Pacto | 61 |
| Tabla 13. | Ecuaciones de las curvas de variación del porcentaje de humedad de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento | 66 |
| Tabla 14. | Ecuaciones de las curvas de actividad de agua de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento | 68 |
| Tabla 15. | Ecuaciones de las curvas de crecimiento de mohos y levaduras (UFC/g) de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento | 71 |
| Tabla 16. | Ecuaciones de las curvas de variación del pH de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento | 73 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabla 17. | Ecuaciones de las curvas de variación de la absorbancia de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento | 76 |
| Tabla 18. | Energía de activación de las constantes de variación: contenido de humedad, actividad de agua y color | 83 |
| Tabla 19. | Tiempo de vida útil de la panela granulada a condición normal, acelerada y extrema | 84 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | PÁGINA |
|-------------------|---|--------|
| Figura 1. | Caña de azúcar | 2 |
| Figura 2. | Lesiones causadas por roya | 4 |
| Figura 3. | Látigos en la parte terminal de la planta afectada por carbón | 5 |
| Figura 4. | Decoloraciones de la lámina foliar causadas por mosaico | 5 |
| Figura 5. | Síntoma interno del raquitismo de la soca | 6 |
| Figura 6. | Síntoma del virus de la hoja amarilla causada por Polerovirus | 6 |
| Figura 7. | Síntoma de la escaldadura de la hoja causada por la <i>Xanthomonas albilineans</i> (Ashby) Dowson | 7 |
| Figura 8. | Síntoma de la enfermedad de Fiji | 8 |
| Figura 9. | Bandas necróticas causadas por salivazo en la caña | 8 |
| Figura 10. | Daño causado por la escama blanca en las hojas de la caña | 9 |
| Figura 11. | Daño causado por: a) <i>Diatraea indigenilla</i> ; b) <i>Diatraea</i> spp | 10 |
| Figura 12. | Formas de presentación de la panela | 12 |
| Figura 13. | Diagrama de flujo del procesamiento de panela granulada | 14 |
| Figura 14. | Isoterma de sorción de humedad típica de un alimento | 24 |
| Figura 15. | Mapa de estabilidad de los alimentos | 26 |
| Figura 16. | Curva acumulativa de rechazos | 36 |
| Figura 17. | Tamices y agitador utilizados en el análisis de granulometría de panela granulada | 43 |
| Figura 18. | Prensa hidráulica CARVER utilizada para la elaboración de las pastillas de panela granulada | 44 |
| Figura 19. | Medición de la fuerza de corte de las pastillas de panela granulada en el texturómetro TA-XT2i | 44 |
| Figura 20. | Panela granulada empacada en bolsas usadas por Camari | 47 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figura 21. | Dispositivos del medidor de actividad de agua AQUALAB | 49 |
| Figura 22. | Medición de la actividad de agua en el medidor digital AQUALAB | 49 |
| Figura 23. | Potenciómetro OAKTON | 50 |
| Figura 24. | Espectrofotómetro Milton Roy Spectronic 20D | 51 |
| Figura 25. | Distribución acumulada del tamaño de partícula de panela granulada Ingapi a condiciones normal y acelerada en los tiempos 0 y 90 días de almacenamiento | 54 |
| Figura 26. | Distribución acumulada del tamaño de partícula de panela granulada Pacto a condiciones normal y acelerada en los tiempos 0 y 90 días de almacenamiento | 55 |
| Figura 27. | Distribución de las partículas de azúcar y panela granulada de Ingapi y Pacto a 0 días de almacenamiento | 56 |
| Figura 28. | Variación del porcentaje de humedad de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento | 64 |
| Figura 29. | Variación de actividad de agua en panela granulada en función del tiempo de almacenamiento | 67 |
| Figura 30. | Variación de las unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g) en función del tiempo de almacenamiento | 69 |
| Figura 31. | Variación del pH de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento | 72 |
| Figura 32. | Variación de la absorbancia ($\lambda=420\text{nm}$) de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento | 74 |
| Figura 33. | Contenido de humedad (%) de la panela granulada de Ingapi en función de su actividad de agua | 77 |
| Figura 34. | Contenido de humedad (%) de la panela granulada de Pacto en función de su actividad de agua | 78 |
| Figura 35. | Absorbancia a 420 nm de la panela granulada de Ingapi en función de su contenido de humedad (%) | 79 |
| Figura 36. | Absorbancia a 420 nm de la panela granulada de Pacto en función de su contenido de humedad (%) | 79 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figura 37. | Constante de variación (k) del contenido de humedad vs. Temperatura (K) | 81 |
| Figura 38. | Constante de variación (k) de la actividad de agua vs. temperatura (K) | 82 |
| Figura 39. | Constante de variación (k) del color vs. temperatura (K) | 82 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | PÁGINA |
|--|---------------|
| ANEXO I | |
| Tamaños estándares de apertura en tamices | 96 |
| ANEXO II | |
| Condiciones de operación y calibración del texturómetro ta-xt2i | 97 |
| ANEXO III | |
| Macro del software texture expert para el análisis de compactación | 102 |
| ANEXO IV | |
| Métodos utilizados para el análisis proximal de la panela granulada | 103 |
| ANEXO V | |
| Análisis de varianza y prueba Tukey para granulometría | 115 |
| ANEXO VI | |
| Análisis de varianza para granulometría en muestras de azúcar y panela granulada | 118 |
| ANEXO VII | |
| Análisis de varianza para compactación | 119 |
| ANEXO VIII | |
| Porcentaje de humedad de la panela granulada | 120 |
| ANEXO IX | |
| Análisis de varianza de la variable contenido de humedad | 121 |
| ANEXO X | |
| Actividad de agua de la panela granulada | 122 |

| | |
|---|-----|
| ANEXO XI | |
| Análisis de varianza de la variable a_w | 123 |
| ANEXO XII | |
| Recuento de mohos y levaduras de la panela granulada | 124 |
| ANEXO XIII | |
| Análisis de varianza de la variable recuento de mohos y levaduras | 126 |
| ANEXO XIV | |
| pH de la panela granulada | 127 |
| ANEXO XV | |
| Análisis de varianza de la variable pH | 128 |
| ANEXO XVI | |
| Absorbancia a 420 nm de la panela granulada en solución a 4 °Brix | 129 |
| ANEXO XVII | |
| Evolución del color de la panela granula de Ingapi y Pacto en función del tiempo de almacenamiento a condiciones normales aceleradas y extremas | 131 |
| ANEXO XVIII | |
| Análisis de varianza de la variable color en panela granulada a condiciones normales, aceleradas y extremas | 134 |

ABREVIATURAS

| | |
|--------|--|
| AI | Panela granulada Ingapi a condición acelerada |
| AP | Panela granulada Pacto a condición acelerada |
| a_w | Actividad de agua |
| Camari | Sistema solidario de comercialización del FEPP |
| CM | Cuadrado medio |
| Ea | Energía de activación |
| EI | Panela granulada Ingapi a condición extrema |
| EP | Panela granulada Pacto a condición extrema |
| FEPP | Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio |
| FV | Fuente de variación |
| GL | Grados de libertad |
| H | Hidrógeno |
| Ho | Hipótesis nula |
| HR | Humedad Relativa |
| INIAP | Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias |
| I_0 | Panela granulada Ingapi al tiempo cero |
| msnm | Metros sobre el nivel del mar |
| MR | Reacción de Maillard |
| NI | Panela granulada Ingapi a condición normal |
| NP | Panela granulada Pacto a condición normal |
| P_0 | Panela granulada Pacto al tiempo cero |
| POJ | Proesfstation Oost Java |
| r | Coefficiente de correlación |
| R^2 | Coefficiente de regresión |
| SC | Suma de cuadrados |

UNIDADES

| | |
|-------|---------------------------------|
| °Brix | Grados Brix |
| °C | Grados centígrados |
| cm | Centímetros |
| g | Gramos |
| gf | Gramos fuerza |
| gfs | Gramos fuerza por segundo |
| ha | Hectáreas |
| kcal | Kilocalorías |
| K | Grados Kelvin |
| kg | Kilogramos |
| l | Litro |
| lb | Libras |
| m | Metros |
| mg | Miligramos |
| ml | Mililitros |
| mm | Milímetros |
| mol | Mol |
| nm | Nanómetros |
| ppm | Partes por millón |
| TM | Toneladas métricas |
| UFC | Unidades formadoras de colonias |

RESUMEN

En el presente trabajo, muestras de panela granulada elaborada en la planta panelera de la Asociación de Productores Cumbres de Ingapi y en la unidad productiva artesanal de la Asociación de Productores de El Paraíso de Pacto, fueron caracterizadas y almacenadas en por un período de 90 días, a condiciones normal (26°C y 50%HR), acelerada (32°C y 75%HR) y extrema (38°C y 100%HR).

Los parámetros evaluados fueron actividad de agua, contenido de humedad, recuento de mohos y levaduras, pH, color, granulometría y grado de compactación por humedecimiento. Estos dos últimos parámetros, fueron evaluados, al inicio y al final del almacenamiento. Se utilizó la regresión simple para establecer la variación de los parámetros evaluados en función del tiempo de almacenamiento.

El modelo de Arrhenius fue utilizado para determinar el efecto de la temperatura sobre la estabilidad de la panela granulada. La mayoría de variables analizadas en la panela granulada, exhibieron variaciones significativas ($p < 0,05$) por efecto, tanto de las condiciones de almacenamiento, como por procedencia de la muestra. La procedencia de las muestras influyó en la composición proximal y en el contenido de macro y micro elementos de la panela granula.

Se determinó que los parámetros críticos en la panela granulada son el contenido de humedad, actividad de agua y color; los cuales se asociaron a la reacción de pardeamiento no enzimático. Los tiempos de vida útil de la panela granulada en condiciones normales, aceleradas y extremas son de aproximadamente 11 meses, 5 meses y 13 días, respectivamente.

INTRODUCCIÓN

La panela es un producto natural obtenido a partir de la evaporación de los jugos de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Está compuesta por carbohidratos, proteínas, vitaminas, minerales y agua (Álvarez, 2004; Terranova, 1995). Es una fuente importante de energía y contribuye a la buena alimentación de la población, especialmente infantil, debido a que contiene mayor valor nutritivo que el azúcar (Álvarez, 2004; Mosquera *et al.*, 2007).

En la década de los 90 aparece en el mercado nacional, la panela granulada como una nueva presentación de edulcorante. La panela granulada tiene un poder edulcorante del 89% en relación con el azúcar refinado. El proceso de elaboración es similar al de la panela en bloque, con una variación en la etapa final, que incluye un batido enérgico en el punto culminante de la saturación de la sacarosa para que se produzca su cristalización (Sandoval, 1996).

Los mayores productores de panela, a nivel mundial, son la India, en primer lugar, y en segundo lugar, Colombia. Existen otros países como Myanmar, Pakistán, China, Guatemala, México, Honduras, Brasil, Perú y Ecuador, cuya producción es menor y esta destinada a satisfacer la demanda local (Álvarez, 2004). En el año 2002, el Ecuador ocupó el puesto vigésimo sexto en la lista de productores mundiales de panela. En los primeros ocho meses del año 2004, Ecuador logró exportar a los Estados Unidos 62,45 toneladas de panela por el valor de USD 61 310, equivalentes al 22,01% del total de las exportaciones de este producto (Álvarez, 2004).

La panela es un producto de consumo popular (Terranova, 1995), utilizado como edulcorante en la fabricación de bebidas, jugos, postres, coladas, pastelería y otros (Sandoval, 1996). En la actualidad su uso se ha extendido, tanto en las industrias como en los hogares y la tendencia de los consumidores a exigir productos de calidad, sigue en aumento. Por lo tanto, se debe evaluar el tiempo de vida útil de los productos, de tal manera que se asegure la conservación de sus características hasta llegar al consumidor final.

El período de tiempo después de la producción de un alimento, durante el cual se mantiene el nivel requerido de sus cualidades organolépticas y de seguridad bajo determinadas condiciones de conservación, se denomina vida útil. La calidad de los alimentos es el conjunto de propiedades que, influyen en su aceptación por el consumidor y que, diferencian a unos productos de otros (Casp y Abril, 2003).

Un paquete de azúcar blanca refinada puede permanecer en la cocina por años, sin presentar signos de deterioro por contaminación microbiana (Danisco Sugar, 2007). Este efecto es debido al nivel tan bajo de actividad de agua, alcanzado en azúcar granulada de alta pureza. En el caso de la panela, el contenido de azúcares y el nivel de agua, pueden variar de acuerdo con el genotipo, la época de cosecha y el tipo de manejo de extracción y post-extracción del jugo de la caña, de la concentración de la miel y del batido de la panela (Uppal *et al.*, 2005).

El nivel de interacción o actividad de agua de un alimento, impide o facilita el desarrollo microbiano, la oxidación de componentes y las reacciones enzimáticas y no enzimáticas. Si se disminuye o se imposibilita la disponibilidad de agua a menos de 0,85, se reduce el crecimiento microbiano (Mandal *et al.*, 2007; Vaclavik, 1998). Sin embargo, al ser la panela granulada un producto higroscópico, se daría lugar al desarrollo microbiano (Uppal *et al.*, 2002).

La aplicación de pruebas de vida útil, es de gran interés para la industria alimenticia para determinar el período de estabilidad básica y el tiempo de expiración de un producto en el mercado (Lara y Mejía, 2007; Mandal *et al.*, 2007). En la panela granulada, es importante conocer los niveles de humedad y actividad de agua resultantes del proceso tradicional, para asegurar la estabilidad del producto durante el tiempo de vida en anaquel.

En el presente estudio se evalúa la cinética de deterioro y el efecto del almacenamiento sobre la panela granulada. La investigación contiene información relevante para CAMARI, MCCH y el resto de productores y comercializadores de panela granulada, interesados en preservar y asegurar la calidad de su producto hasta niveles de consumidor final. La panela granulada utilizada para la

investigación, fue producida en las zonas de Pacto e Ingapi, ubicadas al noroccidente de la provincia de Pichincha.

El trabajo se viabilizó en el marco del Contrato de Formación Profesional firmado entre la Estudiante de Preparación Técnica de Tesis y la Dirección de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP para la ejecución de la actividad “Evaluación del efecto de tres condiciones de almacenamiento sobre la estabilidad y tiempo de vida en anaquel de panela granulada producida por las unidades artesanales en Ingapi y Pacto”. Actividad que se ejecutó en el Departamento de Nutrición y Calidad con la supervisión de la Ingeniera Nelly Lara Valdez, Directora del Proyecto “Aseguramiento de la calidad, sanidad e inocuidad de la panela granulada elaborada por organizaciones de pequeños productores para el ingreso al mercado norteamericano”.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR

1.1.1 ORIGEN Y VARIEDADES

La caña de azúcar se cultiva en climas tropicales y subtropicales. Es un cultivo que dura varios años (Infoagro.com, 2002).

La caña que se cultiva actualmente es un híbrido de dos o más de las especies del género *Saccharum*. Al extenderse a otras áreas se desarrolló *S. robustum* en Indonesia y como resultado del cruzamiento con *Miscanthus*, evolucionó *S. officinarum* en Nueva Guinea (García y Álvarez, 1991).

La variedad hindú, que fue la base de la expansión de la industria de la caña de azúcar en el Occidente, fue descrita por Linneo en 1753 como *Saccharum officinarum*. Se llevaron algunas variedades a las Indias Occidentales en 1793, las cuales se diseminaron rápidamente, de tal manera que las variedades nobles y Otaheite, revolucionaron el cultivo de la caña de azúcar. (García y Álvarez, 1991).

Como consecuencia del brote de la enfermedad de Serch, se estimuló el mejoramiento para obtener variedades resistentes de caña. En Java, se incorporó el híbrido Kassoer al programa de hibridación y, conjuntamente, con otros, fueron ennoblecidos repetidas veces para producir la serie de híbridos POJ, que en la actualidad constituyen una variedad muy productiva (García y Álvarez, 1991). La caña de azúcar llegó a España en el siglo IX y en el siglo XV llegó a América gracias a los españoles (Infoagro.com, 2002).

1.1.2 TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA

La planta de la caña de azúcar se muestra en la Figura 1. Pertenece a la familia de las gramíneas y al género *Saccharum*. Es un cultivo anual y debe ser renovado cada cinco años. Se propaga por rizomas y por trozos de tallo (Infoagro.com, 2002; Infojardin, 2007).



Figura 1. Caña de azúcar
(Perafán, 2005)

Un rizoma subterráneo constituye el sistema radicular. El tallo es cilíndrico y macizo, de 2 a 5 m de altura con 5 ó 6 cm de diámetro y nudos pronunciados, sobre los cuales se insertan las hojas de manera alternada. La caña de azúcar se caracteriza por almacenar energía en sus tallos en forma de sacarosa disuelta en la savia (Infojardin, 2007; Mosquera *et al.*, 2007).

Las hojas de la caña y las yemas nacen en los entrenudos del tronco (Perafán, 2005) y por lo general el tallo aparece deshojado en la parte inferior. La caña de azúcar presenta una panícula de espiguillas reducidas, largamente vellosas (Red Naturaleza, 2007).

1.1.3 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO

Los requerimientos del cultivo de caña de azúcar son los siguientes (Infoagro.com, 2002; Infojardin, 2007):

- **Suelo:** Se adapta a casi todos los tipos de suelos, preferiblemente a los ligeros.
- **Riego:** Requiere gran cantidad de agua para el desarrollo de yemas nuevas.
- **Luz y temperatura:** La caña de azúcar asimila muy bien la radiación solar pero no tolera temperaturas inferiores a 0°C. Para crecer, exige una temperatura mínima de 14 a 16°C, aunque la óptima se encuentra alrededor de los 30°C.
- **Abonado:** Requiere de elementos como el nitrógeno y el potasio. También requiere de elementos menores para su fertilización. Se suele adicionar azufre para controlar el sodio.
- **Recolección:** Se la realiza cada 12 meses a mano o a máquina. La cosecha manual se hace con machetes para cortar los tallos. Se le quitan las hojas con el gancho del machete y se corta por el extremo superior, cerca del último nudo maduro. En la cosecha mecánica, las máquinas cortan la planta y separan los tallos de las hojas con ventiladores.

1.1.4 ENFERMEDADES Y PLAGAS

1.1.4.1 Enfermedades

Entre las enfermedades que afectan los cultivos de caña de azúcar se encuentran las siguientes:

- **Roya:** Es una enfermedad causada por un hongo. Ataca el sistema foliar de la planta y afecta mayormente a las plantas de cuatro meses de edad

(CENICAÑA, 2008a). Los síntomas iniciales constituyen pequeñas manchas cloróticas y alargadas de color amarillento, que al crecer, toman un color marrón y se rodean de un anillo amarillo claro, que al romperse, liberan esporas de color anaranjado. Las lesiones forman pústulas en el envés, aunque pueden también aparecer en el haz (CENICAÑA, 2008a; El Palmar, 2008). Se pueden formar grandes áreas de color rojizo oscuro como se muestra en la Figura 2, provocando el secamiento de la hoja cuando el ataque es severo. Como medidas de control se siembran variedades resistentes (El Palmar, 2008), se aplican fertilizantes nitrogenados y riego, para estimular la producción de nuevo follaje (CENICAÑA, 2008a).



Figura 2. Lesiones causadas por roya
(CENICAÑA, 2008a)

- **El carbón:** Es una enfermedad causada por el hongo *Ustilago scitaminea* Sydow (CENICAÑA, 2008a; El Palmar, 2008). Inicia con la germinación de las esporas en condiciones de humedad apropiadas, produciéndose un micelio que invade el tejido y la región meristemática de la yema (CENICAÑA, 2008a). La yema germinada presenta la formación de una estructura parecida a un "látigo", la cual no se desarrolla y termina por secarse y morir. Los látigos pueden ser erectos o curvos como se observa en la Figura 3 y pueden medir hasta más de 1 m. Están formados por parénquima y tejido fibroso-vascular rodeado de gran cantidad de esporas (CENICAÑA, 2008a). Para controlar el carbón se debe sembrar variedades resistentes, usar semilleros con material sano y quemar las cepas enfermas (CENICAÑA, 2008a; El Palmar, 2008).



Figura 3. Látigos en la parte terminal de la planta afectada por carbón
(CENICAÑA, 2008a)

- **Mosaico:** Es causada por el virus del mosaico común de la caña de azúcar (SCMV). Se presentan decoloraciones de la lámina foliar, donde se observan zonas de color verde normal alternando con áreas verde pálido o amarillento (CENICAÑA, 2008a; El Palmar, 2008) como lo muestra la Figura 4. Las áreas amarillentas son más notorias en las hojas jóvenes y distintas en la base. Los sistemas más comunes de control son: la eliminación de plantas enfermas, el uso de semillas sanas, la siembra de variedades resistentes y algunas prácticas de cultivo (CENICAÑA, 2008a).



Figura 4. Decoloraciones de la lámina foliar causadas por mosaico
(CENICAÑA, 2008a)

- **Raquitismo de la soca:** Esta enfermedad ataca principalmente a las socas. Es causada por una bacteria que produce plantas raquíticas, el retraso en el crecimiento y la disminución en el número de tallos. En la parte interna aparecen coloraciones anaranjadas o rojizas en la base de los nudos, como se

muestra en la Figura 5; sin embargo, este síntoma no siempre ocurre en todas las variedades. Las variedades resistentes, el tratamiento térmico de semillas y la limpieza de las herramientas de corte se utilizan para el control (CENICAÑA, 2008a; El Palmar, 2008).



Figura 5. Síntoma interno del raquitismo de la soca
(CENICAÑA, 2008a)

- **Virus de la hoja amarilla:** Es causada por un virus del género *Polerovirus*. Los síntomas se caracterizan por el amarillamiento de la nervadura central de la hoja como se observa en la Figura 6, el cual se extiende desde la punta hacia la base. Para el control se utilizan variedades resistentes y material sano de siembra (CENICAÑA, 2008a).



Figura 6. Síntoma del virus de la hoja amarilla causada por *Polerovirus*
(CENICAÑA, 2008a)

- **Escaldadura de la hoja:** Es causada por la bacteria *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson. El síntoma más común es la decoloración vascular o el

aparecimiento de estrías blancas paralelas a la nervadura central de las hojas, como se observa en la Figura 7. Para el control se emplean variedades resistentes, una adecuada selección de material de siembra, la eliminación de material enfermo y la desinfección de las herramientas de corte (CENICAÑA, 2008a).



Figura 7. Síntoma de la escaldadura de la hoja causada por la *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson (CENICAÑA, 2008a)

- **Enfermedad de Fiji:** Es causada por un virus del género *Fijivirus* y se caracteriza por presentar agallas en el envés de la hoja o en la nervadura central. Las agallas varían de tamaño y pueden llegar a medir hasta 5 cm de largo por 2-3 mm de ancho. Tienen el mismo color del tejido que las rodea cuando son pequeñas y en hojas más viejas la coloración tiende a ser blanca (CENICAÑA, 2008a). La afección presenta otros síntomas tales como enanismo de la planta, alteración de la forma y cambios en el color y textura de la hoja. El control más eficiente, consiste en el uso de variedades resistentes o de semilla sana y la eliminación de plantas enfermas (CENICAÑA, 2008a). En la Figura 8 se puede observar las hojas de caña afectadas por la enfermedad de Fiji.



Figura 8. Síntoma de la enfermedad de Fiji
(CENICAÑA, 2008a)

1.1.4.2 Plagas

Las plagas que afectan los cultivos de caña de azúcar son las siguientes:

- **Miones o salivazos:** El daño que causan los miones o salivazos *Mahanarva andigena* y *Mahanarva bipars* se presenta como bandas necróticas longitudinales en las hojas como se observa en la Figura 9. Estos insectos se caracterizan porque sus ninfas, secretan y se recubren de un líquido baboso y espumoso. Para el control se hace uso de entomopatógenos al igual que algunos insecticidas de síntesis (CENICAÑA, 2008b).



Figura 9. Bandas necróticas causadas por salivazo en la caña
(CENICAÑA, 2008b)

- **Picudos de la semilla:** Los tallos de caña que se han fermentado, debido a cortes o heridas, son atacados por el picudo rayado (*Metamasius hemipterus*) y

el picudo negro (*Rhynchophorus palmarum*). El control se lleva a cabo mediante la captura de adultos en trampas de guadua cebadas con caña machacada (CENICAÑA, 2008b).

- **Polillas:** La polilla habana *Paradirphia sp.*, en estado de larva se alimenta de las hojas verdes de caña de azúcar (CENICAÑA, 2008b).
- **Áfidos:** Transmiten la enfermedad del mosaico. Como control se pueden utilizar insecticidas (CENICAÑA, 2008b).
- **Escama blanca:** Es causada por el insecto *Duplachinonaspis divergens*. En las hojas se presentan manchas cloróticas que forman un moteado, que al crecer provoca el secamiento de la hoja. Asociadas a las manchas, se encuentra una escama de color muy claro. En infestaciones bajas se localizan sobre el envés de las hojas, de lo contrario, se ubican tanto en el haz como en el envés. Para el control se hace uso de avispas que atacan a la escama blanca (CENICAÑA, 2008b). La Figura 10 muestra el daño causado por la escama blanca en las hojas de caña.



Figura 10. Daño causado por la escama blanca en las hojas de la caña (CENICAÑA, 2008b)

- **Barrenadores de los tallos:** *Diatraea saccharalis* y *D. indigenella* son insectos barrenadores. Cuando están en estado de larva hacen galerías en los tallos, primero en los nudos y luego en los entrenudos. Cuando atacan la caña en germinación producen el síntoma de corazones muertos. El control es biológico mediante la liberación de moscas parásitas (CENICAÑA, 2008b; El Palmar,

2008). En la Figura 11 se observa el ataque de los barrenadores en los tallos de caña.

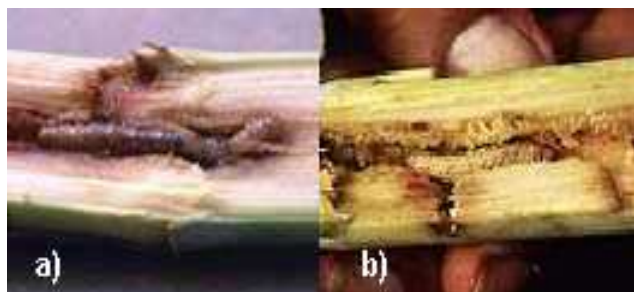


Figura 11. Daño causado por: a) *Diatraea indigenilla*; b) *Diatraea* spp.
(CENICAÑA, 2008b)

En general para combatir las plagas se recurre a depredadores naturales y parásitos. También se utilizan variedades resistentes por lo que la investigación se ha incrementado en los últimos años (García y Álvarez, 1991).

1.1.5 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR

En la Tabla 1 se muestra la composición nutricional de la caña de azúcar.

Tabla 1. Composición nutricional de la caña de azúcar

| Componentes | % | Componentes | % |
|-------------------------|-------|---------------|-------|
| Agua | 74,50 | | |
| Grasas y ceras | 0,20 | Ácidos libres | 0,08 |
| Fibra | 10,00 | Azúcares | 14,00 |
| Cenizas | 0,50 | Sacarosa | 12,50 |
| Sustancias nitrogenadas | 0,40 | Glucosa | 0,90 |
| Pectina | 0,20 | Fructosa | 0,60 |

MOSQUERA *et al.*, 2007

1.1.6 PRODUCCIÓN NACIONAL

En el Ecuador, la producción de caña de azúcar se ha incrementado desde el año 2000 hasta el año 2006 como se observa en la Tabla 2. La superficie sembrada aumentó, para el año 2006, en aproximadamente un 14% con relación al año 2000, mientras que la superficie cosechada se incrementó en un 22% (SICA, 2007).

Tabla 2. Superficie de caña sembrada y cosechada, producción de caña en el Ecuador (2000-2006)

| Años* | Superficie Sembrada (ha) | Superficie Cosechada (ha) | Producción Caña (TM) |
|-------|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| 2000 | 68 585 | 62 494 | 4 841 310 |
| 2001 | 68 822 | 66 000 | 4 744 230 |
| 2002 | 74 943 | 67 000 | 5 172 600 |
| 2003 | 75 500 | 68 000 | 5 300 000 |
| 2004 | 75 500 | 68 000 | 5 304 000 |
| 2005 | 75 500 | 70 000 | 5 460 000 |
| 2006 | 78 000 | 76 000 | 5 928 000 |

SICA, 2007. *Los años corresponden a año agrícola de junio a julio.

1.1.7 USOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar suministra, en primer lugar, sacarosa para azúcar blanco o moreno. También se destina para la fabricación de panela en sus diversas formas como se muestra en la Figura 12: panela cuadrada, rectangular, redonda, cónica, pastilla con cresta redonda, pastilla con cresta triangular, panela pulverizada, panela granulada (Narváez, 2002).

La agroindustria de la caña también da origen a otros productos como el bagazo, el cual se utiliza como combustible y en la elaboración de pulpa de papel; la

cachaza; la melaza y mieles de varios grados. Estos subproductos, debidamente industrializados, son materia prima para elaborar alcoholes, butadieno, etileno, ácido acético y cítrico, acetaldehído (Terranova, 1995). Hay otros aprovechamientos de menor importancia como los compost agrícolas, las ceras, la fibra absorbente, etc. (Infoagro.com, 2002).



Figura 12. Formas de presentación de la panela

1.2 ELABORACIÓN DE PANELA GRANULADA

En la norma INEN (2002), se define a la panela granulada como “producto obtenido por concentración de los jugos de caña de azúcar, hasta la obtención de un jarabe espeso permitiendo a continuación que el jarabe se solidifique y se granule por batido”.

1.2.1 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA PANELA

La composición nutricional de la panela se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición nutricional de la panela

| Componentes para 100 g de panela | | | |
|---|-----------|-----------------------|-----------|
| Agua (g) | 1,5 – 7,0 | Sacarosa (g) | 72 – 78 |
| Proteínas (mg) | 280 | Fructosa (g) | 1,5 – 7,0 |
| Energía (cal) | 312 | Glucosa (g) | 1,5 – 7,0 |
| Minerales (mg) | | Vitaminas (mg) | |
| Potasio | 10 – 13 | Pro vitamina A | 2,00 |
| Calcio | 40 – 100 | A | 3,80 |
| Magnesio | 70 – 90 | B1 | 0,01 |
| Fósforo | 20 – 90 | B2 | 0,06 |
| Sodio | 19 – 30 | B5 | 0,01 |
| Hierro | 10 – 13 | B6 | 0,01 |
| Manganeso | 0,2 – 0,5 | C | 7,00 |
| Zinc | 0,2 – 0,4 | D2 | 6,50 |
| Flúor | 5,3 – 6,0 | E | 111,30 |
| Cobre | 0,1 – 0,9 | PP | 7,00 |

NARVÁEZ, 2002

1.2.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE PANELA GRANULADA

El proceso de elaboración de la panela granulada a partir de la caña de azúcar sigue como se muestra en la Figura 13 (ADE y PROIMBABURA, 2005; Mosquera *et al.*, 2007).

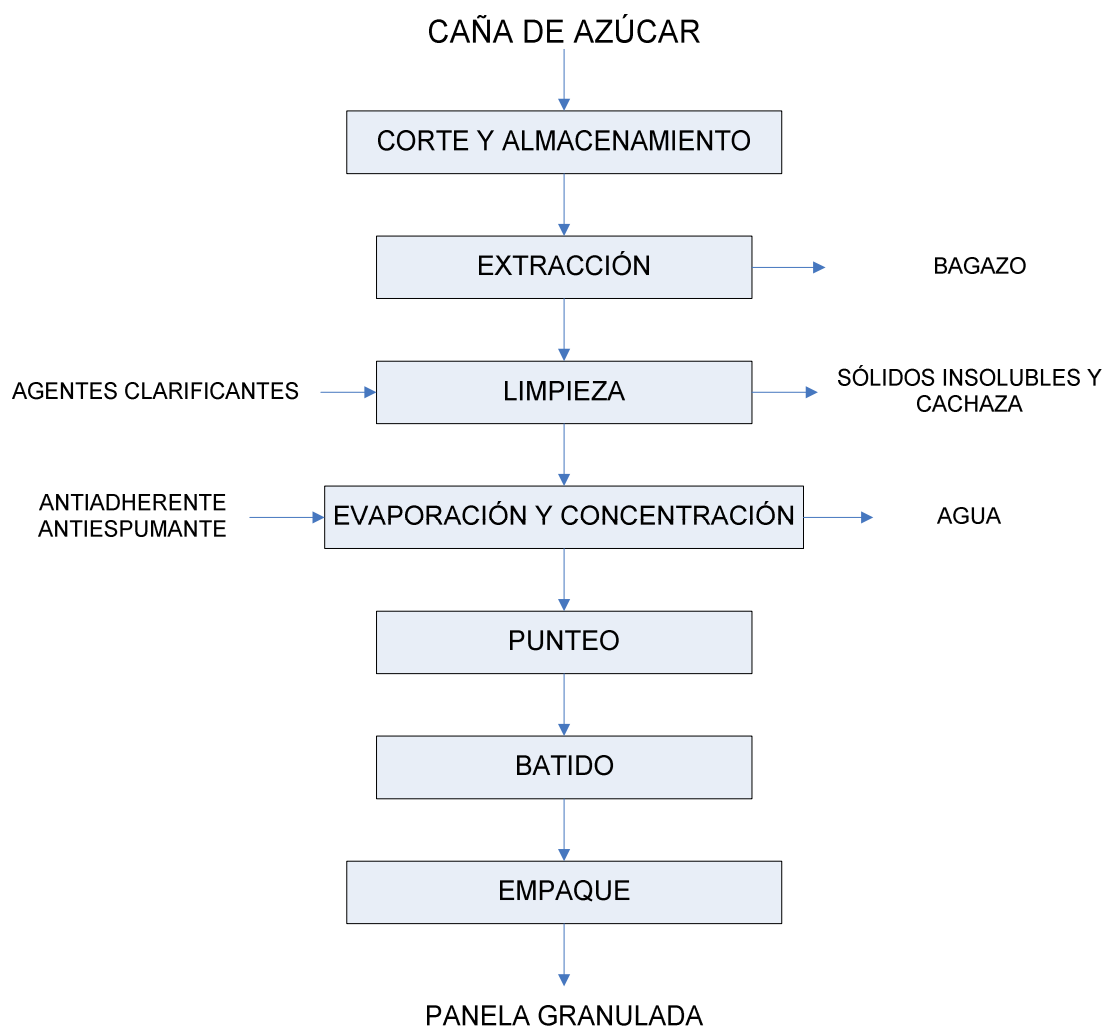


Figura 13: Diagrama de flujo del procesamiento de panela granulada

1.2.2.1 Corte y Almacenamiento

El corte de la caña se debe realizar cuando la caña alcanza la mayor concentración de sólidos solubles (°Brix) y la madurez en sacarosa. La edad de

corte es diferente para cada variedad y va de acuerdo al índice de madurez, que resulta de la relación entre la lectura de °Brix del tercio superior (B) y la lectura del tercio inferior (A) del tallo de la caña (ADE y PROIMBABURA, 2005; Mosquera *et al.*, 2007). Las cañas con madurez diferente a la óptima dan rendimientos menores y poseen mayor cantidad de azúcares reductores, lo cual influye negativamente en la dureza y el color de la panela (ADE y PROIMBABURA, 2005). En la Tabla 4 se muestra la manera de determinar el estado de madurez de la caña de azúcar según el índice de madurez.

Una vez cortada la caña se transporta al molino. El almacenamiento no debe ser prolongado porque influye en la calidad de la panela (Sandoval, 1996). Se recomienda almacenar la caña por un período máximo de 3 días, debido al rápido aumento del porcentaje de azúcares reductores. Cuando ha existido un buen manejo agronómico de la caña, el pH de los jugos que ingresan a la primera paila es de 5,2 (ADE y PROIMBABURA, 2005).

Tabla 4. Estado de madurez de la caña de acuerdo con el índice de madurez

| Índice de madurez (B/A) | Estado de Madurez |
|--------------------------------|--------------------------|
| < 0,95 | Caña inmadura |
| 0,95 - 1,00 | Caña madura |
| > 1,00 | Caña sobremadura |

ADE y PROIMBABURA, 2005

B: °Brix del tercio superior de la caña A: °Brix del tercio inferior de la caña

1.2.2.2 Extracción

En el trapiche se realiza la extracción de los jugos de la caña en un molino de rodillos. Se obtiene además el residuo sólido llamado bagazo, utilizado como

combustible y cuya humedad varía entre 50 y 60% dependiendo del grado de extracción del molino, la variedad y el grosor de la caña (Mosquera *et al.*, 2007).

El nivel de extracción y la concentración de sólidos solubles de los jugos afectan directamente el rendimiento de producción de panela. El porcentaje de extracción se obtiene al dividir el peso del jugo respecto al peso de la caña. Dicho porcentaje depende de las condiciones de operación del molino y causa efectos sobre la calidad y cantidad del jugo obtenido (ADE y PROIMBABURA, 2005).

El bagazo es llevado a las bagaceras donde se almacena, hasta que alcance una humedad menor o igual al 30% para que pueda ser utilizado como combustible (ADE y PROIMBABURA, 2005; Sandoval, 1996).

1.2.2.3 Limpieza

La limpieza de los jugos incluye las operaciones de prelimpieza y clarificación.

La prelimpieza de los jugos consiste en eliminar por medios físicos, a temperatura ambiente, el material grueso o impurezas (tierra, partículas de bagazo, ceras) con que sale el jugo de caña del molino. Para la separación se usa el pozuelo, las mallas y los prelimpiadores (ADE y PROIMBABURA, 2005). Esta operación evita que las sustancias precursoras del color, sean liberadas por efecto del calor, y disminuye la cantidad de incrustaciones sólidas en las pailas, lo cual favorece la vida útil y la tasa de transferencia de calor (Mosquera *et al.*, 2007).

Los equipos de prelimpieza usan la diferencia de densidad de las partículas como principio para su separación y deben estar cubiertos para evitar la caída de impurezas adicionales como partículas de polvo, hojas, etc. La diferencia entre la altura del nivel del jugo y la altura total debe ser mayor a 15 cm para evitar la saturación y el desborde de las impurezas. Los prelimpiadores requieren, para su buen funcionamiento, un adecuado mantenimiento y limpieza, con el fin de evitar la fermentación de los jugos y como consecuencia, el aumento de acidez y de azúcares reductores (ADE y PROIMBABURA, 2005).

Terminada la prelimpieza, el jugo sin clarificar se pasa directamente a la paila recibidora a una temperatura cercana a la temperatura del ambiente, para iniciar su calentamiento hasta 50 o 55°C. Una vez alcanzada esta temperatura se adicionan los agentes clarificantes (ADE y PROIMBABURA, 2005; Sandoval, 1996). Los clarificantes o mucílagos vegetales se obtienen de la maceración de las cortezas de balsa, cadillo y guásimo. El propósito de la etapa de clarificación es eliminar los sólidos de suspensión de los jugos, las sustancias coloidales y algunas sustancias colorantes presentes en el jugo. (Sandoval, 1996)

Las impurezas se agrupan, por efecto combinado del calor y los agentes clarificantes, aumentan de tamaño, emergen a la superficie con la formación de espuma (cachaza) y son retiradas manualmente. Sin embargo, hay algunas impurezas de tamaño bastante pequeño que no se pueden retirar por este método, siendo necesario filtrar los jugos para disminuir su turbidez a través de lienzos finos o mallas de acero inoxidable. De la eficiencia de la etapa de clarificación depende en gran parte la calidad del producto terminado (Sandoval, 1996).

1.2.2.4 Evaporación y Concentración

Durante la etapa de evaporación, los jugos permanecen a la temperatura de ebullición del agua, lo que permite el cambio de fase del agua (de líquido a vapor), de manera que se elimina cerca del 90% del agua presente. Se adiciona parte del agente antiespumante y antiadherente para evitar derramamiento del jugo. Este agente es un aceite vegetal con punto de fusión superior a los 128°C (ADE y PROIMBABURA, 2005).

La etapa de concentración, se lleva a cabo a temperaturas superiores a las de ebullición para aumentar el contenido de los sólidos solubles hasta 90 o 94°Brix (Mosquera *et al.*, 2007). Se debe adicionar el agente antiadherente para evitar que se quemé la miel en las paredes de la paila. La inversión de la sacarosa es

función de la temperatura, el pH y el tiempo de residencia de los jugos en la hornilla. A partir de los 100°C la inversión se acelera notablemente, por lo que se debe mantener los jugos el menor tiempo posible en esta etapa, para evitar el aumento de los azúcares reductores (ADE y PROIMBABURA, 2005).

1.2.2.5 Punteo

El punto final se puede identificar visualmente por la formación de grandes burbujas o películas muy finas y transparentes. Se toma una muestra de miel con una espátula y se introduce en un recipiente con agua fría para evaluar la fragilidad o quebrado (Mosquera *et al.*, 2007).

La velocidad de determinación del punto de la panela debe ser rápida, porque los cambios de las características ocurren apresuradamente en las mieles en su punto final y estas se pueden caramelizar fácilmente. El "punto" de panela varía entre 118 y 125°C para panela en bloque y entre 122 y 128°C para panela granulada (ADE y PROIMBABURA, 2005).

1.2.2.6 Batido

Este proceso se realiza en recipientes de acero inoxidable mediante agitación vigorosa, con una pala, durante 15 minutos, para conseguir la granulación de la panela. Se deja reposar de 3 a 4 minutos para que las mieles comiencen a crecer por efecto del aire incorporado. Se realiza nuevamente la agitación y se repite 2 o 3 veces (Mosquera *et al.*, 2007).

1.2.2.7 Envasado

En esta etapa se debe tener en cuenta que el producto no se debe envasar en caliente. Una vez seco y enfriado el producto se envasa en bolsas plásticas de polietileno o polipropileno (Mosquera *et al.*, 2007), las cuales no solo deben

proteger el producto, sino identificar la industria alimenticia que lo produce, el producto y sus propiedades nutricionales y hacerlo atractivo al consumidor (ADE y PROIMBABURA, 2005).

1.2.2.8 Almacenamiento y Distribución

El almacenamiento de la panela granulada debe ser hecho en lugares secos y ventilados, apartados del calor y de la luz directa (FAO, 2006). La distribución y comercialización del producto debe ser por medio de vehículos que posean protección de las condiciones climáticas. En el punto de venta se debe tener en cuenta la rotación del producto, la higiene del sitio y la ubicación. No se debe mezclar con otros productos como ambientadores, jabones o detergentes, que puedan alterar sus propiedades físico-químicas u organolépticas (ADE y PROIMBABURA, 2005).

1.3 FACTORES QUE AFECTAN EL DETERIORO Y EL TIEMPO DE VIDA ÚTIL EN PRODUCTOS DE BAJA HUMEDAD

El deterioro de los alimentos empieza desde su cosecha, en el caso de los vegetales o desde el sacrificio, en el caso de animales, pasando por una serie de etapas de descomposición progresiva (Casp y Abril, 2003). También durante el proceso de elaboración, los alimentos sufren deterioro, el cual puede extenderse durante su vida útil, causando disminución de la calidad del producto, si los factores que influyen no son controlados adecuadamente.

1.3.1 CAUSAS DE DETERIORO DE LOS ALIMENTOS

Las causas de deterioro de los alimentos pueden ser físicas, químicas o biológicas, siendo éstas últimas las de mayor importancia en el campo de los alimentos, porque son las que permiten el desarrollo de microorganismos que dañan el alimento y afectan la salud del consumidor.

- **Causas Físicas:** Aparecen durante la manipulación, la preparación o la conservación de los productos, por ejemplo corresponden a golpes durante la recolección o manipulación, heridas, etc. Esta clase de daños puede dar origen al deterioro por causas químicas o biológicas, lo cual afecta su valor comercial (Casp y Abril, 2003).
- **Causas Químicas:** Se manifiestan durante el almacenamiento de los alimentos. Con frecuencia pueden hacer que el producto pierda calidad e inclusive sea no apto para el consumo humano. Dentro de estas se encuentran el pardeamiento, el enranciamiento, etc. (Casp y Abril, 2003).
- **Causas Biológicas:** Son las más importantes y se pueden dividir en enzimáticas, parasitarias y microbiológicas.

Las enzimáticas son causadas por acción de enzimas propias del alimento. Las parasitarias son producidas por infestación de insectos, roedores, pájaros, etc. Estas deben ser consideradas por las pérdidas económicas y porque ponen el alimento a disposición de infecciones provocadas por contaminación cruzada de microorganismos. Y, las microbiológicas son producidas por acción de microorganismos, responsables de las alteraciones más frecuentes y más graves (Casp y Abril, 2003).

La degradación de los alimentos están en función del tiempo, mientras más tiempo transcurra mayor será el deterioro de la calidad de los productos alimenticios (Casp y Abril, 2003).

1.3.2 FACTORES EXTRÍNSECOS QUE INTERVIENEN EN EL DETERIORO DE LOS ALIMENTOS

Sobre las causas de deterioro de los alimentos, influyen diversos factores ambientales como son la temperatura, la humedad, la luz y el aire, especialmente el oxígeno, unido a todos estos factores está además el tiempo (Casp y Abril,

2003). En el caso de productos de baja humedad como la panela granulada, los factores como la temperatura y la humedad tanto del producto como del ambiente son los más críticos y los que causan mayor deterioro.

1.3.2.1 Aire y Oxígeno

El aire y el oxígeno ejercen efectos destructores sobre las vitaminas, los colores, los sabores y otros componentes. El oxígeno interviene en las actividades metabólicas de las células vegetales y animales como la respiración, la biosíntesis del etileno y la oxidación (Casp y Abril, 2003).

Durante el almacenamiento de muchos alimentos se produce CO_2 y se absorbe O_2 . La velocidad de transferencia del CO_2 desde el alimento y de absorción de O_2 por el alimento se cuadriplica cada 10°C de incremento en la temperatura (Miranda, 2003).

1.3.2.2 Luz

El deterioro de los colores en muchos alimentos y la destrucción de algunas vitaminas como la riboflavina, la vitamina A y la vitamina C son causadas por la acción de la luz. Los alimentos sensibles a la luz pueden ser protegidos por medio de envases que impidan su entrada (Casp y Abril, 2003).

1.3.2.3 Temperatura

La temperatura no solo afecta al desarrollo de los microorganismos, sino también de todos los procesos químicos y bioquímicos, que tienen lugar en el alimento. La velocidad de la mayoría de las reacciones químicas enzimáticas y no enzimáticas se duplica aproximadamente cada 10°C de aumento de temperatura (Casp y Abril, 2003; Miranda, 2003).

Las altas temperaturas afectan el valor nutritivo de los alimentos (Miranda, 2003), denaturan las proteínas, rompen emulsiones, destruyen vitaminas (Casp y Abril,

2003) y cambian la textura de los alimentos, al provocar la eliminación de la humedad. El frío puede deteriorar los alimentos especialmente las frutas y las hortalizas. Si las temperaturas son excesivamente bajas, pueden producirse daños fisiológicos como por ejemplo, cambios en la textura, pardeamiento, etc. (Casp y Abril, 2003; Miranda, 2003).

1.3.2.4 Humedad relativa

Algunos productos son sensibles a la presencia de agua física en su superficie, producida por la condensación del agua debida a cambios de temperatura. Este fenómeno también puede producirse dentro de los envases cuando se almacenan los productos y si desciende la temperatura, el agua evaporada puede condensarse y alterar la calidad de los productos (Casp y Abril, 2003). La humedad también favorece el desarrollo de los microorganismos.

1.3.3 PARÁMETROS QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL ALIMENTO

En el control de calidad de un alimento, uno de los aspectos más importantes es la apariencia, porque constituye el primer impacto que recibe el consumidor al encontrarse con el producto (Falguera *et al.*, 2007).

Se describen a continuación los parámetros de calidad, que se deben considerar, en productos de baja humedad, tales como la panela granulada.

1.3.3.1 Humedad y actividad de agua

El agua es una sustancia abundante en la naturaleza esencial para los procesos de los seres vivos debido a las diversas funciones que desempeña (Welti y Vergara, 1997). El agua juega un papel importante con respecto a las propiedades de los sistemas alimenticios y es el factor individual que más interviene en la alterabilidad de los alimentos. (Lab-Ferrer, 2008a; Labuza and Bell, 2000).

El agua, en los alimentos, influye en las características físicas o de textura del producto, así como en su estabilidad química. Al entender la relación físico-química entre el agua y los componentes en los alimentos, se puede mejorar el procesamiento y el empaque, para mantener dichas características (Labuza and Bell, 2000).

Los alimentos se alteran de manera distinta, a pesar de tener el mismo contenido de agua, por lo que, la cantidad de agua no es por sí sola un indicativo del deterioro de los alimentos (Lab-Ferrer, 2008a).

La actividad de agua (a_w) de un alimento es la fracción de agua que está libre, y por lo tanto, disponible para el desarrollo de microorganismos y para que puedan llevarse a cabo diversas reacciones químicas que afectan a su estabilidad (Lab-Ferrer, 2008a; Welti y Vergara, 1997).

Casp y Abril, (2003) definen la actividad de agua como aquella que indica la disponibilidad de agua, de un medio determinado para las reacciones químicas, bioquímicas y para las transferencias a través de membranas semipermeables.

También puede ser descrita como la relación entre la presión parcial de vapor de agua del alimento y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura, Ecuación [1.1] (Casp y Abril, 2003; Welti y Vergara, 1997):

$$a_w = \frac{p}{p_o} \quad [1.1]$$

Donde:

p = presión de vapor del agua en un alimento a una temperatura T.

p_o = presión de vapor de agua pura a la misma temperatura T.

El valor de la a_w varía de 0 a 1. La humedad relativa (HR) del ambiente, en un medio cerrado, está relacionada con la a_w de un producto, mediante la ecuación [1.2] (Casp y Abril, 2003; Welty y Vergara, 1997):

$$a_w = \frac{HR}{100} \quad [1.2]$$

La relación entre la actividad de agua y el contenido de humedad de un alimento a temperatura constante, se puede explicar por medio de una isoterma de sorción (Welty y Vergara, 1997).

La forma de la isoterma de sorción puede variar dependiendo del tipo de producto y su afinidad por el agua. Los alimentos solubles como el azúcar adoptan una isoterma de forma asintótica, cuando la humedad relativa tiende al 100% y los alimentos complejos muestran una curva sigmoide (Mathlouthi, 2001).

En la Figura 14 se muestra una isoterma de sorción de humedad típica de un alimento.

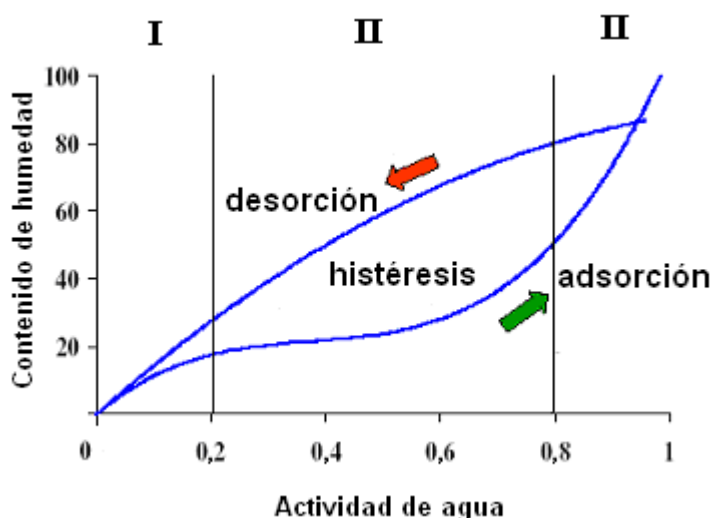


Figura 14. Isoterma de sorción de humedad típica de un alimento (Ponce, 2005)

Se pueden identificar tres zonas para clasificar los alimentos en función de la actividad de agua. La zona I corresponde a los alimentos secos con actividad de agua menor a 0,2. En la zona II se encuentran los alimentos de humedad intermedia y en la zona III están los productos frescos con actividad de agua mayor a 0,8.

La zona I representa el agua fuertemente unida a sitios polares, siendo difícil su eliminación durante el secado y no se congela a -40°C . El agua de esta región no actúa como solvente y su comportamiento es como parte del sólido (Welti y Vergara, 1997). Está en una cantidad pequeña y representa cerca del 0,03% del agua total (Ponce, 2005). El límite entre la zona I y la zona II se ha asociado al contenido de humedad de “monocapa” del alimento y representa la fracción de agua que interactuaría directamente con la superficie de grupos polares (Welti y Vergara, 1997).

El agua que se encuentra en la zona II forma capas adicionales alrededor de los grupos polares y se conoce como “agua de multicapa” (Welti y Vergara, 1997). Las propiedades como solvente de esta agua son reducidas (Ponce, 2005). El agua de la zona I y la zona II constituyen alrededor del 5% del agua total en un alimento de alta humedad (Welti y Vergara, 1997).

La zona III representa el agua libre del alimento y llega a constituir aproximadamente el 95% del agua total de un alimento de alta humedad (Ponce, 2005; Welti y Vergara, 1997). El agua de esta región tiene propiedades muy similares a las del agua de una solución diluida o del agua pura, se puede congelar, sirve como solvente y es abundante como para permitir reacciones químicas de deterioro y el crecimiento microbiano (Welti y Vergara, 1997).

Welti y Vergara, (1997) y Gutiérrez *et al.*, (2007) coinciden en que el término de a_w sólo aplica a sistemas con un verdadero equilibrio termodinámico, lo cual es raro en alimentos de baja e intermedia humedad porque los sistemas alimenticios no son verdaderamente estables. Por esta razón se presenta el fenómeno de

histéresis y únicamente cuando se alcanza el equilibrio termodinámico se podría decir que la presión de vapor es una medida de la actividad de agua.

La estabilidad química y microbiológica de un alimento se representa cualitativamente por medio de un mapa de estabilidad (Gutiérrez *et al.*, 2007) como se observa en la Figura 15.

El esquema permite establecer una relación entre la a_w y la velocidad de diversas reacciones de deterioro producidas en los alimentos. La mayoría de las reacciones químicas y el crecimiento microbiano se ven reducidos considerablemente cuando se disminuye la actividad de agua (Danisco Sugar, 2007; Welti y Vergara, 1997).

El decrecimiento de la actividad de agua frena en primer lugar el crecimiento de microorganismos, seguido de las reacciones enzimáticas y posteriormente, el pardeamiento no enzimático. Sin embargo, en la oxidación de los lípidos la velocidad se incrementa en el alimento seco (Mejía, 2003).

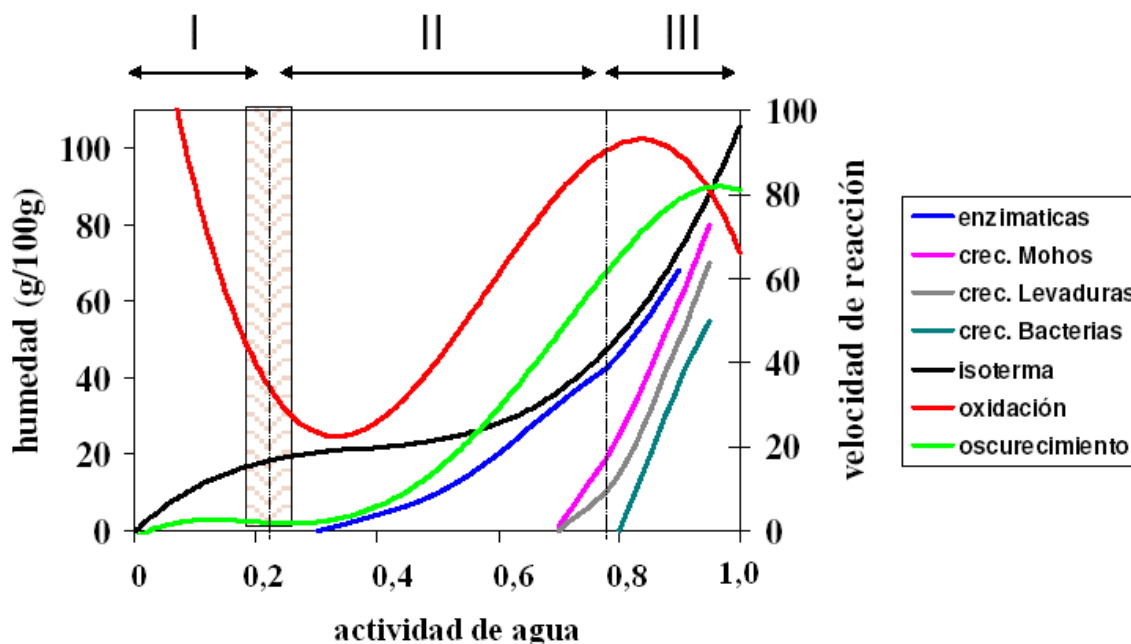


Figura 15. Mapa de estabilidad de los alimentos (Ponce, 2005)

1.3.3.2 Composición del alimento y presencia microbiana

En los productos alimenticios se pueden encontrar dos tipos de microorganismos: los que se utilizan en su proceso de fabricación, de conservación o para potenciar su sabor, y los que son causantes del deterioro de los alimentos (Casp y Abril, 2003):

El crecimiento microbiano al ser una de las principales causas de deterioro de los alimentos, requiere mayor control debido a que, no solo afecta la calidad y apariencia de los productos, sino que puede causar perjuicios a la salud del consumidor.

El deterioro causado por microorganismos está condicionado por el tipo y número de especies microbianas presentes, por la composición química del sustrato y de las condiciones de conservación, entre ellas, la temperatura y la presencia o ausencia de oxígeno. Los mecanismos, por medio de los cuales los microorganismos realizan la transformación de la materia orgánica, son muy complejos, pero las vías metabólicas se resumen en: oxidación y fermentación (Casp y Abril, 2003).

Los carbohidratos son utilizados por los microorganismos como fuente energética, con pocas excepciones, los polisacáridos son escindidos en monosacáridos, los cuales a su vez son degradados a compuestos de 1, 2, 3 y 4 átomos de carbono. Las alteraciones de los lípidos son menos importantes, sin embargo, los productos más interesantes son los ácidos grasos, especialmente los de cadena corta que pueden producir olores y sabores desagradables (Casp y Abril, 2003).

Los microorganismos aerobios escinden las proteínas en compuestos más simples, por medio de toda una serie de reacciones oxidativas, y los productos finales no están completamente oxidados ni se da la aparición de productos de mal olor. Cuando la escisión de proteínas es producida por microorganismos anaerobios, los productos finales nunca están completamente oxidados, sino que

se forman compuestos intermedios que hacen al producto maloliente (Casp y Abril, 2003).

1.3.3.2.1 Grupos de microorganismos

Los principales tipos de microorganismos que participan en el deterioro de los alimentos son bacterias, mohos y levaduras. Generalmente, estos microorganismos se desarrollan en ambientes calurosos y húmedos, y en condiciones favorables presentan una gran velocidad de multiplicación, pudiendo duplicar su número cada 30 minutos (Casp y Abril, 2003).

- **Bacterias:** Su crecimiento, tanto en el interior de los alimentos como en la superficie de los mismos, suele ser tan abundante como para proporcionar un aspecto desagradable en los productos o convertirlos en perjudiciales (Casp y Abril, 2003). Sin embargo, algunas son utilizadas en la industria alimentaria para proporcionar ciertas características a los alimentos, que incrementan su valor comercial.

Las reacciones de óxido-reducción, utilizadas por las bacterias para obtener energía de los alimentos, originan ácidos orgánicos, alcoholes, cetonas y gases (Casp y Abril, 2003).

Las bacterias gram-positivas y gram-negativas, pertenecen a las siguientes familias: *Enterobacteriaceae*, *Neisseriaceae*, *Vibrionaceae*, *Micrococaceae*, *Streptococcaceae*, *Lactobacillaceae*, *Bacillaceae* y *Pseudomonadaceae*. Los géneros más importantes son: *Escherichia*, *Salmonella*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* y *Lactobacillus* (Casp y Abril, 2003).

Una propiedad de algunas bacterias es su capacidad de formar esporas resistentes después de una intensa propagación en condiciones favorables, para sobrevivir en un ambiente desfavorable (Casp y Abril, 2003).

- **Mohos:** Invaden rápidamente cualquier sustrato, gracias a su eficaz diseminación, rápido crecimiento y a que poseen una rica carga enzimática. La alteración de los alimentos por mohos se debe a las modificaciones que estos producen durante su desarrollo, porque extraen o transforman la mayor parte de los componentes de los alimentos (Casp y Abril, 2003).

Las condiciones de desarrollo para este tipo de microorganismos son muy complejas, debido a su gran diversidad y a su notable capacidad de adaptación. La mayoría se desarrollan entre 15 y 30°C con un óptimo de crecimiento alrededor de 20 a 25°C, sin embargo algunas especies presentan crecimiento lento pero significativo a -6°C. Las esporas de los mohos resisten temperaturas muy bajas y muy elevadas, permaneciendo aptas para germinar cuando se recuperan las condiciones normales (Casp y Abril, 2003).

Los mohos no son muy exigentes en cuanto al pH, sin embargo, la humedad y mayormente la actividad de agua, tienen gran influencia en su desarrollo. Cuando la temperatura es de 25°C, algunas especies pueden crecer a una a_w menor a 0,70, característica de frutas secas, confituras, leche en polvo, granos y derivados de cereales; aunque la mayoría prefieren una a_w entre 0,80 y 0,95 (Casp y Abril, 2003).

Las modificaciones químicas producidas en los alimentos por los mohos, se traducen en alteraciones de valor nutritivo o de sus características organolépticas, en dificultades para su conservación y algunas veces pueden causar intoxicaciones en el ser humano (Casp y Abril, 2003).

- **Levaduras:** Para su crecimiento necesitan oxígeno, fuentes de carbono orgánicas, nitrógeno, diversos minerales y una temperatura y pH adecuados. Algunas requieren, además, de una o varias vitaminas y otros factores de crecimiento (Casp y Abril, 2003).

La temperatura de crecimiento se encuentra entre 5 y 30 °C y puede extenderse hasta 37°C, siendo el óptimo 25°C. En algunos casos la

multiplicación vegetativa ocurre a 0°C, pero el crecimiento es muy bajo. Las levaduras pueden soportar actividades de agua de 0,62 (Casp y Abril, 2003).

Las levaduras que afectan los alimentos pueden provocar turbidez, formación de películas en la superficie de los líquidos, aumento en el pH, aromas particulares, etc. Las levaduras no producen intoxicaciones alimentarias, pero si ocasionan alteraciones en algunos componentes de los alimentos como, por ejemplo, en los azúcares y en los ácidos (Casp y Abril, 2003).

1.3.3.3 pH

El pH mide el grado de acidez de las disoluciones químicas o las sustancias en general. Está definido por la ecuación [1.3]. El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro.

El ph está representado por el logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno y se determina en función del potencial del electrodo de hidrógeno cuando se mide eléctricamente la concentración de los iones H (García y Álvarez, 1991).

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} \quad [1.3]$$

Donde:

$[H^+]$ = concentración de iones H^+ en moles/l

El pH del alimento y el del medio en el que se realizan los diferentes tratamientos antes del proceso, durante el proceso y en el almacenamiento, tiene gran influencia sobre el deterioro que presenta el alimento durante la conservación (Miranda, 2003).

El pH es un factor básico en la conservación de los alimentos, porque afecta la conformación de las proteínas, el camino de síntesis enzimática y los productos finales del metabolismo (Alzamora, 1997).

El crecimiento y la supervivencia de los microorganismos están influenciados por el pH y el contenido de ácidos orgánicos del alimento. Las bacterias requieren un rango de pH externo entre 4 y 9 para crecer, a diferencia de los hongos y levaduras, los cuales presentan mayor tolerancia de desarrollo en rangos de pH externo 1,5 y 11,0 y 1,5 y 8,0, respectivamente (Alzamora, 1997). Cada microorganismo tiene un pH mínimo, un óptimo y un máximo de crecimiento (Casp y Abril, 2003). A continuación, en la Tabla 5, se indican los rangos de pH y los valores óptimos para el crecimiento de algunos microorganismos.

Tabla 5. Límites de pH para el crecimiento de algunos microorganismos

| | Mínimo | Óptimo | Máximo |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Mohos | 1,5 - 3,5 | 4,5 - 6,8 | 8,0 - 11,0 |
| Levaduras | 1,5 - 3,5 | 5,0 - 6,5 | 8, - 8,5 |
| Bacterias | 4,5 | 6,5 - 7,5 | 11,0 |
| Bacterias acéticas | 4,0 | 5,4 - 6,3 | 9,2 |
| Bacterias lácticas | 3,2 | 5,5 - 6,5 | 10,5 |
| <i>L. plantarum</i> | 3,5 | 5,5 - 6,5 | 8,0 |
| <i>Leu. cremoris</i> | 5,0 | 5,5 - 6,0 | 6,5 |
| <i>S. lactis</i> | 4,1 - 4,8 | 6,4 | 9,2 |
| <i>L. acidophilus</i> | 4,0 - 4,6 | 5,5 - 6,0 | 7,0 |
| <i>Pseudomonas</i> | 5,6 | 6,6 - 7,0 | 8,0 |
| <i>P. aeruginosa</i> | 4,4 - 4,5 | 6,6 - 7,0 | 8,0 - 9,0 |
| Enterobacterias | 5,6 | 6,5 - 7,5 | 9,0 |
| <i>S. typhi</i> | 4,0 - 4,5 | 6,5 - 7,2 | 8,0 - 9,6 |
| <i>E. coli</i> | 4,3 | 6,0 - 8,0 | 9,0 |
| <i>Staphylococcus</i> | 4,2 | 6,8 - 7,5 | 9,3 |
| <i>Clostridium</i> | 4,6 - 5,0 | | 9,0 |
| <i>Cl. botulinum</i> | 4,8 | | 8,2 |
| <i>Cl. perfringens</i> | 5,5 | 6,0 - 7,6 | 8,5 |
| <i>Cl. sporogenes</i> | 5,0 - 5,8 | 6,0 - 7,6 | 8,5 - 9,0 |
| <i>Bacillus</i> | 5,0 - 6,0 | 6,8 - 7,5 | 9,4 - 10,0 |

En alimentos con valores de pH muy bajos, como las frutas, las bacterias no pueden crecer y la contaminación está constituida principalmente por hongos y levaduras (Alzamora, 1997; Casp y Abril, 2003).

Las carnes, pescados, productos lácteos, legumbres y hortalizas tienen valores de pH mayores a 5,6, por lo que son susceptibles de contaminación bacteriana. (Alzamora, 1997).

1.3.3.4 Color

El color constituye una de las mediciones más importantes para determinar la calidad del azúcar y los productos azucarados, y es un parámetro muy crítico en la fabricación del azúcar refinado para la optimización de los procesos y la reducción de costos de refinación (García y Álvarez, 1991).

En productos azucarados, como la panela granulada, el cambio de color se atribuye al pardeamiento no enzimático.

El pardeamiento no enzimático incluye una serie de reacciones muy complejas y, en determinadas condiciones, los azúcares reductores pueden reaccionar con las proteínas y producir pigmentos de color pardo oscuro y modificaciones en el olor y en el sabor de los alimentos (Casp y Abril, 2003).

Los productos coloreados asociados al pardeamiento no enzimático se producen por múltiples reacciones (Lab-Ferrer, 2008b; Miranda, 2003):

- a) Reacciones de caramelización: Aparecen cuando compuestos carbohidratos se calientan en ausencia de compuestos amino.
- b) Descomposición térmica espontánea del ácido ascórbico: Se produce en condiciones anaeróbicas y aeróbicas y en presencia o ausencia de compuestos aminados. En condiciones anaeróbicas, se produce CO₂, furfural

y ácido 2,5-dihidro-2-furoico. Sin embargo, en presencia de O₂ se produce el ácido dehidroascórbico.

- c) Pardeamiento por lípidos: Es el resultado de la oxidación de compuestos glicéridos insaturados y la reacción se acelera en presencia de amoníaco, aminas o proteínas.
- d) Reacción de Maillard (MR): Ocurre cuando grupos carbonilos provenientes de aldehídos, cetonas y azúcares reductores reaccionan con grupos amino libres provenientes de aminas, aminoácidos, péptidos y proteínas (Miranda, 2003; Sensidoni *et al.*, 1999).

De todas las reacciones anteriores, las más ampliamente estudiadas, son las MR. El pardeamiento no enzimático se presenta durante los procesos tecnológicos o el almacenamiento. Esta reacción es acelerada por efecto del calor (Casp y Abril, 2003) y de otros muchos factores como la temperatura, la actividad de agua, el pH y la composición química del alimento (Sensidoni *et al.*, 1999).

Según Casp y Abril (2003), para que ocurra la MR, es necesario que la actividad de agua en el alimento se encuentre entre 0,60 y 0,90. Sin embargo, otros autores consideran que valores entre 0,40 y 0,70 de a_w son favorables a las MR (Larre, 2008), con valores máximos asignados a 0,65 (Mathlouthi, 2001).

La formación del color se puede resumir en tres pasos (Casp y Abril, 2003):

Paso inicial: En esta fase no hay producción de color ni de aroma pero se reduce el valor nutricional debido a la disminución en la disponibilidad de los aminoácidos (Miranda, 2003; Sensidoni *et al.*, 1999). El inicio de la reacción implica la condensación azúcar – amino, en la cual, el grupo carbonilo y el grupo amino forman una glucosilamina-N-sustituida con la pérdida de una molécula de agua. Consecutivamente tiene lugar el rearreglo de Amadori, en el cual, la glucosilamina se transforma en una cetosimina o aldosaimina (Miranda, 2003).

Paso intermedio: Hay formación de colores amarillos muy ligeros y producción de olores desagradables. Se produce la deshidratación de azúcares y en dependencia del pH y la actividad de agua se forman derivados del furfural, reductonas o dehidrorreductonas. Seguidamente se forman compuestos α -hidroxicarbonilos, glucoaldehidos, gliceraldehidos, piruvaldehidos, acetoles, etc. La degradación de Strecker consiste en que ciertos aminoácidos y los compuestos producidos por la deshidratación de los azúcares forman aldehidos con un átomo de carbono menos que el aminoácido inicial, más CO_2 .

Paso final: En esta fase se da la formación de pigmentos. Se produce la condensación aldólica de compuestos intermedios para formar pigmentos insaturados con propiedades fluorescentes y la polimerización de aldehidos con aminas.

En algunos casos el pardeamiento no enzimático producido por la reacción de Maillard es deseable, por ejemplo en alimentos fritos y tostados, pero en otros puede ser indeseable, cuando se producen colores oscuros que se desarrollan durante el almacenamiento (Casp y Abril, 2003).

La forma más usada para caracterizar el pardeamiento no enzimático es la medición de la absorbancia de las muestras a determinadas longitudes de onda (Falguera *et al.*, 2007).

1.3.3.4.1 Determinación del color en azúcares

La determinación del color en productos azucarados se realiza a través de métodos visuales o con instrumentos especializados para la medición del color.

Método visual: No es muy aplicable porque depende del observador. Consiste en comparar la muestra con una serie de soluciones patrón previamente calibradas, y colocadas en recipientes de vidrio (García y Álvarez, 1991).

Instrumentos para la medición del color: Están diseñados para medir en soluciones coloreadas, la absorción de la intensidad de la luz en las región visible del espectro luminoso. Se clasifican en fotómetros, espectrofotómetros, colorímetros y espectrómetros (García y Álvarez, 1991). Un fotómetro mide la intensidad relativa de la luz o alguna función de dicha magnitud. Un espectrómetro mide la intensidad relativa de la luz a una longitud de onda seleccionada dentro de los límites del espectro. Un espectrofotómetro es un espectrómetro con un equipo asociado que proporciona la relación de intensidad de dos rayos como una función de la longitud de onda de los espectros. Finalmente, mediante la ley de Beer-Lambert, se puede asociar, la cantidad de luz absorbida con la concentración de la solución (García y Álvarez, 1991).

1.3.3.5 Granulometría

El tamaño de las partículas y su forma son medidas por rangos. La absorción o pérdida de humedad, las reacciones químicas y la aplicación de fuerzas, causan cambios en las partículas durante el almacenamiento y el manejo, los cuales muchas veces afectan su forma y su tamaño (Barbosa *et al.*, 1997).

La granulometría es conocida también como análisis de tamices y consiste en pasar una cantidad conocida de muestra, generalmente 100 g, a través de una serie de tamices de diferentes aperturas (García y Álvarez, 1991) ordenados de arriba abajo en forma decreciente (Ibarz *et al.*, 2000). Un tamiz permite el paso de la fracción compuesta por partículas finas y retiene la fracción compuesta por las partículas gruesas (Barbosa *et al.*, 1997), para esto se utiliza un dispositivo que mueve el juego de tamices (García y Álvarez, 1991).

Los tamices tienen asignado un número que corresponde a la apertura de la malla. En el Anexo I se presentan los tamaños estándares de apertura de los tamices.

La cantidad de producto que no atraviesa cada tamiz conocida también como rechazo (Ibarz *et al.*, 2000), se expresa como porcentaje retenido y se calcula según la ecuación [1.4] (Mendoza, 2008):

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido en malla}}{\text{Peso total}} \times 100 \quad [1.4]$$

Para representar el % retenido se hace uso de la curva acumulativa de rechazos (Ibarz *et al.*, 2000) como se observa en la Figura 16.

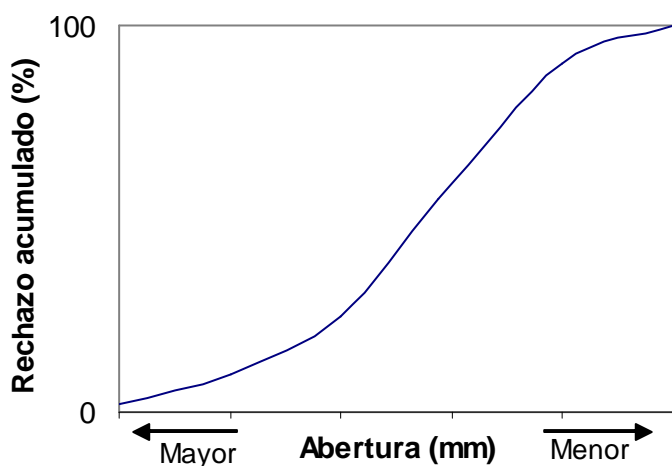


Figura 16. Curva acumulativa de rechazos
(Ibarz *et al.*, 2000)

La granulometría es un parámetro importante en la industria de harinas y polvos, especialmente en la industria azucarera, para determinar el tamaño de partículas o granos y su distribución.

1.3.3.6 Compactación

La compactación ocurre de forma natural en los alimentos en polvo, debido al transporte, empaque o almacenamiento de los mismos, que implica muchas veces que el producto sea golpeado, asentado o presionado (Barbosa *et al.*,

1997). Sin embargo, también puede ocurrir de forma intencionada al aplicar una fuerza sobre el alimento.

Este fenómeno puede afectar las propiedades del producto en ciertos casos. El grado de compactación depende de la composición del alimento, del contenido de humedad, del tamaño de partícula y de la cantidad de fuerza aplicada sobre el producto (Barbosa *et al.*, 1997).

1.3.4 CINÉTICA DE DETERIORO DE LA CALIDAD Y VIDA ÚTIL

Casp y Abril, (2003) definen la calidad de los alimentos como el conjunto de propiedades que influyen en su aceptación por el consumidor y que diferencian a unos de otros. La calidad depende no sólo de las condiciones iniciales, sino también de los cambios físicos, químicos y microbiológicos que se producen durante el procesamiento y el almacenamiento de los productos. Estos cambios están relacionados con la composición del alimento, los procesos a los que fue sometido el producto y las condiciones ambientales que lo rodean (Miranda, 2003).

Casp y Abril, (2003) mencionan que para cada alimento hay un período de tiempo determinado, después de su producción, durante el cual mantiene el nivel requerido de sus cualidades organolépticas y de seguridad, bajo determinadas condiciones de conservación. Este período se define como vida útil del alimento.

Durante el almacenamiento y distribución, los alimentos se encuentran en diferentes condiciones ambientales, las mismas que pueden desencadenar mecanismos de reacción que conducen a su degradación (Casp y Abril, 2003).

Para establecer la vida útil se requiere un análisis de factores de calidad y la valoración de su evolución, la determinación de las cinéticas de deterioro y la ejecución de un test acelerado de vida útil (Miranda, 2003).

Cuando un alimento no es apto para el consumo, debido a un deterioro microbiológico, se convierte en perjudicial para la salud. Cuando la causa es un deterioro en la calidad o valor nutritivo, no es necesariamente dañino (Miranda, 2003). La degradación de los alimentos está representada por la pérdida de los factores de calidad deseados, por ejemplo, contenido de nutrientes, sabores y olores característicos, etc., o por la formación de factores de calidad indeseables, como son, la decoloración, el pardeamiento, la presencia de sabores y olores desagradables, etc. (Casp y Abril, 2003).

La cinética de deterioro de los alimentos se puede expresar matemáticamente por medio de ecuaciones de relación. La cinética química se ha venido aplicando para explicar los cambios químicos que ocurren en un sistema, sin embargo también se aplican a cambios físico-químicos como por ejemplo, el color de un alimento se puede describir por medio del cambio del color en función del tiempo o velocidad de variación del color (Miranda, 2003).

El factor que se incluye comúnmente en modelos matemáticos es la temperatura, porque además de afectar fuertemente a las constantes de velocidad de las reacciones, la mayoría de veces no puede ser controlada, a pesar del uso de empaques apropiados (Casp y Abril, 2003).

1.3.4.1 Velocidad de reacción

Los alimentos son sistemas discontinuos y de densidad prácticamente constante, de manera que se puede considerar que la velocidad de reacción representa el cambio de propiedades o parámetros físicos, químicos y microbiológicos en función del tiempo. La velocidad de reacción es función de la composición y de la temperatura. Su influencia se representa a través de la constante cinética. En la mayoría de reacciones, la velocidad aumenta con la temperatura (Miranda, 2003).

La influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad de la reacción se describe mediante el modelo de Arrhenius, presentado en la ecuación [1.5]:

$$k = k_o e^{-\frac{Ea}{RT}} \quad [1.5]$$

Donde:

k_o : factor pre-exponencial

Ea : energía de activación

R : constante universal de los gases

T : temperatura en la escala absoluta

La energía de activación se puede definir como la mínima energía que deben poseer las moléculas antes de que ocurra la reacción y el término exponencial es la fracción de moléculas que poseen esta energía mínima (Casp y Abril, 2003).

La ecuación de Arrhenius, aunque presenta limitaciones, puede ser utilizada para simular la degradación de los alimentos, predecir las constantes de velocidad de reacción y la vida útil de los alimentos, a cualquier temperatura dentro de un rango dado (Casp y Abril, 2003).

Lara y Mejía, (2007) han evaluado el efecto de la temperatura sobre la vida útil en productos con base en el grano reventado de amaranto, mediante el uso de la ecuación de Arrhenius, para establecer la dependencia de la razón incremental de absorción de humedad y del valor de peróxidos con la temperatura, y por ende el valor mínimo de energía a nivel de las variaciones de humedad y del valor de peróxido.

1.3.5 PRUEBAS DE ESTABILIDAD

Para determinar el tiempo de vida útil de un alimento, es fundamental establecer los factores tanto físico-químicos como biológicos, que limitan esta vida útil (Casp y Abril, 2003).

Speigel, (1992) define las pruebas de vida útil como la permanencia del producto bajo apropiadas condiciones y el monitoreo del estado del producto hasta que se deteriore.

Los estudios de estabilidad son pruebas que se efectúan para obtener información sobre las condiciones en las que se deben procesar y almacenar las materias primas o los productos semielaborados o terminados. Se emplean también para determinar la vida útil del producto en su envase original y en condiciones de almacenamiento específicas y controladas (COGUANOR *et al.*, 2006).

Los tests acelerados de estabilidad implican el uso de altas temperaturas para conocer las pérdidas de calidad del alimento y su durabilidad. Son utilizados en el diseño y desarrollo de nuevos productos o en la modificación de uno ya existente, puesto que permiten determinar la vida útil sin necesidad de esperar a que transcurra el tiempo necesario, que en algunos casos puede ser muy largo (Casp y Abril, 2003).

La aplicación de pruebas de estabilidad es de gran interés para la industria alimenticia, ya que permite determinar el tiempo de expiración de un producto en el mercado, antes de que sea rechazado por el consumidor (Lara y Mejía, 2007; Mandal *et al.*, 2007).

1.3.5.1 Condiciones de almacenamiento

Para predecir la estabilidad de un alimento se deben considerar las interrelaciones entre tiempo, temperatura y humedad (Wolti y Vergara, 1997). Por esta razón, las condiciones de almacenamiento utilizadas para la determinación de la vida útil de los alimentos se basan en la combinación de temperaturas y humedades relativas para crear diferentes ambientes.

Las condiciones de almacenamiento más comunes son: normal, acelerada y extrema (Speigel, 1992).

1.3.5.1.1 Condiciones normales

Se usan para determinar la estabilidad básica de un alimento por efecto de cambio en los ingredientes, manufactura, tipo de empaque, condiciones ambientales circundantes, etc. (Speigel, 1992).

1.3.5.1.2 Condiciones aceleradas

Consisten en colocar al producto bajo condiciones severas, comúnmente temperaturas mayores o menores a la normal y humedades relativas mayores o menores a las normales. Estas condiciones aceleran la tasa normal de degradación, puesto que el producto se deteriora más pronto. Muchas veces, en la práctica, las condiciones aceleradas inician nuevas reacciones de degradación que no ocurren bajo condiciones normales (Speigel, 1992).

1.3.5.1.3 Condiciones extremas

Además de acelerar el deterioro de los productos son utilizadas, generalmente, para evaluar materiales de empaque (Mejía, 2003).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE PANELA GRANULADA PRODUCIDA POR LAS UNIDADES ARTESANALES EN INGAPI Y PACTO

2.1.1 MUESTRAS DE PANELA

Se utilizaron muestras de 5 kg de panela elaborada en la planta panelera Ingapi de la Asociación de Productores Cumbres de Ingapi y de una unidad productiva artesanal de la asociación de productores de El Paraíso de Pacto.

Las muestras fueron trasladadas a la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP y los análisis y pruebas experimentales fueron realizados en el Laboratorio de Farinología del Departamento de Nutrición y Calidad.

Para la caracterización físico-química de las muestras de panela granulada correspondientes a Ingapi y Pacto se evaluaron los siguientes parámetros:

Físicos:

- Granulometría
- Grado de compactación por humedecimiento

Químicos:

- Análisis Proximal

2.1.2 ANÁLISIS FÍSICOS

2.1.2.1 Perfil de granulometría

Para determinar la granulometría se pesaron 100 g de las muestras de panela granulada proveniente de las unidades artesanales de Ingapi y Pacto. El análisis se realizó por triplicado. Se colocaron las muestras en un juego de tamices Mesh 18, 30 y 40 colocados uno sobre otro, como se observa en la Figura 17. Se agitaron las muestras por 90 segundos. Finalmente se pesaron las cantidades retenidas en cada tamiz.



Figura 17. Tamices y agitador utilizados en el análisis de granulometría de las muestras de panela granulada

2.1.2.2 Grado de compactación por humedecimiento

El grado de compactación por humedecimiento de muestras de panela, correspondientes al inicio y al final del periodo de almacenamiento, se evaluó con base en la fuerza de corte. Se pesaron, aproximadamente, 2 g de muestra para la elaboración de pastillas de panela en la prensa hidráulica CARVER que se muestra en la Figura 18. El dispositivo de la prensa con la muestra se sometió a

una fuerza de compresión de 6000 lb.



Figura 18. Prensa hidráulica CARVER utilizada para la elaboración de las pastillas de panela granulada

La fuerza de corte se determinó en el Texturómetro TA-XT2i mediante el accesorio conocido como cuchillo Craft y la celda de carga de 5 kg. Se colocaron las pastillas en el texturómetro para determinar la fuerza promedio de corte como se observa en la Figura 19.

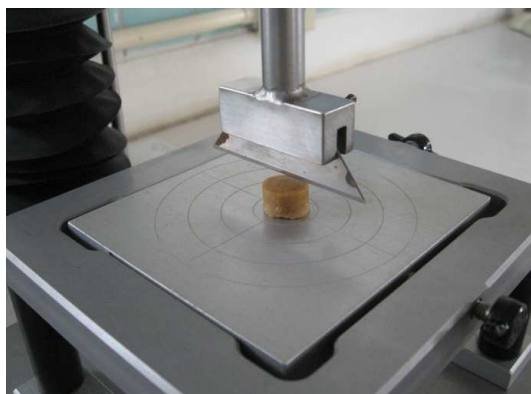


Figura 19. Medición de la fuerza de corte de las pastillas de panela granulada en el texturómetro TA-XT2i

La calibración del equipo, los parámetros y las condiciones de operación utilizadas con el software Texture Expert son descritas en los Anexos II y III.

2.1.3 ANÁLISIS QUÍMICOS

En la caracterización química de la panela granulada producida por las unidades artesanales en Ingapi y Pacto se realizó el análisis proximal según el método descrito en AOAC, (1984), adaptado en el Departamento de Nutrición y Calidad del INIAP. Se realizó la determinación de humedad, cenizas, extracto etéreo, proteína, fibra, minerales, azúcares totales, azúcares reductores, fructosa, glucosa y sacarosa. Los métodos utilizados para cada determinación están descritos en el Anexo IV.

2.2 EFECTO DEL ALMACENAMIENTO A CONDICIONES NORMAL, ACELERADA Y EXTREMA SOBRE LA CALIDAD DE LA PANELA GRANULADA

2.2.1 HIPÓTESIS

Ho: La calidad de la panela granulada no varía durante el almacenamiento a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa.

2.2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño completamente al azar en arreglo factorial AxB de 6 tratamientos con 3 observaciones.

2.2.2.1 Factores en estudio

Los factores en estudio son los siguientes:

Factor A: Condiciones de almacenamiento

- N: Normal (26°C y 50% humedad relativa)
- A: Acelerada (32°C y 75% humedad relativa)
- E: Extrema (38°C y 100% humedad relativa)

Factor B: Tipo de muestra

- I: Panela granulada de la unidad artesanal Ingapi
- P: Panela granulada de la unidad artesanal Pacto

2.2.2.2 Tratamientos

En la Tabla 6 se muestran los tratamientos según la combinación entre las condiciones de almacenamiento (Factor A) y el tipo de muestra (Factor B).

Tabla 6. Descripción de los tratamientos según la combinación entre factores A y B

| Nº | TRATAMIENTOS | CONDICIONES | TIPO DE MUESTRA |
|----|--------------|---------------|-----------------------------|
| 1 | NI | Normal (N) | Panela granulada Ingapi (I) |
| 2 | NP | Normal (N) | Panela granulada Pacto (P) |
| 3 | AI | Acelerada (A) | Panela granulada Ingapi (I) |
| 4 | AP | Acelerada (A) | Panela granulada Pacto (P) |
| 5 | EI | Extrema (E) | Panela granulada Ingapi (I) |
| 6 | EP | Extrema (E) | Panela granulada Pacto (P) |

2.2.2.3 Análisis estadístico

Se aplicaron los modelos de regresión simple del software STATGRAPHICS Plus 5.1, para la selección del modelo que mejor explique la tendencia de los datos experimentales de las variables de medición y se establecieron los coeficientes de

correlación (r) y de regresión o determinación (R^2). Se obtuvieron las tablas de análisis de varianza y se realizó la prueba de comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey al 95% de confianza.

2.2.3 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE PANELA GRANULADA

De lotes de 5 kg de panela granulada proveniente de las unidades artesanales de Ingapi y Pacto, se pesaron muestras de 250 g de cada unidad panelera y se empacaron en las bolsas de polipropileno utilizadas por la Comercializadora Camari para este tipo de producto, como se aprecia en la Figura 20.



Figura 20. Panela granulada empacada en bolsas usadas por Camari

A continuación, las bolsas, con las muestras de panela granulada fueron selladas, identificadas y colocadas en tres diferentes estufas para simular las condiciones de almacenamiento durante 90 días. Según el diseño experimental se trabajó bajo condiciones: normales (26°C y $50\%\text{HR}$), aceleradas (32°C y $75\%\text{HR}$) y extremas (38°C y $100\%\text{HR}$). Se utilizó carbonato de potasio y de sodio para mantener la humedad relativa a 50 y 75%, respectivamente (Mejía, 2003). El 100% de humedad se fijó al mantener una bandeja con agua destilada dentro de la estufa.

2.2.4 VARIABLES RESPUESTA

Las determinaciones de las variables se realizaron por triplicado cada 15 días, para las muestras de panela granulada de Ingapi y Pacto, sometidas a condiciones normales (26°C y 50%HR), aceleradas (32°C y 75%HR) y extremas (38°C y 100%HR) durante el tiempo de almacenamiento (90 días).

2.2.4.1 Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad de la panela granulada fue determinado usando el método adaptado en el Departamento de Nutrición y Calidad del INIAP. Se registraron los pesos de los platos, previamente tarados en una estufa a una temperatura de 105°C y enfriados en un desecador. Se colocaron, aproximadamente 2 g de panela granulada en cada plato y se registraron los datos de los platos con la muestra. Se colocaron los platos con las muestras en una estufa a 105°C durante 16 horas. Se enfriaron los platos con las muestras por una hora en el desecador. Se pesaron los platos con las muestras. Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de agua de cada muestra.

2.2.4.2 Determinación de la actividad de agua

Para determinar la actividad de agua de las muestras de panela granulada se utilizó el medidor digital AQUALAB marca Decagon. Se calibró el equipo con soluciones estándar de 0,25 (LiCl) y 0,76 (NaCl) a_w . Se colocó aproximadamente 1 g de panela granulada en los dispositivos del equipo como se muestra en la Figura 21.



Figura 21. Dispositivos del medidor de actividad de agua AQUALAB

Los dispositivos se colocaron dentro del equipo que se muestra en la Figura 22. Se presionó el botón izquierdo y se esperó que el equipo muestre el valor de actividad de agua.



Figura 22. Medición de la actividad de agua en el medidor digital AQUALAB

2.2.4.3 Determinación del recuento de mohos y levaduras

Se realizaron siembras en placas Petrifilm específicas para el recuento de mohos y levaduras según el método descrito en la Guía de 3M Petrifilm (1994). Se pesó 1 g de cada muestra de panela granulada y se realizaron diluciones 1:10 con agua esterilizada. Las muestras diluidas se aplicaron directamente sobre las placas en una proporción de 1 ml/placa y se incubaron a 25°C durante 3 días. Se

realizó el recuento de colonias presentes en cada placa.

2.2.4.4 Determinación de pH

Para determinar el pH en cada una de las muestras de panela granulada se preparó una solución con agua destilada al 50% de sólidos, según el método descrito en las Normas Mexicanas NMX-F-245-1983 (2007). Se calibró el potenciómetro marca OAKTON que se muestra en la Figura 23, con soluciones buffer de 4, 7 y 10. Se sumergió el electrodo del potenciómetro en la solución. Se esperaron aproximadamente 2 minutos para que el equipo diera la lectura del pH. Se lavó y secó el electrodo con agua destilada antes de cada medición.



Figura 23. Potenciómetro OAKTON

2.2.4.5 Determinación del color

El color de la panela granulada se determinó siguiendo el método descrito en Turkmen (2006). Se diluyó 1 g de muestra en 5 ml de agua destilada. Las soluciones se centrifugaron por 10 minutos y se ajustaron a 4^o Brix con agua destilada. Se determinó la absorbancia de las diluciones a 420 nm de longitud de onda, usando un espectrofotómetro Milton Roy Spectronic 20D que se muestra en la Figura 24.



Figura 24. Espectrofotómetro Milton Roy Spectronic 20D

2.3 CINÉTICA DE DETERIORO Y DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LA PANELA GRANULADA

Se utilizó el programa STATGRAPHICS Plus 5.1 para aplicar la ecuación de Arrhenius (ecuación [1.5]) y determinar la energía de activación en la panela granulada por efecto de la temperatura de almacenamiento. Los promedios de las pendientes de cada variable en función del tiempo de almacenamiento se graficaron con relación a la temperatura de almacenamiento correspondiente a las condiciones normal (26°C), acelerada (32°C) y extrema (38°C) para las muestras de panela granulada de Ingapi y Pacto.

Para determinar la vida útil de la panela granulada se utilizaron las ecuaciones obtenidas al graficar cada variable en función del tiempo de almacenamiento. Se establecieron los valores máximos permitidos para los parámetros críticos y se calculó el tiempo de vida útil de la panela granulada a diferentes condiciones.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE PANELA GRANULADA DE LAS UNIDADES PRODUCTIVAS DE INGAPI Y PACTO

3.1.1 ANÁLISIS FÍSICOS

3.1.1.1 Perfil de granulometría

Los resultados del análisis de granulometría de las muestras de panela granulada de Ingapi y Pacto, a los 0 y 90 días de almacenamiento a condiciones: normal (26°C y 50% HR) y acelerada (32°C y 75% HR) son presentados en la Tabla 7. No se reportan los resultados a la condición extrema (38°C y 100% HR) debido a que las muestras presentaron alta humedad a los 90 días de almacenamiento y por lo tanto no fue posible realizar el análisis.

Las muestras de panela granulada de Ingapi y Pacto presentaron, tanto a condición normal como acelerada, un cambio en la distribución de las partículas por efecto del almacenamiento durante 90 días. El tamaño de partícula de la panela granulada es diferente entre las dos muestras.

El porcentaje retenido es mayor a los 90 días con relación al tiempo inicial para los dos tipos de muestra en la apertura de malla correspondiente a 1 y 0,425 mm. La cantidad retenida disminuye en todos los tratamientos en la apertura de malla 0,6 mm, con excepción de las muestras NP y AP. En el Fondo, la fracción retenida disminuye para las muestras NP y AP.

Al evaluar las muestras según las condiciones de almacenamiento por 90 días, se tiene que a condición normal, la cantidad de panela Pacto (NP) retenida es mayor que a condición acelerada (AP), con excepción de la fracción del fondo. En cuanto

a la muestra Ingapi, la fracción retenida es mayor a condición acelerada (AI) en todos los tamices, excepto el porcentaje retenido en 0,06 mm.

Tabla 7. Porcentaje retenido de panela granulada en función de la apertura de malla a 0 y 90 días de almacenamiento a condiciones normal, acelerada y extrema

| Tratamientos | 18 mesh (1mm)* % | 30 mesh (0,6mm)* % | 40 mesh (0,425mm)* % | Fondo* % |
|------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------|
| I ₀ | 5,28 ± 0,51 | 43,09 ± 1,84 | 33,49 ± 2,09 | 18,02 ± 0,62 |
| P ₀ | 5,92 ± 0,05 | 28,29 ± 0,73 | 31,69 ± 0,25 | 34,01 ± 0,60 |
| NI ₉₀ | 7,18 ± 0,96 | 35,98 ± 0,83 | 38,52 ± 3,28 | 18,19 ± 2,27 |
| NP ₉₀ | 6,86 ± 0,30 | 34,34 ± 0,24 | 42,81 ± 0,71 | 15,85 ± 0,42 |
| AI ₉₀ | 8,04 ± 0,28 | 26,09 ± 2,80 | 44,91 ± 2,02 | 20,88 ± 1,49 |
| AP ₉₀ | 6,28 ± 0,04 | 28,92 ± 0,75 | 32,06 ± 0,64 | 32,63 ± 0,94 |
| EI ₉₀ | ** | ** | ** | ** |
| EP ₉₀ | ** | ** | ** | ** |

Muestras: I = Ingapi. P = Pacto. Condiciones: N = Normal. A = Acelerada. E = Extrema. Tiempo de almacenamiento = 0 y 90 (días). * Desviación estándar de 3 repeticiones. **No se realizó el análisis de granulometría debido a que las muestras presentaron alta humedad a los 90 días de almacenamiento.

Con base en los datos de porcentaje retenido presentados en la Tabla 7, se obtiene la distribución de la cantidad acumulada (%) por muestra, en función a la apertura de malla de los tamices utilizados.

La Figuras 25 y 26 representan la distribución acumulativa de las partículas de la panela granulada de Ingapi y Pacto, respectivamente. Se aprecian diferencias entre las curvas al tiempo cero (I₀), las curvas a condición normal (NI, NP) y las curvas a condición acelerada (AI, AP). En el caso de las muestras de Pacto, la

tendencia de las curvas es similar para la condición inicial y para la condición acelerada, pero difieren del comportamiento de la condición normal.

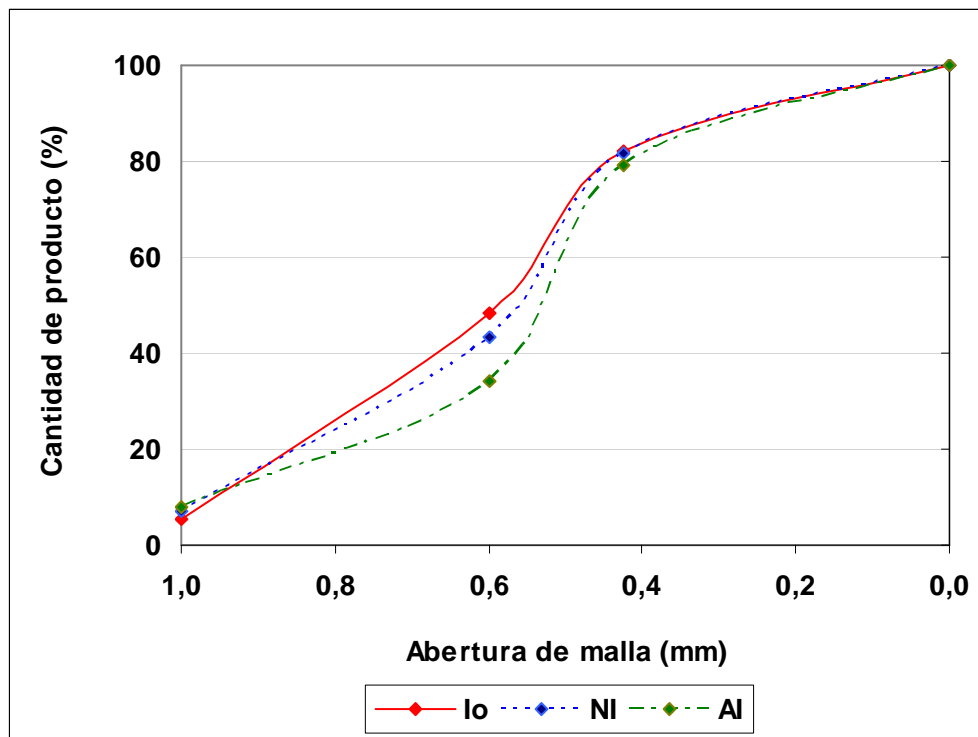


Figura 25. Distribución acumulada del tamaño de partícula de panela granulada Ingapi a condiciones normal y acelerada en los tiempos 0 y 90 días de almacenamiento

La prueba Tukey y el análisis de varianza de los resultados de la prueba granulométrica, que se presentan en el Anexo V, muestra el efecto significativo de las variables independientes: condiciones de almacenamiento, tipo de muestra y tiempo de almacenamiento.

Según el análisis, no es significativo ($p > 0,05$) el efecto de las condiciones de almacenamiento sobre el porcentaje retenido en los tamices 18 y 40 mesh; y del tipo de muestra sobre el porcentaje retenido en el tamiz 18 mesh.

Existe diferencia significativa en el porcentaje retenido correspondiente al tamiz 30 mesh al igual que en el Fondo. La condición de almacenamiento normal presenta diferencia de la condición acelerada, y se puede observar que hay mayor cantidad de producto retenido en el tamiz 30 mesh a condición normal. En

general la muestra de Ingapi presentó mayor cantidad retenida en los tamices 18, 30 y 40 mesh que la muestra de Pacto.

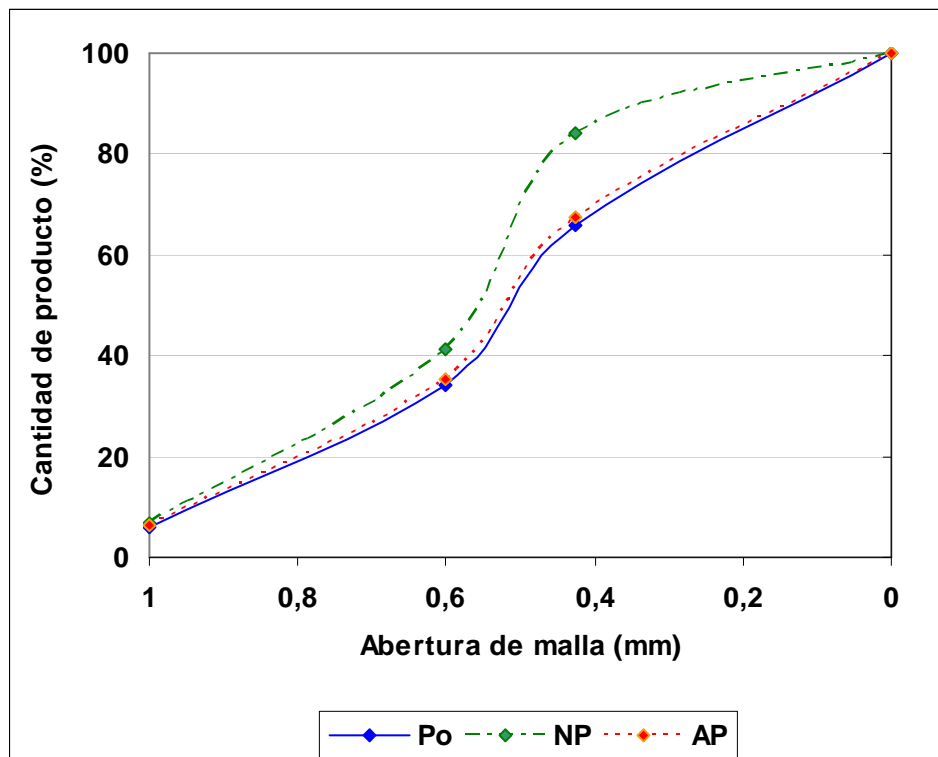


Figura 26. Distribución acumulada del tamaño de partícula de panela granulada Pacto a condiciones normal y acelerada en los tiempos 0 y 90 días de almacenamiento

Además, el análisis de varianza indica que existe un efecto significativo ($p < 0.05$) de las condiciones de almacenamiento sobre el tamaño de partícula de la panela granulada, con excepción de los resultados obtenidos para los tamices 18 y 40 mesh porque la probabilidad fue mayor a 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0). El cambio en la distribución de las partículas indica que la calidad de la panela granulada varía durante el almacenamiento a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa.

Se realizó también el análisis de granulometría en una muestra de azúcar para compararla estadísticamente con las muestras de panela granulada de Ingapi y Pacto al tiempo cero. En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos. Al comparar con las muestras de panela granulada de Ingapi y Pacto, la muestra de azúcar presenta mayor porcentaje retenido de partículas en el tamiz 30 mesh.

Tabla 8. Porcentaje retenido de las muestras de azúcar y panela granulada de Ingapi y Pacto al tiempo cero

| Tratamientos | 18 mesh % | 30 mesh % | 40 mesh % | Fondo % |
|----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| Azúcar | 4,05 ± 0,25 | 54,68 ± 2,16 | 27,72 ± 0,35 | 13,50 ± 2,33 |
| I ₀ | 5,28 ± 0,51 | 43,09 ± 1,84 | 33,49 ± 2,09 | 18,02 ± 0,62 |
| P ₀ | 5,92 ± 0,05 | 28,29 ± 0,73 | 31,69 ± 0,25 | 34,01 ± 0,60 |

Desviación estándar de 3 repeticiones.

En la Figura 27 se observa la distribución acumulada de partículas de azúcar en comparación con la panela granulada.

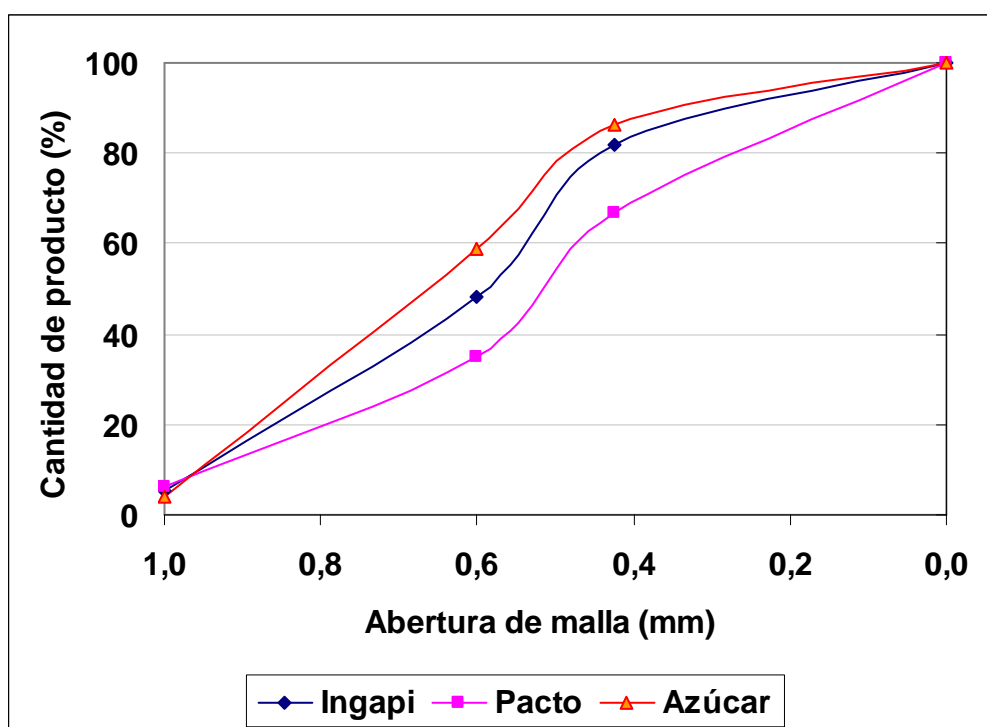


Figura 27. Distribución de las partículas de azúcar y panela granulada de Ingapi y Pacto a 0 días de almacenamiento

La distribución acumulada de partículas es diferente en cada muestra, se observa que la curva de distribución de azúcar está sobre las curvas pertenecientes a las

muestras de panela granulada de Ingapi y Pacto. Para los tres tipos de muestras, el rango de variación se extiende desde 0,90 y 0,10 mm de apertura de malla.

El análisis de varianza reportado en el Anexo VI evidencia el efecto significativo de la variable independiente: tipo de muestra sobre el porcentaje de las fracciones retenidas. La prueba Tukey ($p < 0,05$) para determinar la diferencia estadísticamente significativa entre las muestras de azúcar y panela granulada de las unidades productivas de Ingapi y Pacto al tiempo cero, se presenta en la Tabla 9.

Las muestras de panela y azúcar exhiben diferencias significativas, por lo que presentan diferentes rangos (a, b, c). Se observa que para los tamices 18 y 40 mesh las muestras de panela (b) no presentan diferencias significativas entre ellas, pero si con respecto a la muestra de azúcar (a).

Tabla 9. Porcentaje retenido de panela granulada y azúcar según el tipo de muestra al tiempo cero

| Muestras | 18 mesh % | 30 mesh % | 40 mesh % | Fondo % |
|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| Azúcar | 4,05 ^a | 54,71 ^a | 27,73 ^a | 13,51 ^a |
| Ingapi | 5,28 ^b | 43,14 ^b | 33,53 ^b | 18,05 ^b |
| Pacto | 5,92 ^b | 28,31 ^c | 31,72 ^b | 34,04 ^c |

Promedio (n = 3). Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

En el tamiz 30 mesh y en el Fondo, se observan diferentes rangos para las muestras de azúcar (a), panela granulada de Ingapi (b) y panela granulada de Pacto (c), lo cual indica que todas las muestras presentan diferencias significativas entre sí.

3.1.1.2 Características de compactación por humedecimiento

La evaluación de las características de compactación de pastillas de panela granulada, elaboradas con las muestras de Ingapi y Pacto se realizó a 0 y 90 días de almacenamiento a condiciones: normal, acelerada y extrema. La fuerza y energía, requeridas para el corte de las pastillas de panela, son los parámetros utilizados para evaluar las características de compactación por efecto del almacenamiento.

En la Tabla 10 se presentan los valores de la fuerza y energía requeridas para realizar el corte de pastillas de panela granulada, observándose que al tiempo cero, la fuerza empleada para el corte es mayor, con excepción de los resultados de los tratamientos a condición normal, los cuales presentan mayor fuerza y por lo tanto mayor energía a 90 días de almacenamiento.

Tabla 10. Fuerza y energía requeridas para el corte de pastillas elaboradas con panela de 0 y 90 días de almacenamiento a diferentes condiciones

| Tratamientos | Fuerza* (gf) | Energía* (gfs) |
|------------------|-------------------|------------------|
| I ₀ | 2407,18 ± 430,78 | 2784,99 ± 269,55 |
| NI ₉₀ | 2604,514 ± 170,56 | 3546,07 ± 155,12 |
| AI ₉₀ | 1554,98 ± 52,55 | 2212,69 ± 124,68 |
| EI ₉₀ | 504,24 ± 48,15 | 504,25 ± 68,98 |
| P ₀ | 3278,68 ± 111,32 | 3496,77 ± 120,27 |
| NP ₉₀ | 3794,33 ± 59,24 | 5344,14 ± 98,27 |
| AP ₉₀ | 2270,74 ± 132,10 | 2374,72 ± 142,58 |
| EP ₉₀ | 493,49 ± 85,09 | 340,47 ± 53,48 |

* Desviación estándar de 3 repeticiones. Muestras: I = Ingapi. P = Pacto.

Condiciones: N = Normal. A = Acelerada. E = Extrema

Tiempo de almacenamiento = 0 y 90 (días)

Aparentemente, el mantenimiento bajo condición normal (26°C y 50% HR) por 90 días contribuye a la formación de pastillas con mayor dureza por pérdidas leves

de humedad en las muestras. En cambio, las condiciones acelerada (32°C y 75% HR) y extrema (38°C y 100% HR) inciden en la formación de pastillas más frágiles debido a ganancias considerables de humedad durante el almacenamiento por 90 días.

La energía y la fuerza de corte de las pastillas, almacenadas en condición extrema, fueron las más bajas para los dos tipos de muestras debido a la presencia considerable de humedad.

El análisis de varianza reportado en el Anexo VII, evidencia el efecto significativo de las variables estudiadas sobre la fuerza y la energía requeridas para el corte de pastillas de panela. Existen diferencias significativas ($p < 0.05$) de las condiciones de almacenamiento sobre la compactación por humedecimiento, por lo tanto, se evidencia que la calidad de la panela granulada varía durante el almacenamiento a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa.

En la Tabla 11 se muestran los resultados de la prueba Tukey ($p < 0,05$) que indica la existencia de significación entre los niveles de los tratamientos de las variables independientes: condiciones de almacenamiento, tipo de muestra y tiempo.

La fuerza de corte y la energía presentan diferencias significativas entre las condiciones de almacenamiento. Los valores más altos corresponden a la condición normal y los más bajos a la condición extrema. Los valores más bajos, tanto de fuerza como de energía, pertenecen a la muestra de panela procedente de la unidad productiva panelera Ingapi y esto se debe, probablemente, al mayor contenido de humedad alcanzado durante el almacenamiento.

En cuanto al tiempo, la fuerza de corte y la energía varían significativamente entre 0 (a) y 90 días (b), lo cual evidencia que existe modificación de las características de compactación por efecto del tiempo de almacenamiento.

Tabla 11. Fuerza y energía de corte de pastillas elaboradas con panela de 0 y 90 días de almacenamiento

| VARIABLES INDEPENDIENTES | Fuerza (gf) | Energía (gfs) |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Condiciones de almacenamiento* | | |
| Normal (26°C y 50% HR) | 2905,94 ^a | 3732,09 ^a |
| Acelerada (32°C y 75% HR) | 2217,98 ^b | 2575,86 ^b |
| Extrema (38°C y 100% HR) | 1566,79 ^c | 1701,74 ^c |
| Muestras** | | |
| Ingapi | 1980,88 ^a | 2436,33 ^a |
| Pacto | 2479,60 ^b | 2903,46 ^b |
| Tiempo (días)** | | |
| 0 | 2587,10 ^a | 2961,34 ^a |
| 90 | 1873,38 ^b | 2378,45 ^b |

* Promedio (n = 12). ** Promedio (n = 18).

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa (p < 0,05).

gf= gramos fuerza. gfs= gramos fuerza por segundo

3.1.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

Los resultados de la caracterización química realizada en las muestras de panela granulada de las dos unidades productivas Ingapi y Pacto se presentan en la Tabla 12.

Al analizar los resultados, se observa que el porcentaje de humedad de la panela de Ingapi es menor en un 0,43% con relación a la determinada en las muestras de Pacto. Los valores obtenidos están dentro de los rangos de 1,5 a 7,0% presentados por Narváez, (2002) y de 1,6 a 5,0% reportados por ADE y PROIMBABURA, (2005). El valor obtenido para Pacto está en el límite de 3,0% recomendado por la norma INEN 2332:2002.

Los porcentajes de cenizas y de extracto etéreo de la muestra de Ingapi son mayores que los de la muestra de Pacto. Posiblemente la adición de grasas o aceites en la etapa de evaporación y clarificación, influye en el contenido de extracto etéreo (ADE y PROIMBABURA, 2005).

Con respecto al contenido de proteína, la panela granulada de Ingapi supera en un 0,11% a la de Pacto. Los valores obtenidos son más altos que los presentados en Narváez, (2002) de 0,28%, pero son más bajos que el nivel especificado como mínimo (0,5%) en la norma ecuatoriana (INEN, 2002), sin embargo es importante notar que en panela, el contenido de proteína no es relevante. En la panela de Pacto el porcentaje de fibra es 0,21, mientras que la ausencia de fibra en la muestra de Ingapi es un indicativo de la eficiencia en la clarificación y descachazado del jugo de caña durante la evaporación.

Tabla 12. Análisis proximal, minerales y azúcares de panela granulada producida en las unidades artesanales Ingapi y Pacto

| | INGAPI | PACTO | | INGAPI | PACTO |
|-----------------------|--------|-------|------------------|--------|-------|
| % Humedad | 2,62 | 3,05 | Minerales | | |
| % Cenizas | 1,06 | 0,87 | % Calcio | 0,02 | 0,03 |
| % E. Etéreo | 0,20 | 0,12 | % Fósforo | 0,04 | 0,06 |
| % Proteína | 0,47 | 0,36 | % Magnesio | 0,02 | 0,02 |
| % Fibra | 0 | 0,21 | % Potasio | 1,16 | 0,35 |
| % Azúcares Totales | 92,05 | 89,97 | % Sodio | 0,14 | 0,05 |
| % Azúcares Reductores | 7,03 | 3,30 | Cobre (ppm) | 3 | 1 |
| % Fructosa | 3,94 | 2,58 | Hierro (ppm) | 258 | 334 |
| % Glucosa | 3,13 | 1,71 | Manganeso (ppm) | 13 | 4 |
| % Sacarosa | 85,05 | 92,14 | Zinc (ppm) | 69 | 37 |

Promedio (n = 2). * Resultados en base seca

El contenido de calcio (0,02 a 0,03%) de las muestras analizadas es menor que los rangos de 0,04 a 1,00% reportados por Narváez, (2002) y ADE y PROIMBABURA, (2005). Probablemente la adición de cal para regular el pH del jugo de caña antes de la etapa de clarificación puede ser la causa de los altos valores encontrados en la bibliografía; práctica que no es aplicada en Ingapi ni en Pacto, por tratarse de panelas orgánicas.

El contenido de fósforo es de 0,04% en la muestra de Ingapi y 0,06% en la muestra de Pacto y se ajustan a los rangos bibliográficos de 0,04 a 0,12% reportados por ADE y PROIMBABURA, (2005) y de 0,02 a 0,09% presentados por Narváez, (2002). El contenido de magnesio (0,02%) es menor en las muestras analizadas al compararlo con los contenidos reportados de 0,07 a 0,09% por Narváez, (2002). El contenido de potasio es mayor en las muestras de Ingapi y Pacto con valores de 1,16 y 0,35 %, respectivamente frente a los valores de 0,01 y 0,013% presentados en la bibliografía (Narváez, 2002). Se puede considerar, por tanto, que las panelas granuladas de Ingapi y de Pacto son ricas en potasio. El contenido de sodio de la muestra de Ingapi es mayor al de la muestra de Pacto y a los valores de 0,02 - 0,08% presentados por ADE y PROIMBABURA, (2005) y de 0,019 - 0,03% reportados por Narváez, (2002).

Respecto a los microelementos, la panela de Ingapi tiene mayor contenido de cobre, manganeso y zinc, pero menor contenido de hierro, al compararla con la muestra de Pacto. La panela de Ingapi y de Pacto presentaron un alto contenido de hierro y zinc frente a los valores reportados por ADE y PROIMBABURA, (2005).

La panela granulada de Ingapi presentó mayor porcentaje de azúcares totales (92,05%) que la panela de Pacto (89,97%). Los azúcares reductores, fructosa y glucosa de la panela de Ingapi fueron relativamente mayores a los de la panela de Pacto. La cantidad de sacarosa fue menor para la panela de Ingapi. Es necesario conocer el contenido de azúcares presentes en un alimento, especialmente la glucosa y la fructosa porque son los que intervienen en las reacciones de Maillard,

así como en el proceso de caramelización, produciendo el efecto de pardeamiento (Danisco Sugar, 2007).

3.2 EFECTO DEL ALMACENAMIENTO A CONDICIONES NORMAL, ACELERADA Y EXTREMA SOBRE LA CALIDAD DE LA PANELA GRANULADA

El incremento de la humedad, conjuntamente con otras variables, como la temperatura, el pH, la actividad de agua y el tiempo, causan modificaciones en las características físico-químicas y microbiológicas de la panela granulada. Por ejemplo, el crecimiento de microorganismos se ve favorecido cuando la humedad y la actividad de agua del alimento se incrementan. El cambio en el color depende de la temperatura, la humedad y la actividad de agua. El incremento de azúcares reductores producto de la inversión de la sacarosa depende de la humedad, la temperatura, el pH y el tiempo (ADE y PROIMBABURA, 2005; Terranova, 1995). Para evitar este tipo de alteraciones es necesario controlar la humedad relativa del ambiente y del producto ya que el agua constituye el factor que interviene en la mayor parte de reacciones de deterioro.

3.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

La variación del contenido de humedad (%) de las muestras de panela granulada de Ingapi y Pacto, sometidas a almacenamiento bajo condiciones normal, acelerada y extrema, se presentan en el Anexo VIII.

El contenido de humedad se reporta gráficamente en función del tiempo desde 0 a 90 días. En la Figura 28 se puede observar que existe mayor incremento del porcentaje de humedad en los tratamientos (EI, EP) correspondientes a la condición extrema, considerada en conjunto, temperatura 32°C y humedad relativa 100%HR. Según Salas (2008), los alimentos con alto contenido de azúcar se mantienen con nivel bajo de humedad a bajas humedades, pero por encima de

cierto límite, el producto empieza a absorber agua del ambiente. En el caso del azúcar puro, este no absorbe agua de la atmósfera, a menos que la humedad relativa se encuentre por encima de 85%, punto en el cual el producto absorbe agua continuamente y se disuelve.

Para el caso de los tratamientos a condición acelerada (AI, AP) se aprecia un ligero incremento en el porcentaje de humedad, el cual es mucho menor en relación a los de condición extrema. En las muestras sometidas a condición normal (NI, NP) el porcentaje de humedad se puede considerar constante debido a las pequeñas variaciones presentadas durante el almacenamiento.

Los cambios de humedad en cada uno de los tratamientos, muestran que el empaque que utiliza la Comercializadora Camari no es la mejor barrera para controlar la transferencia de humedad en panela granulada y esto se evidencia en los porcentajes registrados a condiciones normales, aceleradas y extremas.

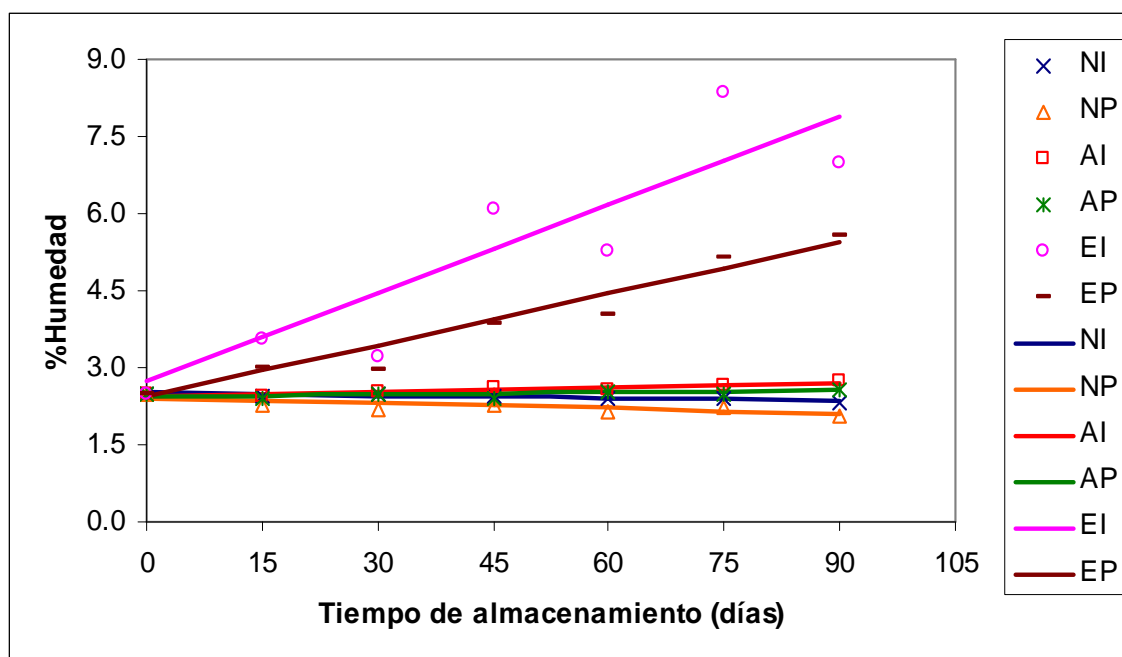


Figura 28. Variación del porcentaje de humedad de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento

De acuerdo con los resultados obtenidos y para el tipo de empaque utilizado, la humedad relativa crítica para la panela granulada se encuentra en el 75%, debido a que ya se observa incremento del porcentaje de humedad en las muestras de panela sometidas a condiciones aceleradas.

Mediante regresión simple se tiene que los datos experimentales de las curvas de contenido de humedad en función del tiempo, se ajustan mejor al modelo lineal $y = a + bx$, donde a es la ordenada al origen y b es la pendiente de la recta. En la Tabla 13 se muestran las ecuaciones con sus respectivos coeficientes de regresión (R^2) y de correlación (r).

Se realizó el análisis de varianza y la prueba Tukey ($p < 0,05$), de dichas pendientes, para evaluar el efecto significativo de las condiciones de almacenamiento y del tipo de muestra. Los resultados de dicho análisis, se reportan en el Anexo IX.

El análisis de varianza indica que existe un efecto significativo de las condiciones de almacenamiento sobre el porcentaje de humedad de la panela granulada. La pendiente (%Humedad/día) como indicativo de la razón de incremento de humedad por unidad de tiempo fue estadísticamente diferente para cada condición con el valor más alto a la condición extrema. Se rechaza la hipótesis nula: La calidad de la panela granulada no varía durante el almacenamiento a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa; porque la probabilidad fue menor a 0,05.

Para la condición normal la pendiente es negativa debido a ligeras pérdidas de agua por lo que se podría considerar que, el contenido de humedad, se mantuvo constante durante todo el almacenamiento.

Tabla 13. Ecuaciones de las curvas de variación del porcentaje de humedad de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento

| Tratamiento | Correlación (r) | R^2 | Ecuaciones |
|-------------|---------------------|-------|----------------------|
| NI | 0,93 | 0,87 | %H= 2,57 - 0,002 × t |
| NP | 0,93 | 0,86 | %H= 2,42 - 0,003 × t |
| AI | 0,91 | 0,82 | %H= 2,45 + 0,003 × t |
| AP | 0,89 | 0,79 | %H= 2,44 + 0,001 × t |
| EI | 0,91 | 0,83 | %H= 2,76 + 0,057 × t |
| EP | 0,98 | 0,97 | %H= 2,44 + 0,033 × t |

Promedio (n = 3). r = Coeficiente de correlación. R^2 = Coeficiente de regresión

Muestras: I = Ingapi. P = Pacto

Condiciones: N = Normal. A = Acelerada. E = Extrema

3.2.2 ACTIVIDAD DE AGUA

Las curvas de actividad de agua de los tratamientos en función del tiempo de almacenamiento (0 a 90 días) se obtienen a partir de los resultados presentados en el Anexo X.

En la Figura 29 se puede observar que la a_w de las muestras de panela granulada a condición normal (NI, NP), se mantiene constante durante el período de almacenamiento. En cambio, en el resto de tratamientos, el incremento se evidencia desde los 15 días en la condición extrema y a partir de los 45 días en la muestra de Pacto, bajo condición acelerada.

En algunos casos, como por ejemplo en algunas sales y azúcares, la actividad de agua puede disminuir con el aumento de la temperatura (Chaplin, 2008). Sin embargo, para los tratamientos sometidos a 38°C (EI, EP), el incremento es mayor en relación a los sometidos a 32°C (AI, AP). Esto puede deberse al alto

contenido de humedad relativa de la condición extrema. El agua tiende a migrar desde la región de actividad de agua más alta a la más baja (Lab-Ferrer, 2008a).

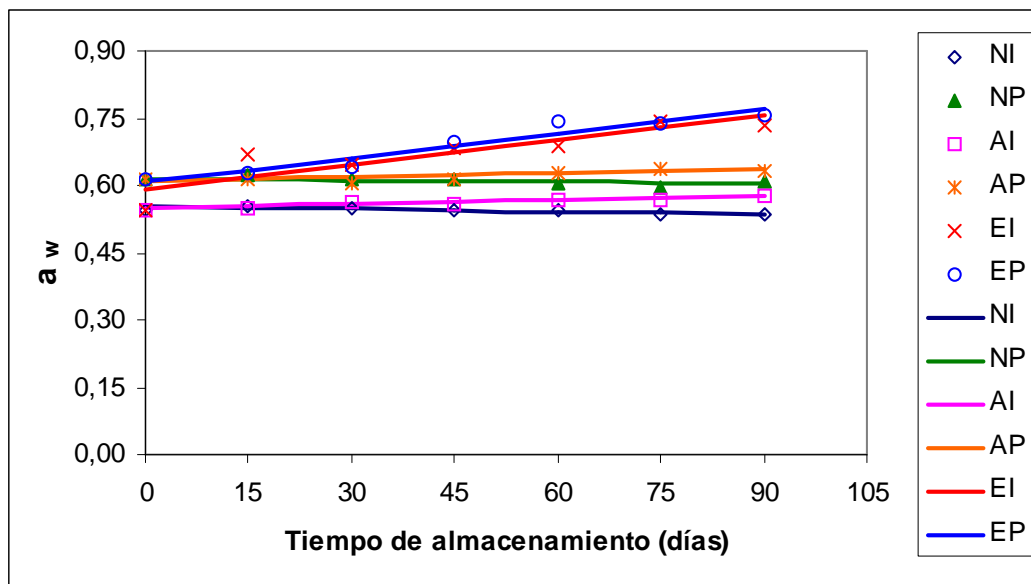


Figura 29. Variación de actividad de agua en panela granulada en función del tiempo de almacenamiento

El análisis de regresión de los datos experimentales que se presentan en el Anexo X, muestra que, la tendencia de las curvas de actividad de agua en función del tiempo, es lineal $y = a + bx$. En la Tabla 14 se muestran las ecuaciones con sus coeficientes R^2 y r .

Se realizó el análisis de varianza y la prueba Tukey ($p < 0,05$), de los valores de las pendientes correspondientes a las curvas de actividad de agua. Los resultados de dicho análisis se reportan en el Anexo XI, y muestran que existe diferencia significativa de las condiciones de almacenamiento sobre la a_w de la panela granulada. Se rechaza la hipótesis nula: La calidad de la panela granulada no varía durante el almacenamiento a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa; y se acepta la hipótesis alternativa.

Para la condición normal se observa que la pendiente ($a_w/\text{día}$) es negativa debido a disminuciones mínimas de actividad de agua. En la práctica pueden ser variaciones insignificantes, y se puede considerar pendiente cero para las curvas

de actividad de agua a condición normal. La condición acelerada presenta una pendiente positiva.

En la condición extrema se aprecia mayor incremento de la actividad de agua por día durante el tiempo de almacenamiento, por lo tanto, se puede producir el crecimiento de microorganismos y se pueden llevar a cabo diversas reacciones químicas, cuando aumenta la disponibilidad de agua en el alimento (Lab-Ferrer, 2008a).

Tabla 14. Ecuaciones de las curvas de actividad de agua de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento

| Tratamiento | Correlación (r) | R ² | Ecuaciones |
|-------------|-----------------|----------------|--------------------------------|
| NI | 0,90 | 0,81 | $a_w = 0,55 - 0,0002 \times t$ |
| NP | 0,91 | 0,83 | $a_w = 0,62 - 0,0001 \times t$ |
| AI | 0,94 | 0,89 | $a_w = 0,55 + 0,0003 \times t$ |
| AP | 0,95 | 0,90 | $a_w = 0,61 + 0,0003 \times t$ |
| EI | 0,91 | 0,82 | $a_w = 0,59 + 0,0018 \times t$ |
| EP | 0,97 | 0,93 | $a_w = 0,61 + 0,0018 \times t$ |

Promedio (n = 3). r = Coeficiente de correlación. R² = Coeficiente de regresión

Muestras: I = Ingapi. P = Pacto

Condiciones: N = Normal. A = Acelerada. E = Extrema

3.2.3 RECUENTO DE MOHOS Y LEVADURAS

A partir de los resultados presentados en el Anexo XII, se grafica en función del tiempo de almacenamiento, el recuento de unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g) de mohos y levaduras, evaluadas para cada tratamiento durante 90 días, como se muestra en la Figura 30.

En general, el crecimiento de mohos y levaduras es mayor en los tratamientos realizados para la muestra de Ingapi (I) en comparación con la muestra de Pacto (P). A los 90 días de almacenamiento se observa que el recuento de mohos y levaduras es mayor para los tratamientos AI y EI, mientras que para los tratamientos NI y NP el recuento es menor.

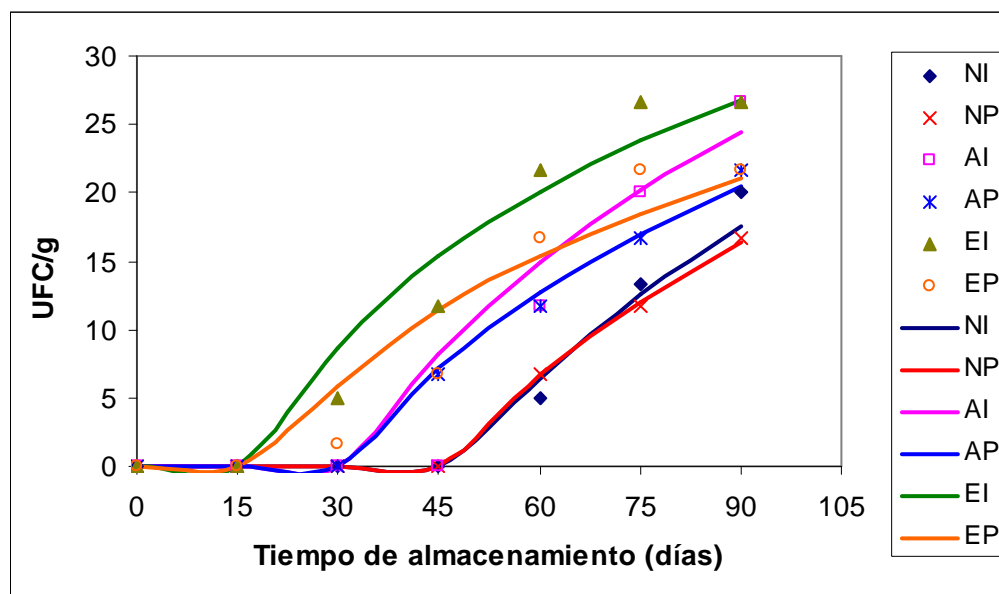


Figura 30. Variación de las unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g) en función del tiempo de almacenamiento

Para todos los tratamientos se puede apreciar que el crecimiento es nulo en los primeros 15 días. Sin embargo, para las muestras en condiciones aceleradas y en condiciones normales, el crecimiento empieza desde los 30 y 45 días, respectivamente.

En la condición extrema, el crecimiento de mohos y levaduras se da a partir de los 15 días y está en relación con el inicio del incremento de actividad de agua observado a esta condición de almacenamiento, presentado en la Figura 29.

A los 90 días, se observó mayor crecimiento de mohos y levaduras en la panela granulada, a pesar de que la temperatura de esta condición no es la óptima para el desarrollo de este tipo de microorganismos. La mayoría de los mohos se desarrollan a temperaturas entre 15 y 30°C, siendo el óptimo de 20 a 25°C (Casp

y Abril, 2003), por lo tanto el crecimiento en condiciones acelerada (32°C) y extrema (38°C) debería ser menor. Sin embargo, el contenido de humedad y la disponibilidad de agua, que presentaron las muestras de la condición extrema, son mayores con relación a las otras condiciones, lo cual favorece el desarrollo de los microorganismos.

El recuento de mohos y levaduras a los 90 días de almacenamiento es menor que $3,0 \times 10^1$ UFC/g en las dos muestras de panela y bajo las tres condiciones evaluadas. Todos los valores alcanzados durante el período de almacenamiento están por debajo del límite mínimo de $1,0 \times 10^2$ UFC/g, establecido para panela granulada en la norma ecuatoriana NTE INEN 2332:2002 y por lo tanto muy alejados del límite máximo de $2,0 \times 10^2$ UFC/g (INEN, 2002), lo que indica que no hay riesgo de que el crecimiento de mohos y levaduras en la panela granulada, a cualquier condición de almacenamiento, afecte al consumidor.

Mediante el análisis de regresión simple del recuento de mohos y levaduras (UFC/g), en función del tiempo de almacenamiento se confirma que el crecimiento de este tipo de microorganismos es de tipo logarítmico $y = a + b \times \ln(x)$. Las ecuaciones y los coeficientes R^2 y r se muestran en la Tabla 15.

La prueba Tukey y el análisis de varianza de las constantes de variación obtenidas en el análisis de regresión, se presentan en el Anexo XIII. Existe efecto significativo ($p < 0.05$) tanto de las condiciones de almacenamiento como del tipo de muestra, por lo tanto, se rechaza la H_0 : La calidad de la panela granulada no varía durante el almacenamiento a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa; y se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 15. Ecuaciones de las curvas de crecimiento de mohos y levaduras (UFC/g) de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento

| Tratamiento | Correlación (<i>r</i>) | R ² | Ecuaciones |
|-------------|--------------------------|----------------|--------------------------------|
| NI | 0,98 | 0,97 | UFC/g= -126,65 + 32,89 × ln(t) |
| NP | 0,99 | 0,99 | UFC/g= -90,77 + 23,81 × ln(t) |
| AI | 0,99 | 0,98 | UFC/g= -80,77 + 23,38 × ln(t) |
| AP | 0,99 | 0,99 | UFC/g= -66,62 + 19,37 × ln(t) |
| EI | 0,97 | 0,94 | UFC/g= -47,98 + 16,63 × ln(t) |
| EP | 0,96 | 0,92 | UFC/g= -41,20 + 13,82 × ln(t) |

Promedio (n = 3). *r* = Coeficiente de correlación. R² = Coeficiente de regresión

Muestras: I = Ingapi. P = Pacto

Condiciones: N = Normal. A = Acelerada. E = Extrema

3.2.4 pH

A partir de los resultados presentados en el Anexo XIV, se grafica el valor de pH de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento (0 a 90 días).

En la Figura 31 se observa que el valor de pH desciende en todos los tratamientos durante el tiempo de almacenamiento, sin embargo, en los tratamientos en condiciones extremas (EI, EP) el decremento es mayor.

Cole and Bugbee, (1976), mostraron la dependencia respecto al pH, del incremento de azúcares invertidos durante el almacenamiento de remolacha. Los niveles de pH y sacarosa disminuyeron mientras que los niveles de azúcares invertidos se incrementaron con el tiempo durante el almacenamiento a 26°C.

El análisis de regresión de los resultados de pH en función del tiempo de almacenamiento presentados en el Anexo XIV, permite determinar que la

ecuación a la que se ajustan mejor los datos experimentales es $y = a + bx$. En la Tabla 16 se muestran las ecuaciones y los coeficientes R^2 y r .

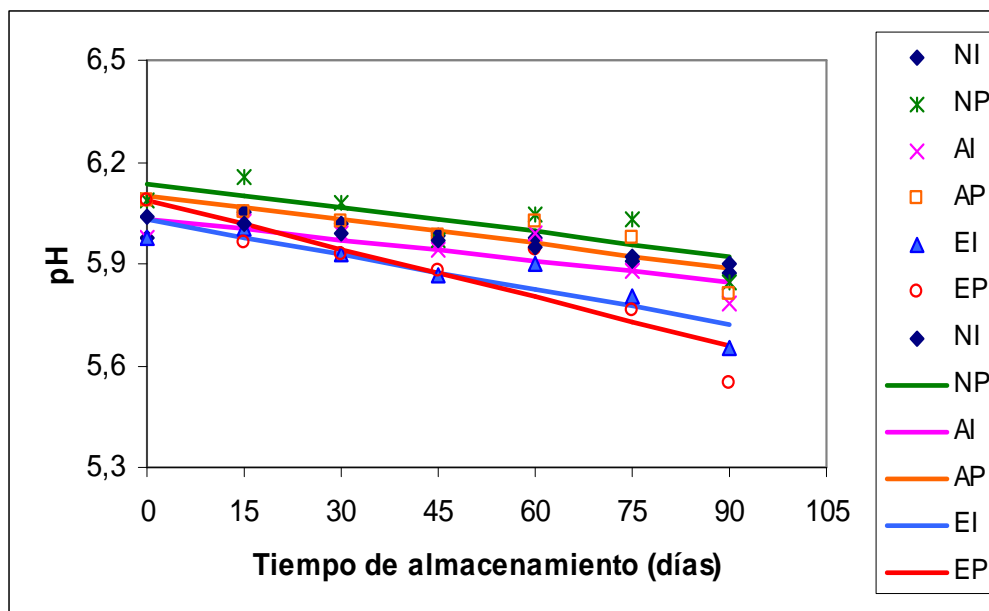


Figura 31. Variación del pH de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento

La prueba Tukey y el análisis de varianza que se muestran en el Anexo XV se realizaron con las pendientes obtenidas del análisis de regresión. Las condiciones de almacenamiento y el tipo de muestra, presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el decremento de pH, durante el almacenamiento. Se rechaza la H_0 : La calidad de la panela granulada no varía durante el almacenamiento a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa y se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 16. Ecuaciones de las curvas de variación del pH de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento

| Tratamiento | Correlación (r) | R^2 | Ecuaciones |
|-------------|---------------------|-------|-----------------------|
| NI | 0,83 | 0,69 | pH= 6,04 - 0,0016 × t |
| NP | 0,84 | 0,71 | pH= 6,14 - 0,0024 × t |
| AI | 0,80 | 0,64 | pH= 6,03 - 0,0021 × t |
| AP | 0,89 | 0,80 | pH= 6,10 - 0,0024 × t |
| EI | 0,91 | 0,84 | pH= 6,03 - 0,0034 × t |
| EP | 0,97 | 0,94 | pH= 6,09 - 0,0048 × t |

Promedio (n = 3). r = Coeficiente de correlación. R^2 = Coeficiente de regresión

Muestras: I = Ingapi. P = Pacto

Condiciones: N = Normal. A = Acelerada. E = Extrema

3.2.5 COLOR

A partir de los promedios de los resultados presentados en el Anexo XVI, se tienen las curvas de absorbancia o densidad óptica de cada tratamiento en función del tiempo de almacenamiento (0 a 90 días). La absorbancia o densidad óptica se considera un parámetro cuantificable para determinar la variación por color (Falguera *et al.*, 2007).

En la Figura 32 se puede observar que la tendencia de todas las curvas es creciente, lo que indica que la absorbancia como indicativo de color en la panela granulada se incrementa con el tiempo de almacenamiento. El incremento en la absorbancia en el tiempo, es mayor para la condición extrema, seguida de la condición acelerada y luego de la normal con el valor más bajo.

Como punto de partida, en el tiempo cero se tiene que el valor inicial de absorbancia en las muestras provenientes de Ingapi es mayor que en las muestras de Pacto.

Para el caso de panela granulada, las reacciones de pardeamiento no enzimático causantes de la coloración se inician en el proceso de fabricación de la panela con la pérdida de agua del jugo de caña por el uso de temperaturas mayores a 100°C. Por lo tanto, el incremento de la coloración en las muestras de panela granulada puede ser atribuido a las reacciones de pardeamiento no enzimático por múltiples reacciones. La formación de compuestos coloreados no deseables en los alimentos durante su almacenamiento está asociada con las reacciones de pardeamiento entre azúcares y aminoácidos (Miranda, 2003).

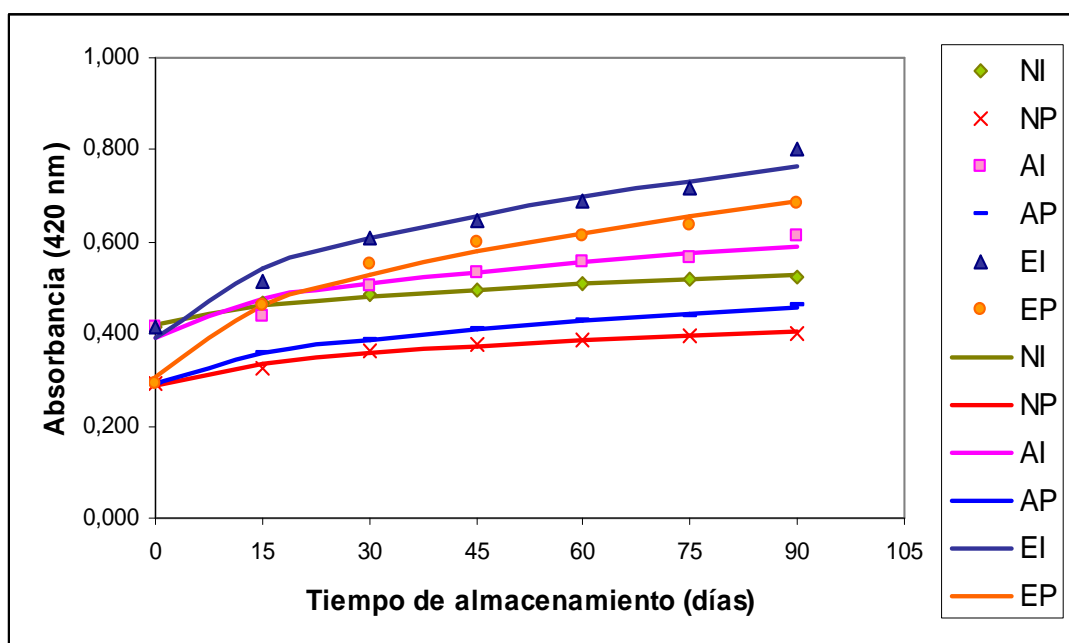


Figura 32. Variación de la absorbancia ($\lambda=420\text{nm}$) de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento

El contenido de humedad al igual que la a_w son parámetros que influyen en la evolución del color porque el agua, al ser uno de los reactivos que intervienen en las reacciones de Maillard, produce el pardeamiento del alimento y la pérdida de su valor comercial (Miranda, 2003).

La observación visual de las muestras a los 90 días de almacenamiento permite indicar que los tratamientos de panela de las condiciones normal y acelerada presentan coloración agradable. En cambio, las muestras de los tratamientos de condición extrema presentaron un color café oscuro.

En las muestras de Ingapi, el color café es más intenso al compararlo con las muestras de Pacto desde los 60 días de almacenamiento como se puede ver en el Anexo XVII por lo que, dicha coloración, no resultaría atractiva a la vista del consumidor. Esto puede deberse a que el contenido de humedad fue mayor en las muestras de Ingapi.

Sensidoni *et al.*, (1999) en el estudio sobre la reacción de Maillard en sistemas relacionados al proceso térmico de pasta, destacan que el aumento general de actividad de agua lleva a mayores tasas de reacción debido a una mayor movilidad de los reactivos. Sobre dicha base bibliográfica se puede argumentar que el oscurecimiento en las muestras de panela se incrementa debido a que a_w se incrementó a partir de los 75 días de almacenamiento, pues se afirma además que la reacción de Maillard depende de la actividad de agua y de la temperatura.

El análisis de regresión aplicado a los valores de absorbancia en función del tiempo de almacenamiento permite establecer que la ecuación a la cual se ajustan mejor las curvas fue $y = a + b\sqrt{x}$.

En la Tabla 17 se muestran las ecuaciones y los valores de la regresión de las curvas de variación del color.

La prueba Tukey y el análisis de varianza se muestran en el Anexo XVIII, los cuales fueron realizados para las constantes de variación de las curvas de absorbancia, obtenidas por regresión. Los resultados de los análisis estadísticos evidencian que existe efecto significativo de las condiciones de almacenamiento y no significativo para tipo de muestra. Se rechaza la H_0 para las condiciones de almacenamiento porque hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) y se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 17. Ecuaciones de las curvas de variación de la absorbancia de la panela granulada en función del tiempo de almacenamiento

| Tratamiento | Correlación (r) | R ² | Ecuaciones |
|-------------|-----------------|----------------|----------------------------------|
| NI | 0,99 | 0,99 | Absorbancia = 0,419 + 0,012 × √t |
| NP | 0,99 | 0,98 | Absorbancia = 0,289 + 0,012 × √t |
| AI | 0,96 | 0,92 | Absorbancia = 0,394 + 0,021 × √t |
| AP | 0,99 | 0,99 | Absorbancia = 0,292 + 0,018 × √t |
| EI | 0,99 | 0,97 | Absorbancia = 0,392 + 0,039 × √t |
| EP | 0,99 | 0,99 | Absorbancia = 0,306 + 0,041 × √t |

Promedio (n = 3). r = Coeficiente de correlación. R² = Coeficiente de regresión

Muestras: I = Ingapi. P = Pacto. Condiciones: N = Normal. A = Acelerada. E = Extrema

3.3 RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD, LA ACTIVIDAD DE AGUA Y EL COLOR

3.3.1 RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD Y LA ACTIVIDAD DE AGUA

Para estudiar la relación existente entre el contenido de humedad y la actividad de agua en la panela granulada almacenada a condiciones normales (26°C, 50%HR), aceleradas (32°C, 75%HR) y extremas (38°C, 100%HR). Para las muestras de Ingapi y Pacto, se graficó el porcentaje de humedad de cada muestra, frente a la correspondiente actividad de agua que presentaron las muestras durante los 90 días de almacenamiento.

Los resultados muestran la fuerte relación entre la a_w y el contenido de humedad. A medida que el porcentaje de humedad aumenta en las muestras de panela granulada, la actividad de agua aumenta.

El contenido de humedad de la panela granulada de Ingapi varió de 2,3 a 8,4% y la actividad de agua de 0,54 a 0,75. En la Figura 33 se observa una relación exponencial entre la a_w y el contenido de humedad de la panela granulada, con un estadístico $R^2 = 0,92$ para la panela de Ingapi. La mayoría de muestras presentan valores de actividad de agua entre 0,54 a 0,58.

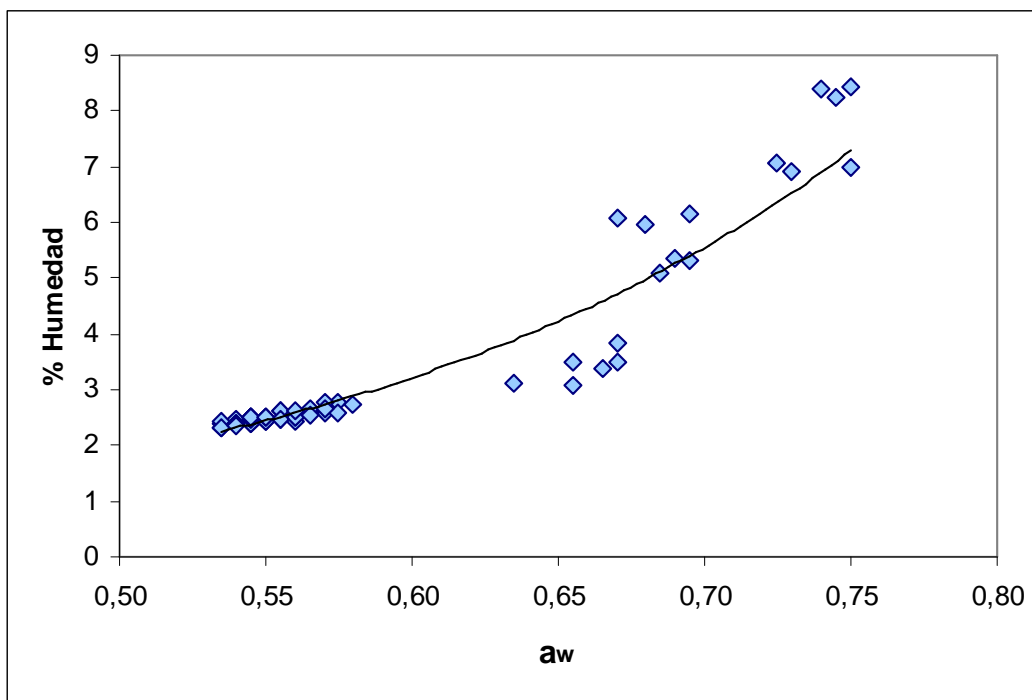


Figura 33. Contenido de humedad (%) de la panela granulada de Ingapi en función de su actividad de agua

El contenido de humedad de la panela granulada de Pacto varió de 2,0 a 5,6% y la actividad de agua de 0,60 a 0,76. La Figura 34 muestra que existe una relación exponencial entre la a_w y el contenido de humedad de la panela granulada de Pacto, con un estadístico $R^2 = 0,90$. La mayoría de muestras presentaron valores de actividad de agua entre 0,60 a 0,64.

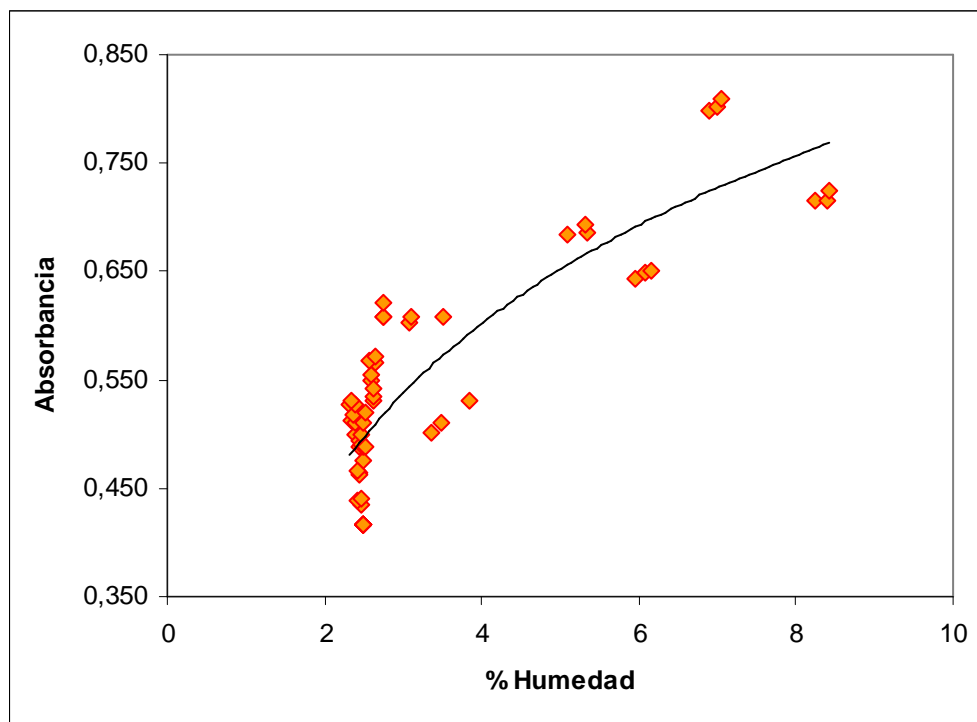
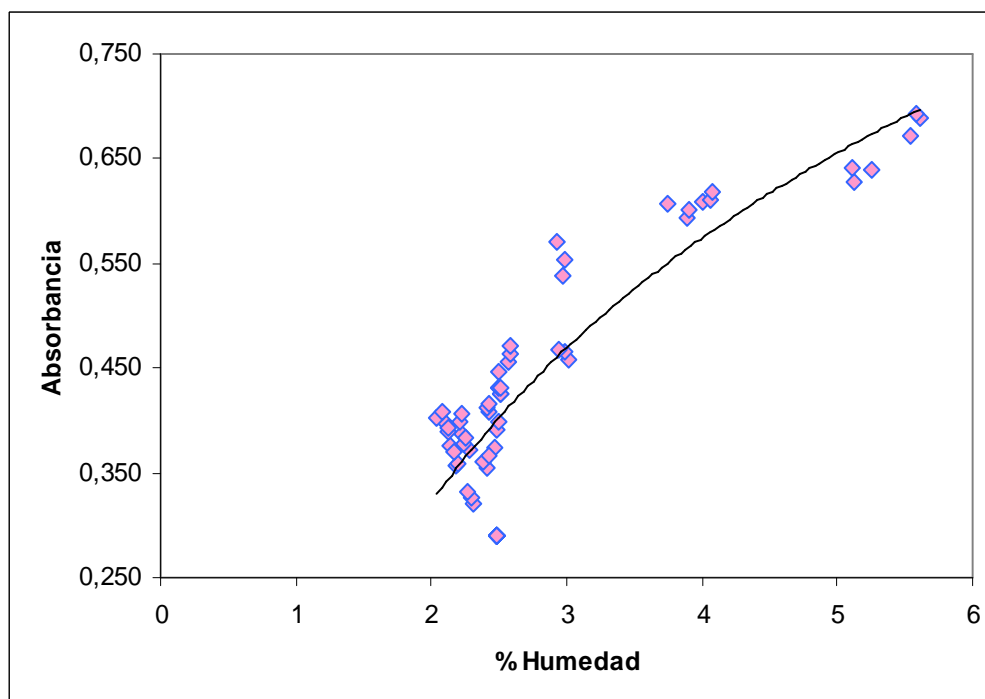


Figura 35. Absorbancia a 420 nm de la panela granulada de Ingapi en función de su contenido de humedad (%)



El contenido de humedad de la panela granulada de Pacto varió de 2,0 a 5,6% y la absorbancia de 0,290 a 0,693. En la Figura 37 se observó una relación logarítmica entre el contenido de humedad y la absorbancia a 420 nm de la panela granulada, con un estadístico $R^2 = 0,77$ para la panela de Pacto.

Los resultados indican que al incrementarse el contenido de humedad (%) en la panela granulada, los valores de absorbancia aumentan, obteniéndose un cambio en la coloración en las muestras que es evidente a los 90 días de almacenamiento.

3.4 CINÉTICA DE DETERIORO Y DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LA PANELA GRANULADA

Aplicando los principios fundamentales de la cinética química, los cambios en la calidad de los alimentos pueden ser expresados en función de los factores ambientales o de composición. La cinética de deterioro puede ser expresada mediante ecuaciones de relación. El factor ambiental, que afecta fuertemente a las constantes de velocidad de reacción, es la temperatura. Por esta razón se lo incluye en los modelos matemáticos (Casp y Abril, 2003, Taoukis *et al.*, 1997).

3.4.1 ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

El modelo de Arrhenius se utiliza para determinar la influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad de la reacción. Aunque se pueden presentar limitaciones, la ecuación de Arrhenius (ecuación [1.5]), puede ser usada como un modelo de degradación de los alimentos, para un rango de temperatura (Casp y Abril, 2003, Taoukis *et al.*, 1997).

Según el estudio realizado, se consideró que, el contenido de humedad, la actividad de agua y el cambio del color, son los parámetros más críticos para el caso de la panela granulada. Para aplicar el modelo de Arrhenius se identificaron las reacciones asociadas a estos parámetros.

Miranda, (2003) menciona que el contenido de humedad y la a_w , son parámetros que influyen en la evolución del color, porque el agua es uno de los reactivos que interviene en las reacciones de Maillard produciendo el pardeamiento del alimento. Por lo tanto, los parámetros críticos (cambio del color, contenido de humedad y a_w) se asociaron con la reacción de pardeamiento no enzimático (Lab-Ferrer, 2008b; Sensidoni *et al.*, 1999).

La absorción o pérdida de humedad causan cambios en las partículas durante el almacenamiento. El grado de compactación depende de la composición del alimento, del contenido de humedad, del tamaño de partícula y de la cantidad de fuerza aplicada sobre el producto (Barbosa *et al.*, 1997). Por esta razón, el contenido de humedad y la actividad de agua, se asoció con, la agregación y el cambio del tamaño de las partículas de la panela granulada.

El promedio de las constantes de variación de los parámetros críticos, se graficaron con relación a la temperatura absoluta, correspondiente a las condiciones normal (299K), acelerada (305K) y extrema (311K), para las muestras de panela granulada de Ingapi y Pacto, como se muestra en las Figuras 37, 38 y 39.

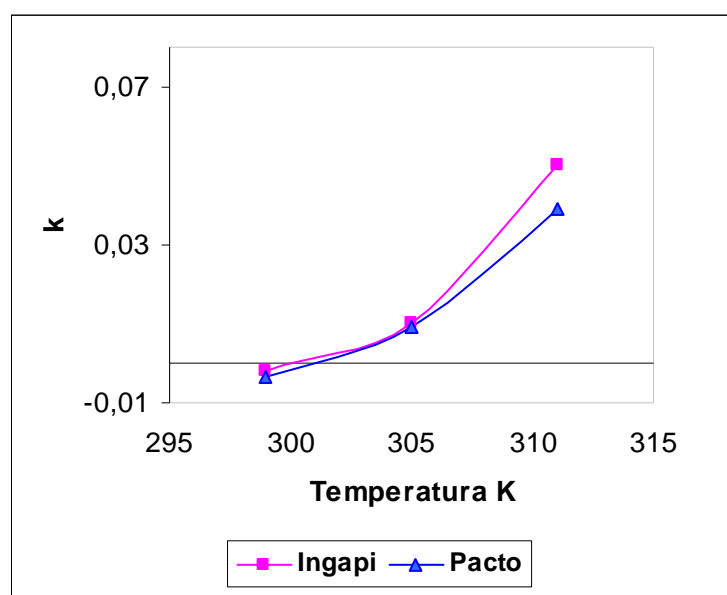


Figura 37. Constante de variación (k) del contenido de humedad vs. temperatura (K)

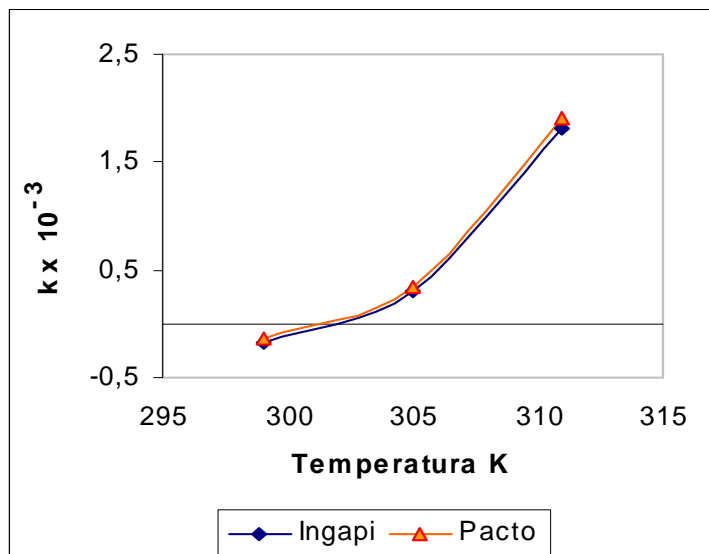


Figura 38. Constante de variación (k) de la actividad de agua vs. temperatura (K)

En las Figuras 37 y 38 se observa que la razón incremental de absorción de humedad y de actividad de agua, en la panela granulada, crece a medida que se incrementa la temperatura.

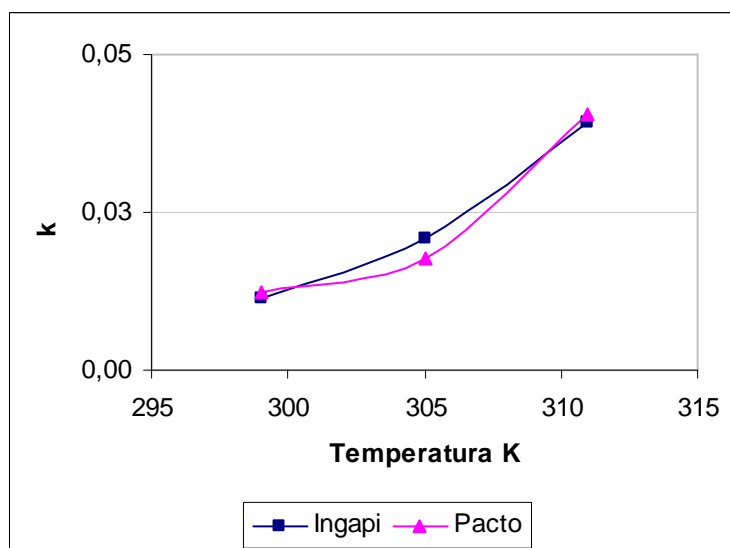


Figura 39. Constante de variación (k) del color vs. temperatura (K)

En la Figura 39 se observa que la constante de variación del color, en términos de absorbancia, crece a medida que la temperatura de almacenamiento se incrementa. Falguera *et al.*, (2007) en el estudio sobre el pardeamiento no

enzimático de zumo de mandarina muestra la dependencia de la absorbancia a 420 nm con la temperatura, siendo más rápida la variación a mayor temperatura.

La energía de activación (E_a) de los parámetros críticos fue obtenida con el software STATGRAPHICS Plus 5.1. Los niveles de energía requeridos para las reacciones de deterioro: pardeamiento no enzimático y aglomeración de las partículas de la panela granulada; causadas por la absorción de humedad, incremento de la actividad de agua y el cambio del color, se presentan en la Tabla 18. Los valores de 98,52 y 89,98 Kcal/mol corresponden al nivel de energía requerido para el deterioro de la panela granulada por absorción de humedad. Los valores de 44,53 y 44,30 Kcal/mol corresponden al parámetro a_w . La energía de activación requerida para el deterioro del color del producto fue de 18,92 y 18,00 Kcal/mol.

Tabla 18. Energía de activación de las constantes de variación: contenido de humedad, actividad de agua y color

| Variables | Energía de activación (kcal/mol) | | | |
|-----------|----------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| | Muestras* | Contenido de humedad | Actividad de agua | Color |
| Ingapi | | 98,52 ^a | 44,53 ^a | 18,92 ^a |
| Pacto | | 89,98 ^a | 44,30 ^a | 18,00 ^a |

* Promedio (n = 3). Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa

3.4.2 DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LA PANELA GRANULADA

Con el propósito de determinar la vida útil, se ha establecido los límites máximos de cada parámetro crítico que debe cumplir la panela granulada, para el consumo humano. Según la norma ecuatoriana NTE INEN 2332:2002, el porcentaje máximo de humedad permitido en la panela granulada es de 3%.

En las Figuras 33 y 34 se mostró la relación existente entre el contenido de humedad y la actividad de agua, de la panela granulada de Ingapi y Pacto, respectivamente. Según la relación de los dos parámetros, se podría decir que cuando la humedad es de 3%, el valor promedio de actividad de agua sería 0,62.

En las Figuras 35 y 36 se estableció la relación existente entre el contenido de humedad y la evolución del color, de la panela granulada de Ingapi y Pacto, respectivamente. Según la relación de estos dos parámetros, se podría decir que cuando la humedad es de 3%, el valor promedio permitido de absorbancia sería 0,510.

Para determinar el tiempo de vida útil de la panela granulada, se interpolaron las ecuaciones correspondientes a los tres parámetros críticos, utilizando los valores máximos permitidos. En la tabla 19 se muestran los resultados del tiempo promedio según cada condición de almacenamiento.

Tabla 19. Tiempo de vida útil de la panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| Condiciones | Tiempo (días) |
|--------------------------|----------------------|
| Normal (26°C y 50%HR) | 341 |
| Acelerada (32°C y 75%HR) | 161 |
| Extrema (38°C y 100%HR) | 13 |

Promedio (n = 3)

Cuando las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente, son bajas como en la condición normal, la panela granulada tiene un tiempo de vida útil aproximado de 11 meses. La duración aproximada del producto en condiciones de temperatura y humedad relativa iguales a 32°C y 75%HR, es de 5 meses. Y cuando la condición es extrema, el tiempo de duración es de 13 días; considerando que el contenido de humedad no debe ser mayor al 3%.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La panela granulada de Ingapi y Pacto, antes de ser sometida a diferentes condiciones de almacenamiento, mostró encontrarse dentro de lo permitido por la norma ecuatoriana INEN 2332:2002, para los parámetros de granulometría, porcentaje de humedad y recuento de mohos y levaduras.
- A los 90 días de almacenamiento, la panela granulada mostró mayor estabilidad a condiciones normales. El porcentaje de humedad y el recuento de unidades formadoras de colonias, no sobrepasaron el rango de tolerancia establecido en la norma ecuatoriana INEN 2332:2002. Por lo tanto, mantener la panela a estas condiciones, puede asegurar la conservación de sus características por más tiempo y así alargar la vida útil de la misma si se desea exportar al mercado norteamericano.
- La reacción de pardeamiento no enzimático está asociada a la absorción de humedad, incremento de la a_w y al cambio del color de la panela granulada. A los 90 días de almacenamiento, la panela mantenida en condiciones extremas presentó coloración muy oscura y apariencia visual desagradable.
- La panela granulada almacenada a condición extrema, al ser un producto higroscópico, presentó cambios en el tamaño y agregación de las partículas debido a la humedad absorbida.
- La vida útil de la panela granulada que estima la comercializadora Camari, es de 365 días, y al compararlo con el valor de 341 días, obtenido en el presente estudio, se concluye que el tiempo estimado es similar para condiciones normales y diferente de las condiciones aceleradas y extremas. Si se almacena la panela granulada en condiciones similares a las encontradas en

la Sierra ecuatoriana, el tiempo de vida útil es de aproximadamente un año. La duración se reduciría a 5 meses si el almacenamiento se lo hace en condiciones similares a la Costa ecuatoriana.

4.2 RECOMENDACIONES

- Verificar si el grado de madurez inicial de la caña de azúcar, que se va a procesar, tiene alguna influencia en la variación de la calidad del producto durante su conservación.
- Será interesante realizar un estudio para determinar los límites de temperatura y humedad relativa que se pueden permitir, para diferentes tipos de empaques disponibles y recomendados, con el propósito de optimizar las condiciones de almacenamiento y alargar el tiempo de vida útil de la panela granulada.
- Comprobar si utilizando tratamientos de secado, se puede disminuir el contenido de humedad de la panela granulada, cuando ésta sobrepase el límite de 3% recomendado por la norma ecuatoriana INEN 2332:2002.

BIBLIOGRAFÍA

1. 3M Petrifilm, 1994, "Guía de interpretación: Placa para recuento de mohos y levaduras", U.S.A.
2. ADE y PROIMBABURA, 2005, "Proyecto Aso. Panela y Afines. Potencializar cultivo de la caña de azúcar en sus derivados como edulcorantes orgánicos", Imbabura, Ecuador, <http://www.municipiodeibarra.org/imi/download/PROYECTO%20ASO.%20PANELA%20GRANULADA.pdf>, (Octubre, 2007).
3. Álvarez, F., 2004, "Panela en Estados Unidos", Corporación Colombiana Internacional, Bogotá, Colombia, <http://www.cci.org.co>, (Octubre, 2007).
4. AOAC, 1984, "Official Methods of Analysis", 13th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
5. Alzamora, S., 1997, "Preservación I", en: Aguilera, J. (ed.), Temas en Tecnología de alimentos, CYTED, 1, México D.F., México, pp. 45-88.
6. Barbosa, G., Vega, H. y Ortega, E., 1997, "Propiedades Físicas III" en: Aguilera, J. (ed.), Temas en Tecnología de alimentos, CYTED, 1, México D.F., México, pp. 289-337.
7. Casp, A. y Abril, J., 2003, "Procesos de conservación de alimentos", Colección Tecnología de Alimentos, 2da Edición, Mundi-Prensa AMV Ediciones, España, pp. 19-88.
8. CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia), 2008a, "Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia", http://www.cenicana.org/investigacion/variedades/sanidad_vegetal.php?option=1, (Mayo, 2008).

9. CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia), 2008b, "Plagas de la caña de azúcar en Colombia", http://www.cenicana.org/investigacion/variedades/sanidad_vegetal.php?option=2, (Mayo, 2008).
10. Chaplin, M., 2008, "Water structure and science: Water Activity", <http://www.lsbu.ac.uk/water/activity.html>, (Abril, 2008).
11. COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas), CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), MIFIC (Ministerio de Fomento, Industria y Comercio), SIC (Secretaría de Industria y Comercio), MEIC (Ministerio de Economía, Industria y Comercio), 2006, "Reglamento técnico centroamericano: Productos farmacéuticos. Estudios de estabilidad de medicamentos para uso humano, NTON19 002 - 05/RTCA 11.01.04:05", Nicaragua, <http://www.bvspublica.org.ni/doc/farmacia/estabilidad.pdf>, (Mayo, 2008)
12. Cole, D. F., and Bugbee, W. M., 1976, "Changes in resident bacteria, pH, sucrose, and invert sugar levels in sugarbeet roots during storage", *Applied and environmental microbiology*. American Society for Microbiology, 31 (5): 754-757, U.S.A.
13. Danisco Sugar, "Sweden Sugar Industry", <http://www.danisco.com>, (Octubre, 2007).
14. El Palmar, 2008, "Enfermedades de la caña", Venezuela, <http://www.elpalmar.com.ve/pages/canicultores.enfermedades.htm>, (Septiembre, 2008).
15. Falguera, V., Garza, S., Garvin, A., Ibarz A., 2007, "Pardeamiento no enzimático de zumo de mandarina clarificado y concentrado durante el almacenamiento". *Alimentos Ciencia e Ingeniería*, Tiempos de vida útil y

procesos de deterioro, Congreso Iberoamericano de Ingeniería en Alimentos, CIBIA VI, Ambato, Ecuador, pp. 245 – 247.

16. FAO, 2006, “Ficha técnica panela granulada”, <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/AE620s/Pprocesados/PDV2.HTM>, (Noviembre, 2007).
17. García, C. y Álvarez C., 1991, “Manual del azúcar de caña”, 2da Edición, Editorial Limusa, México, pp. 27-70, 106-117, 545-564, 775-890.
18. Gutiérrez, G., Flores, E., Pascual, L., Azuara, E., Chanona, J., Alamilla, L., 2007, “Construcción de micro y nano estructuras: Una posibilidad para conservación de alimentos”. Alimentos Ciencia e Ingeniería, Conferencias y Procesos, Congreso Iberoamericano de Ingeniería en Alimentos, CIBIA VI, Ambato, Ecuador, pp. 245 – 247.
19. Ibarz, A., Barbosa, G., Garza, S., Gimeno, V., 2000, “Métodos experimentales en la ingeniería alimentaria”, Editorial Acribia S.A., Zaragoza, España, pp. 225-232; 262-269
20. INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), 2002, “Norma NTE INEN 2332:2002. Panela Granulada. Requisitos”, 1era Edición, Quito, Ecuador, pp. 1-5.
21. Infoagro.com, 2002, “El cultivo de la caña de azúcar”, <http://www.abcagro.com/herbaceos/industriales/canaazucar.asp>, (Noviembre 2007).
22. Infojardin, 2007, “Caña de azúcar, Caña dulce, Cañaduz, Cañamiel”, <http://fichas.infojardin.com/hortalizas-verduras/cana-azucar-dulce-canaduz-canamiel.htm>, (Octubre, 2007).

23. Lab-Ferrer, “Fichas técnicas: Actividad de agua”, <http://www.lab-ferrer.com/documentacio/awgener.pdf>, (Abril, 2008a).
24. Lab-Ferrer, “Fichas técnicas: Pardeamiento no enzimático”, <http://www.lab-ferrer.com/documentacio/awymai11.pdf>, (Abril, 2008b).
25. Labuza T. and Bell, L., 2000, “Moisture sorption: Practical aspects of isotherm measurement and use”, 2nd Edition, U.S.A., pp. 12-20.
26. Lara, N. y Mejía, A., 2007, “Efecto de la temperatura sobre la vida útil de productos a base de grano reventado de amaranto”. Alimentos Ciencia e Ingeniería, Conferencias y Procesos, Congreso Iberoamericano de Ingeniería en Alimentos, CIBIA VI, Ambato, Ecuador, pp. 245 – 247.
27. Larre, I., Domínguez J., 2008, “Guía de alimentación”, San Sebastián, España <http://www.ikerlarre.e.telefonica.net/paginas/disminagua.htm>, (Abril, 2008).
28. Mandal, D., Mitra, S.R., De, G.C., 2007, “Effect of class II preservatives on keeping quality of semi-solid sugarcane-jaggery stored in edible-oil canister during rainy season”, Sugar Tech, 9 (2-3). 200.
29. Mathlouthi, M., 2001, “Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs”, Food Control, 12 (7). 409 – 417.
30. Mejía, A., 2003, “Evaluación del tiempo de vida útil y estabilidad de las propiedades de calidad de grano reventado de amaranto y sus dos productos”, Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
31. Mendoza, L., 2008, “Granulometría”, México, <http://www.prodigyweb.net.mx/luismenr/textos/Granulometria.pdf>, (Junio, 2008).

32. Miranda, G., 2003, "Influencia de la temperatura, el envase y la atmósfera en la conservación de uvas pasas y de albaricoques deshidratados", Tesis previa a la obtención del grado de Doctor en Ciencias Químicas, Universidad de Valencia, Valencia, España, pp. 32-222.
33. Mosquera, S., Carrera, J., Villada, H., 2007, "Variables que afectan la calidad de la panela procesada en el departamento del Cauca", 5 (1)., <http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol5/2Vol5.pdf>, (Octubre, 2007).
34. Narváez, H., 2002, "Diversificación de productos derivados de la caña panelera", Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Mocoa, Colombia, http://20061024_Diversificacion%20de%20productos%20derivados%.pdf, (Octubre, 2007).
35. Normas Mexicanas NMX-F-245-1983, "Alimentos: Método de prueba en azúcares e hidrolizados de almidón. PH", <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-245-1983.PDF>, (Noviembre, 2007).
36. Paz, P., 1992, "Tratamiento del jugo de caña para la elaboración de panela", Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Químico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 150 p.: il.
37. Perafán, F., 2005, "La caña de azúcar", Calí, Colombia, <http://www.perafan.com/ea02cana.html>, (Octubre 2007).
38. Ponce E., 2005, "Actividad de agua", México, http://docencia.izt.uam.mx/epa/quim_alim/material_adicional/Actividad%20de%20agua%20%20%20%20aw.pdf, (Enero, 2008).

39. Red Naturaleza, 2007, "Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)", [http://www.rednaturaleza.com/plantas_doc.asp?p=Ca%F1a%20de%20az%FAcar%20\(Saccharum%20officinarum\)\)](http://www.rednaturaleza.com/plantas_doc.asp?p=Ca%F1a%20de%20az%FAcar%20(Saccharum%20officinarum))), (Diciembre, 2007).
40. Salas, W., "Capitulo III: Deterioro e índice de deterioro", <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fwsalas/CAP-03..rtf>, (Abril, 2008).
41. Sandoval, G., 1996, "Manejo de jugos, Limpieza, Clarificación, Evaporación y Concentración", <http://infoagro.net/shared/docs/a5/gtecnol6.pdf>, (Enero 2008).
42. Sensidoni A, Peressini D, and Pollini C, 1999, "Study of the Maillard reaction in model systems under conditions related to the industrial process of pasta thermal VHT treatment", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79. 317-322.
43. SICA, "Ecuador: superficie de caña sembrada y cosechada, producción de caña y azúcar rendimientos de campo y fábrica", http://www.sica.gov.ec/cadenas/azucar/docs/historico_prod98.htm, (Noviembre, 2007).
44. Speigel, A., 1992, "Shelf life testing. In Plastic in food package, properties design and fabrication", New York, United States of America, pp. 358-396.
45. Taoukis, P., Labuza, T.P., Sagy, S., 1997, "Kinetics of food deterioration and shelf life prediction" in: Sagy, S., Rostein, K. (Eds.), *Food Engineering Handbook*. CRC Press Inc, Denver, Colorado, pp. 361-403.
46. Terranova, 1995, "Enciclopedia Agropecuaria Terranova: Ingeniería y Agroindustria", Bogotá, Colombia, pp. 238-244.

47. Turkmen, N., Sari, F., Poyrazoglu, E.S, and Velioglu, Y.S, 2006, "Effects of prolonged heating on antioxidant activity and colour of honey" *Food Chemistry*, (95). 653.
48. Uppal, SK., Sharma, S., Sidhu, GS., 2002, "Effect of storage temperatures on jaggery (gur) quality of different sugarcane varieties", *Journal of Food Science and Technology*, 39 (5). 549.
49. Uppal, SK., Thind, KS., Gill, RS, 2005, "Relative performance of sugarcane genotypes for jaggery (gur) quality and storage", *Sugar Tech*, 7 (4).136.
50. Vaclavik, V., 1998, "Fundamentos de ciencia de los alimentos", Editorial Acribia S.A., pp. 25.
51. Welti, J. y Vergara, F., 1997, "Actividad de agua" en: Aguilera, J. (ed.), *Temas en Tecnología de alimentos*, CYTED, 1, México D.F., México, pp. 11-43.

ANEXOS

ANEXO I

TAMAÑOS ESTÁNDARES DE APERTURA EN TAMICES

Tabla 1. Tamaños estándares de apertura en tamices

| Número del tamiz | Apertura estándar | Número del tamiz | Apertura estándar μm |
|------------------|-------------------|------------------|---------------------------------|
| 4 | 4,75 mm | 35 | 500 |
| 5 | 4,00 mm | 40 | 425 |
| 6 | 3,35 mm | 45 | 355 |
| 7 | 2,80 mm | 50 | 300 |
| 8 | 2,36 mm | 60 | 250 |
| 10 | 2,00 mm | 70 | 212 |
| 12 | 1,70 mm | 80 | 180 |
| 14 | 1,40 mm | 100 | 150 |
| 16 | 1,18 mm | 120 | 125 |
| 18 | 1,00 mm | 140 | 106 |
| 20 | 850 μm | 170 | 90 |
| 25 | 710 μm | 200 | 75 |
| 30 | 600 μm | 230 | 63 |

BARBOSA *et al.*, 1997

ANEXO II

CONDICIONES DE OPERACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL TEXTURÓMETRO TA-XT2I

1. COMPONENTES DEL TEXTURÓMETRO

1.1. PEDESTAL:

Es el componente más grande del equipo, en este se colocan las celdas de carga y los diferentes accesorios que se vayan a utilizar.

1.2. CELDAS DE CARGA:

Existen dos tipos de celda de 5 y 25 kg. Las celdas se cambian de acuerdo a las aplicaciones. Para cambiar las celdas hay que asegurarse que el pedestal esté libre de cualquier accesorio.

1.3. PESAS:

Hay de dos tipos de pesas: de 2 y 5 kg. Se utilizan para calibrar el equipo. La calibración se realiza con la pesa de menor valor que la celda.

1.4. ACCESORIOS:

Son intercambiables, de acuerdo al parámetro que se vaya a evaluar.

1.5. TECLADO:

Sirve para fijar algunos parámetros para la calibración y las lecturas.

1.6. CPU y Monitor:

Desde aquí se controla todo el trabajo y permite observar los datos y curvas obtenidas.

2. ENCENDIDO Y APAGADO DEL EQUIPO

Se debe encender primero el computador, luego el equipo y finalmente se ingresa al programa. Al iniciar el programa se introduce la contraseña.

Para apagar, primero se apaga el equipo, luego el software y finalmente el computador.

3. CAMBIO DE CELDA DE CARGA

Para el cambio de celda de carga se realizan los siguientes pasos:

1. Aflojar los tornillos de la celda y luego los tornillos de la parte superior, colocando siempre una mano en la parte inferior del pedestal para evitar que se caiga la celda.
2. Sacar todos los tornillos y la celda. La celda nueva tiene un tornillo guía que se saca luego de colocada la celda.
3. Colocar la celda nueva y ajustar todos los tornillos.

4. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

La calibración se necesita únicamente cuando se cambian las celdas de carga o cuando se cambia de lugar el equipo. La calibración se realiza desde el teclado y el computador.

TECLADO:

1. Girar la llave que se encuentra con dirección a la palabra RUN, hacia MACHINE CONFIGURE.
2. Para girar la llave se debe presionar un poco y luego se gira.

3. Presionar ENT hasta que en la pantalla del medio del teclado aparezca la palabra CELL, con las teclas + ó – llevar la celda correspondiente.
4. Regresar la llave a RUN.

EN EL PROGRAMA:

Ir a la barra TA → Calibración de Fuerza (Chequear parámetros) → Colocar la pesa de calibración que pida → Presionar OK.

Si la calibración se ha realizado correctamente debe aparecer una ventana que diga CALIBRACIÓN EXITOSA.

5. ENSAYO

5.1. FIJAR PARÁMETROS

Antes de iniciar el ensayo, se deben definir los parámetros con los que se va a trabajar. Los parámetros dependen del accesorio y la muestra a utilizar. Una vez ingresados los parámetros, estos sirven para futuros ensayos y no es necesario fijarlos cada vez que se desee trabajar.

Pasos para ingresar parámetros:

1. Ingresar a la barra ARCHIVO y seleccionar NUEVO PROYECTO. Aparece un cuadro donde se pone el título.
2. En la barra superior de la pantalla aparece un cuadro que dice TA. Seleccionar la opción Parámetros de TA.
3. Ingresar los parámetros correspondientes al ensayo en el cuadro que aparece.
4. Una vez seleccionados todos los parámetros se guardan. Siempre se debe guardar en c:/te_span, escoger la carpeta correspondiente a parámetros y poner el nombre del proyecto (nombre.set). Finalmente se acepta.

5. Antes de cerrar el cuadro de Parámetros de TA, dar clic en ACTUALIZAR, para transferir los datos al texturómetro.

No se debe trabajar con tildes ni mayúsculas.

Regresar al Proyecto donde se colocó el título y junto a Parámetros aparece un cuadro punteado (...), dar clic y escoger los parámetros.

Así como los parámetros se debe crear una macro, que es la que controla el gráfico.

Pasos para crear una macro:

1. En ARCHIVO seleccionar la opción nueva macro.
2. Seleccionar los comandos, agregando o quitando del programa con las flechas que aparecen en la mitad del cuadro (>> ó <<)
3. Poner título a la macro y guardar. (c:/te_span/macro/nombre.mac)
4. Regresar al proyecto y seleccionar la macro correspondiente.

Finalmente guardar el proyecto:

ARCHIVO → GUARDAR → c:/te_span/proyecto/nombre.prj.

Para iniciar el ensayo presionar REINICIO y aparece la pantalla de trabajo.

5.2. INICIAR ENSAYO

Antes de iniciar el ensayo hay que comprobar que el pedestal tenga el accesorio correspondiente, si no es así cambiarlo, cuidando siempre que esté bien sujeto.

Los accesorios se colocan en el segundo agujero de la parte inferior del pedestal.

Con el accesorio ya colocado hay que calibrar la sonda (distancia), los pasos para la calibración son:

1. Acercar lo máximo posible las placas o puntas del accesorio a la superficie donde va la muestra.
2. En la barra TA, seleccionar Calibrar Sonda.
3. Escoger la distancia y aceptar.

La calibración de la sonda se realiza sin muestra.

Se inicia con el ensayo:

TA → Ejecutar ensayo → Llenar la plantilla → OK



1. Seleccionar activar macro
2. Poner el valor correspondiente a PPS.
3. Escoger los datos de sonda, si no hay el accesorio con el que se va a trabajar, escribir el nombre y poner añadir.

Al terminar el ensayo se deben guardar los gráficos y los resultados. Para grabar los gráficos, cerrar el cuadro de los gráficos dando un clic en la X. Aparece un cuadro para guardar y poner sí a todo.

En el cuadro que aparece, se debe grabar los gráficos con los nombres respectivos dentro de la carpeta Gráficos en c:/te_span.

Para los resultados, entrar a la pantalla de resultados, ir a ARCHIVO, GUARDAR COMO y grabar dentro de la carpeta Resultados con el nombre correspondiente.

ANEXO III

MACRO DEL SOFTWARE TEXTURE EXPERT PARA EL ANÁLISIS DE COMPACTACIÓN

MACRO UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS DE COMPACTACIÓN DE LAS MUESTRAS DE PANELA GRANULADA UTILIZANDO EL CUCHILLO CRAFT

Mode: Measure force in compression

Option: Return to Start

Pre test speed: 1,5 mm/s

Test speed: 1 mm/s

Post test speed: 10 mm/s

Distance: 4 mm

Trigger Type: Auto – 15 g

Data Acquisition Rate: 200 pps

Clear Graph Results

Go to minimum time

Set Force Threshold: 15 g

Drop Anchor 1

Peak Force +

Mark Force

Mark Distance

% of Max + ve force: 100%

Mark Force

Go to Distance: 2mm

Drop Anchor: 2

Area

Go to Distance: 4mm

Drop Anchor: 3

Area

ANEXO IV

MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS PROXIMAL DE LA PANELA GRANULADA

4.1. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

4.1.1. Principio: Se basa en la diferencia de pesos entre la muestra fresca y la muestra luego del secado en la estufa. Esta diferencia corresponde a la humedad.

4.1.2. Materiales:

1. Recipiente metálico
2. Desecador
3. Estufa de aire (Mechanical Convection Oven 605 Treas)

4.1.3. Procedimiento:

1. Pesar aproximadamente 2 g de muestra perfectamente homogeneizada, en un recipiente seco y previamente tarado ($130 \pm 3^{\circ}\text{C}$).
2. Colocar en la estufa con ventilación por una hora a $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$.
3. Transferir el recipiente a un desecador. Una vez que alcanza la temperatura ambiente pesar.

4.1.4. Reporte de Resultados: Reportar como % de humedad por pérdida de peso.

Cálculos:

Para calcular el porcentaje de humedad se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \textit{Humedad} = \frac{W_i - W_f}{W_m} \times 100 \quad [4.1]$$

Donde:

W_i = Peso de recipiente + muestra

W_f = Peso de recipiente + muestra seca

W_m = Peso de muestra

4.2. DETERMINACIÓN DE CENIZAS

4.2.1. Principio: La materia orgánica es eliminada por incineración a 550°C y el residuo o parte mineral de la muestra se llama ceniza. Esta fracción representa la fracción inorgánica del alimento o muestra, la misma que contiene variedad de minerales.

4.2.2. Reactivos:

Solución sulfocrómica preparada con Ácido Sulfúrico y Dicromato de Potasio.

4.2.3. Equipo y Material:

1. Balanza analítica BOECO Germany
2. Crisoles de porcelana
3. Desecador
4. Espátula
5. Estufa Lab line Imperial V
6. Mufla Thermolyne Furnace 48000
7. Pinza metálica
8. Placa calentadora o reverbero

4.2.4. Preparación de crisoles:

Dejar los crisoles en solución sulfocrómica por 2 horas y enjuagar con agua destilada, secar a 105°C y llevar a la mufla a 550°C por 2 horas; retirar en desecador y enfriar.

4.2.5. Procedimiento:

- Pesar el crisol y agregar de 1,5 a 2,0 gramos de muestra.
- Precalcinar la muestra, hasta que no se desprenda humo, colocar la mufla a 600°C por 8 horas. Las cenizas obtenidas deben ser blancas y no deben

presentar adherencias a sus paredes. Colocar en el desecador, enfriar y pesar.

4.2.6. Cálculos:

Para calcular el porcentaje de cenizas se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = \frac{P_{cz} - P_c}{P_{cm} - P_c} \times 100 \quad [4.2]$$

Donde:

C = Porcentaje de cenizas

P_c = Peso del crisol

P_{cz} = Peso del crisol más ceniza

P_{cm} = Peso del crisol más muestra

4.3. DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO

4.3.1. Principio: El solvente utilizado se condensa continuamente, extrayendo materiales solubles al pasar a través de la muestra. El extracto se recoge en un balón que al completar el proceso se destila y se recoge en otro recipiente. El extracto que queda en el balón se seca y se pesa.

4.3.2. Equipos y Materiales:

1. Balanza analítica BOECO Germany
2. Estufa Lab line Imperial V
3. Equipo Soxhlet: Balón de destilación, vaso de reciclaje, refrigerante
4. Reverberos
5. Dedales de celulosa
6. Núcleos de ebullición
7. Desecador
8. Espátula
9. Pinza metálica
10. Algodón

4.3.3. Reactivos:

1. Hexano (grado técnico)
2. Sulfato de sodio anhidro p.a.

4.3.4. Procedimiento:

1. Lavar los balones y llevar a una estufa a 105°C por 2 horas, retirar los balones en un desecador, enfriar, pesar y añadir 200 ml de Hexano.
2. Pesar de 1 a 2 g de muestra, mezclar con 2 a 3 g de sulfato de sodio anhidro, colocar en un dedal limpio y tapar con algodón.

3. Depositar el dedal con la muestra en el equipo soxhlet, conectar el calentador y abrir el agua para el refrigerante; extraer la grasa por 7 horas, retirar el dedal con la muestra del vaso de reciclaje y recuperar el solvente.
4. Secar los balones con el residuo en una estufa a 105°C por 7 horas, retirar los balones de la estufa en un desecador, enfriar y pesar.

4.3.5. Cálculos:

Para calcular el porcentaje de extracto etéreo se utiliza la siguiente ecuación:

$$EE = \frac{Pbr - Pb}{Pm} \times 100 \quad [4.3]$$

Donde:

EE = Porcentaje de extracto etéreo

Pb = Peso del balón

Pbr = Peso del balón más residuo

Pm = Peso de la muestra

4.4. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA POR EL MÉTODO DE MICRO-KJELDAHL

4.4.1. Principio: El nitrógeno de las proteínas y otros compuestos se transforma en sulfato de amonio en el proceso de digestión con ácido sulfúrico en ebullición. El residuo se enfría, es diluido con agua y a este se le agrega hidróxido de sodio. El amonio presente se desprende y a la vez se destila y se recibe en una solución de ácido bórico, que luego se titula con ácido sulfúrico estandarizado.

4.4.2. Equipos:

1. Balanza analítica BOECO Germany
2. Matraces digestores de 30 ml
3. Digestor
4. Destilador
5. Matraces de 125 ml
6. Micro bureta de 5 ml

4.4.3. Reactivos:

1. Ácido sulfúrico concentrado (98%)
2. Mezcla de catalizadores: 99,0 g de K_2SO_4 ; 1 g de HgO y 0,8 g de $CuSO_4$ o pastillas de catalizador.
3. Solución de NaOH-tiosulfato de sodio. Disolver 50 g de NaOH y 5 g de $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ en agua destilada y diluir a 100 ml.
4. Solución de ácido bórico al 4%
5. Solución indicadora de rojo de metilo en verde de bromocresol (una solución etanólica de rojo de metilo al 0,2% con 5 partes de solución etanólica de verde de bromocresol al 0,2%)
6. Solución de HCl 0,02 N
7. Peróxido de hidrógeno al 30%

4.4.4. Procedimiento:

1. Pesar 30 a 40 mg de muestras en un matraz de digestión. Añadir 1,5 g de la mezcla catalizadora o una pastilla, 2 ml de ácido sulfúrico concentrado y 2 ml de peróxido de hidrógeno 30%.
2. Digerir durante 30 minutos, enfriar y añadir la mínima cantidad posible de agua destilada para disolver los sólidos formados. Dejar enfriar a temperatura ambiente.
3. Transferir el aparato de destilación, asegurándose que no quede nada en el matraz lavándolo de 5 a 6 veces con 1 a 2 ml de agua destilada.
4. Poner en un matraz de 125 ml con 6 ml de solución de ácido bórico y 3 gotas de solución indicadora debajo del condensador, cuya terminal deberá quedar dentro de la solución.
5. Añadir el aparato de destilación 8 ml de solución de hidróxido de sodio-sulfato de sodio, destilar hasta obtener 50 ml del destilado.
6. Titular con HCl hasta llegar al punto gris o la primera apariencia color violeta.
7. Efectuar la determinación de un blanco.
8. Calcular el % de nitrógeno.

4.4.5. Cálculos:

$$\% N = \frac{(ml \text{ HCl en muestra} - ml \text{ blanco}) \times N \text{ HCl} \times 14,007 \times 100}{mg \text{ de muestra}} \quad [4.4]$$

Al multiplicar el %N por el factor (6,25) se obtiene el porcentaje de proteína.

Donde:

%N = Porcentaje de nitrógeno

N = Normalidad

4.5. DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA

4.5.1. Principio: Una muestra libre de humedad (menos 20%) y grasa (menos 12%) se digiere primero con una solución ácida y luego con una solución alcalina; los residuos orgánicos restantes, se recogen en un crisol filtro. La pérdida de peso después de incinerar la muestra, se denomina fibra cruda.

4.5.2. Equipo y Material:

1. Balanza analítica BOECO Germany
2. Equipo para digestión
3. Estufa Lab line Imperial V
4. Mufla Thermolyne Furnace 48000
5. Equipo de filtración: Kitasato, trampa de agua
6. Vasos de 600 ml forma larga
7. Cisoles filtrante de porcelana
8. Lana de vidrio
9. Pipetas volumétricas

4.5.3. Reactivos:

1. Ácido sulfúrico al 7 por mil
2. Hidróxido de sodio al 22%
3. Antiespumante: Alcohol Isoamílico
4. Hexano

4.5.4. Procedimiento:

1. Pesar de 1 a 2 g de muestra en un vaso de 600 ml, añadir 200 ml de ácido sulfúrico al 7 por mil y 1 ml de alcohol isoamílico. Digerir por 30 minutos y agregar 20 ml de hidróxido de sodio al 22%, 1 ml de alcohol isoamílico y digerir por 30 minutos, disminuyendo la temperatura.

2. Recoger la fibra en crisoles filtrantes previamente lavados en cuya base se ha depositado una capa de lana de vidrio hasta la mitad del crisol aproximadamente. Se lava con agua desmineralizada caliente, con 100 ml de ácido sulfúrico al 7 por mil y 20 ml de Hexano, terminándose los lavados de la fibra con agua.
3. Secar en una estufa a 105°C. por 8 horas (preferible una noche), retirar en un desecador, enfriar y pesar. Calcinar en una mufla por 4 horas a 600°C, retirar en un desecador, enfriar y pesar.

4.5.5. Cálculos:

El porcentaje de fibra se calcula según la ecuación:

$$F_c = \frac{P_{cf} - P_{cc}}{P_m} \times 100 \quad [4.5]$$

Donde:

F_c = Porcentaje de fibra cruda

P_{cf} = Peso del crisol secado a 105°C

P_{cc} = Peso del crisol después de la incineración

P_m = Peso de la muestra

4.6. DETERMINACIÓN DE FRUCTO OLIGOSACÁRIDOS POR HPLC

4.6.1. Principio: Los azúcares son extraídos en una solución alcohólica al 80% y son separados al pasar por una columna CLC-NH₂, que corresponde a una columna polimérica que contiene grupos NH₂ unidos por enlaces covalentes, que separan los azúcares debido a los diferentes grupos OH que contienen. La fase móvil está compuesta de acetonitrilo agua.

4.6.2. Reactivos:

1. Acetonitrilo al 99,5% grado HPLC
2. Etanol 99,5% grado HPLC
3. Juego de estándares de azúcares (fructosa, glucosa, sacarosa, FOS)
4. Agua grado HPLC.

4.6.3. Materiales y Equipos:

1. Cromatógrafo HPLC Shimadzu
2. Detector de índice de refracción
3. Columna CLC-NH₂P
4. Balanza analítica BOECO Germany
5. Balones volumétricos
6. Viales para inyector
7. Tubos para centrifuga de 50 ml
8. Gradilla

4.6.4. Procedimiento:

1. Pesar 0,2 g de muestra seca en un tubo de centrifuga de 50 ml, añadir 20 ml de alcohol al 80%, agitar por 15 minutos y centrifugar. Separar la parte líquida en viales de 20 ml y guardar en refrigeración.
2. Pasar la muestra por un filtro de 45 µm al vial del inyector con una jeringa de 5 ml.

3. Preparar la curva estándar con una concentración 0,05, 0,1, 0,2, 0,4% de concentración de fructosa, glucosa y sacarosa.
4. Inyectar las soluciones y calibrar el equipo.
5. Correr las muestras.

4.6.5. Cálculos:

Interpolar los datos de la muestra en la curva estándar y calcular el porcentaje de azúcares utilizando la siguiente ecuación:

$$\%F = \frac{C \times D}{Pm} \quad [4.6]$$

%F= Porcentaje de azúcares

C = Concentración

D = Dilución

Pm = Peso muestra

ANEXO V

ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA TUKEY PARA GRANULOMETRÍA

Tabla 1. Porcentaje retenido de panela granulada según las condiciones de almacenamiento, tipo de muestra y tiempo de almacenamiento

| Variables independientes | 18 mesh (1mm) % | 30 mesh (0,6mm) % | 40 mesh (0,425mm) % | Fondo % |
|--------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| Condiciones de almacenamiento | | | | |
| Normal (26°C y 50% HR) | 6,32 ^a | 35,47 ^a | 36,67 ^a | 21,55 ^a |
| Acelerada (32°C y 75% HR) | 6,39 ^a | 31,63 ^b | 35,57 ^a | 26,41 ^b |
| Extrema (38°C y 100% HR) | * | * | * | * |
| Muestras | | | | |
| Ingapi | 6,45 ^a | 37,10 ^a | 37,65 ^a | 18,80 ^a |
| Pacto | 6,25 ^a | 29,99 ^b | 34,60 ^b | 29,16 ^b |
| Tiempo (días) | | | | |
| 0 | 5,60 ^a | 35,73 ^a | 32,63 ^a | 26,05 ^a |
| 90 | 7,10 ^b | 31,37 ^b | 39,62 ^b | 21,91 ^b |

Promedio (n=12). Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$). *No se realizó el análisis de granulometría debido a que las muestras presentaron alta humedad a los 90 días de almacenamiento.

Tabla 2. ANOVA para las muestras de panela granulada a los 0 y 90 días de almacenamiento a condición normal y acelerada

| TAMIZ MESH 18 | | | | | |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|---------------|
| FV | GL | SC | CM | Cociente F | p (5%) |
| Total | 23 | 2,28E+01 | | | |
| A: Condiciones de almacenamiento | 1 | 2,80E-02 | 2,80E-02 | 0,14 | 0,7133 |
| B: Tipo de muestra | 1 | 2,44E-01 | 2,44E-01 | 1,22 | 0,2860 |
| C: Tiempo | 1 | 1,35E+01 | 1,35E+01 | 67,4 | 0* |
| AxB | 1 | 7,78E-01 | 7,78E-01 | 3,88 | 0,0664 |
| AxC | 1 | 2,80E-02 | 2,80E-02 | 0,14 | 0,7133 |
| BxC | 1 | 4,22E+00 | 4,22E+00 | 21,05 | 0,0003* |
| AxBxC | 1 | 7,78E-01 | 7,78E-01 | 3,88 | 0,0664 |
| Error | 16 | 3,20E+00 | 2,00E-01 | | |
| TAMIZ MESH 30 | | | | | |
| FV | GL | SC | CM | Cociente F | p (5%) |
| Total | 23 | 1,00E+03 | | | |
| Condiciones de almacenamiento | 1 | 8,83E+01 | 8,83E+01 | 41,34 | 0* |
| Tipo de muestra | 1 | 3,04E+02 | 3,04E+02 | 142,14 | 0* |
| Tiempo | 1 | 1,14E+02 | 1,14E+02 | 53,39 | 0* |
| AxB | 1 | 7,54E+00 | 7,54E+00 | 3,53 | 0,0786 |
| AxC | 1 | 8,83E+01 | 8,83E+01 | 41,34 | 0* |
| BxC | 1 | 3,57E+02 | 3,57E+02 | 167,21 | 0* |
| AxBxC | 1 | 7,54E+00 | 7,54E+00 | 3,53 | 0,0786 |
| Error | 16 | 3,42E+01 | 2,14E+00 | | |

* Existe diferencia significativa para 95%. FV = Fuente de variación. GL = Grados de libertad. SC = Suma de cuadrados. CM = Cuadrado medio. Cociente F = Valor F calculado. p = Probabilidad al 95% de confianza.

Tabla 2. ANOVA para las muestras de panela granulada a los 0 y 90 días de almacenamiento a condición normal y acelerada. **Continuación...**

| TAMIZ MESH 40 | | | | | |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|---------------|
| FV | GL | SC | CM | Cociente F | p (5%) |
| Total | 23 | 6,42E+02 | | | |
| Condiciones de almacenamiento | 1 | 7,27E+00 | 7,27E+00 | 2,37 | 0,1436 |
| Tipo de muestra | 1 | 5,57E+01 | 5,57E+01 | 18,11 | 0,0006* |
| Tiempo | 1 | 2,93E+02 | 2,93E+02 | 95,39 | 0* |
| AxB | 1 | 1,10E+02 | 1,10E+02 | 35,88 | 0* |
| AxC | 1 | 7,27E+00 | 7,27E+00 | 2,37 | 0,1436 |
| BxC | 1 | 9,16E+00 | 9,16E+00 | 2,98 | 0,1035 |
| AxBxC | 1 | 1,10E+02 | 1,10E+02 | 35,88 | 0* |
| Error | 16 | 4,92E+01 | 3,07E+00 | | |
| NO RETENIDO | | | | | |
| FV | GL | SC | CM | Cociente F | p (5%) |
| Total | 23 | 1,39E+03 | | | |
| Condiciones de almacenamiento | 1 | 1,42E+02 | 1,42E+02 | 113,97 | 0* |
| Tipo de muestra | 1 | 6,43E+02 | 6,43E+02 | 515,63 | 0* |
| Tiempo | 1 | 1,02E+02 | 1,02E+02 | 82,09 | 0* |
| AxB | 1 | 7,47E+01 | 7,47E+01 | 59,87 | 0* |
| AxC | 1 | 1,42E+02 | 1,42E+02 | 113,97 | 0* |
| BxC | 1 | 1,91E+02 | 1,91E+02 | 153,06 | 0* |
| AxBxC | 1 | 7,47E+01 | 7,47E+01 | 59,87 | 0* |
| Error | 16 | 2,00E+01 | 1,25E+00 | | |

* Existe diferencia significativa para 95%. FV = Fuente de variación. GL = Grados de libertad. SC = Suma de cuadrados. CM = Cuadrado medio. Cociente F = Valor F calculado. p = Probabilidad al 95% de confianza.

ANEXO VI

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA GRANULOMETRÍA EN MUESTRAS DE AZÚCAR Y PANELA GRANULADA

Tabla 1. ANOVA para las muestras de azúcar y panela granulada al tiempo cero de almacenamiento

| FV | GL | SC | CM | Cociente F | p (5%) |
|----------------------|----|----------|---------|------------|---------|
| Tamiz Mesh 18 | | | | | |
| Total | 8 | 6,063 | | | |
| A: Tipo de muestra | 2 | 5,423 | 2,712 | 25,43 | 0,0012* |
| Error | 6 | 0,640 | 0,107 | | |
| Tamiz Mesh 30 | | | | | |
| Total | 8 | 1067,460 | | | |
| A: Tipo de muestra | 2 | 1050,230 | 525,113 | 182,82 | 0* |
| Error | 6 | 17,234 | 2,872 | | |
| Tamiz Mesh 40 | | | | | |
| Total | 8 | 61,889 | | | |
| A: Tipo de muestra | 2 | 52,836 | 26,418 | 17,51 | 0,0031* |
| Error | 6 | 9,053 | 1,509 | | |
| No Retenido | | | | | |
| Total | 8 | 710,492 | | | |
| A: Tipo de muestra | 2 | 698,092 | 349,046 | 168,9 | 0* |
| Error | 6 | 12,399 | 2,067 | | |

* Existe diferencia significativa para 95%. FV = Fuente de variación. GL = Grados de libertad. SC = Suma de cuadrados. CM = Cuadrado medio. Cociente F = Valor F calculado. p = Probabilidad al 95% de confianza.

ANEXO VII

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA COMPACTACIÓN

Tabla 1. ANOVA para las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| FV | GL | SC | CM | Cociente F | p (5%) |
|-------------------------------|----|----------|----------|------------|---------|
| Fuerza (g) | | | | | |
| Total | 35 | 3,14E+07 | | | |
| Condiciones de almacenamiento | 2 | 1,08E+07 | 5,38E+06 | 69,78 | 0* |
| Tipo de muestra | 1 | 2,24E+06 | 2,24E+06 | 29,03 | 0* |
| Tiempo | 1 | 4,58E+06 | 4,58E+06 | 59,45 | 0* |
| AxB | 2 | 5,04E+05 | 2,52E+05 | 3,27 | 0,0556 |
| AxC | 2 | 1,08E+07 | 5,38E+06 | 69,78 | 0* |
| BxC | 1 | 1,74E+05 | 1,74E+05 | 2,25 | 0,1465 |
| AxBxC | 2 | 5,04E+05 | 2,52E+05 | 3,27 | 0,0556 |
| Error | 24 | 1,85E+06 | 7,71E+04 | | |
| Energía (gs) | | | | | |
| Total | 35 | 6,28E+07 | | | |
| Condiciones de almacenamiento | 2 | 2,49E+07 | 1,24E+07 | 77,75 | 0* |
| Tipo de muestra | 1 | 1,96E+06 | 1,96E+06 | 12,27 | 0,0018* |
| Tiempo | 1 | 3,06E+06 | 3,06E+06 | 19,1 | 0,0002* |
| AxB | 2 | 2,00E+06 | 9,99E+05 | 6,24 | 0,0066* |
| AxC | 2 | 2,49E+07 | 1,24E+07 | 77,75 | 0* |
| BxC | 1 | 1,18E+05 | 1,18E+05 | 0,74 | 0,3994 |
| AxBxC | 2 | 2,00E+06 | 9,99E+05 | 6,24 | 0,0066* |
| Error | 24 | 3,84E+06 | 1,60E+05 | | |

* Existe diferencia significativa para 95%. FV = Fuente de variación. GL = Grados de libertad. SC = Suma de cuadrados. CM = Cuadrado medio. Cociente F = Valor F calculado. p = Probabilidad al 95% de confianza.

ANEXO VIII

PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LA PANELA GRANULADA

Tabla 1. Porcentaje de humedad de las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| Tiempo (días) | NI % | AI % | EI % | NP % | AP % | EP % |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0 | 2,50 ± 0,00 | 2,50 ± 0,00 | 2,50 ± 0,00 | 2,48 ± 0,00 | 2,48 ± 0,00 | 2,48 ± 0,00 |
| 15 | 2,44 ± 0,01 | 2,45 ± 0,02 | 3,56 ± 0,26 | 2,29 ± 0,02 | 2,41 ± 0,02 | 2,99 ± 0,04 |
| 30 | 2,48 ± 0,00 | 2,52 ± 0,01 | 3,24 ± 0,24 | 2,18 ± 0,01 | 2,48 ± 0,01 | 2,96 ± 0,03 |
| 45 | 2,45 ± 0,01 | 2,63 ± 0,00 | 6,07 ± 0,11 | 2,26 ± 0,02 | 2,42 ± 0,00 | 3,84 ± 0,09 |
| 60 | 2,39 ± 0,01 | 2,58 ± 0,01 | 5,25 ± 0,14 | 2,13 ± 0,01 | 2,51 ± 0,01 | 4,05 ± 0,04 |
| 75 | 2,41 ± 0,01 | 2,64 ± 0,01 | 8,35 ± 0,08 | 2,22 ± 0,01 | 2,50 ± 0,00 | 5,16 ± 0,09 |
| 90 | 2,33 ± 0,01 | 2,75 ± 0,01 | 6,99 ± 0,08 | 2,08 ± 0,03 | 2,58 ± 0,01 | 5,57 ± 0,04 |

Desviación estándar de 3 repeticiones. NI = Panela Ingapi a condición normal. AI = Panela Ingapi a condición acelerada. EI = Panela Ingapi a condición extrema. NP = Panela Pacto a condición normal. AP = Panela Pacto a condición acelerada. EP = Panela Pacto a condición extrema.

Tabla 2. Datos ajustados del porcentaje de humedad de las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| Tiempo | NI % | NP % | AI % | AP % | EI % | EP % |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 2,52 | 2,42 | 2,45 | 2,44 | 2,76 | 2,44 |
| 15 | 2,49 | 2,37 | 2,50 | 2,46 | 3,61 | 2,94 |
| 30 | 2,46 | 2,32 | 2,54 | 2,48 | 4,46 | 3,44 |
| 45 | 2,44 | 2,27 | 2,58 | 2,50 | 5,31 | 3,94 |
| 60 | 2,41 | 2,21 | 2,62 | 2,52 | 6,16 | 4,44 |
| 75 | 2,38 | 2,16 | 2,67 | 2,54 | 7,01 | 4,94 |
| 90 | 2,35 | 2,11 | 2,71 | 2,56 | 7,87 | 5,45 |

ANEXO IX

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA VARIABLE CONTENIDO DE HUMEDAD

Tabla 1. ANOVA de la constante de variación del contenido de humedad para las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| FV | GL | SC | CM | Cociente F | p (5%) |
|-------------------------------|----|-----------|-----------|------------|--------|
| Total | 17 | 1,001E-02 | | | |
| Condiciones de almacenamiento | 2 | 9,063E-03 | 4,532E-03 | 14374,64 | 0* |
| Tipo de muestra | 1 | 3,948E-04 | 3,948E-04 | 1252,24 | 0* |
| AxB | 2 | 5,511E-04 | 2,755E-04 | 873,99 | 0* |
| Error | 12 | 3,783E-06 | 3,153E-07 | | |

* Existe diferencia significativa para 95%. FV = Fuente de variación. GL = Grados de libertad. SC = Suma de cuadrados. CM = Cuadrado medio. Cociente F = Valor F calculado. p = Probabilidad al 95% de confianza.

Tabla 2. Variación del contenido de humedad por unidad de tiempo de las muestras de panela granulada, almacenadas en condiciones normales, aceleradas y extremas

| Variables independientes | Razón incremental %Humedad por día |
|--|------------------------------------|
| Condiciones de almacenamiento** | |
| Normal (26°C y 50% HR) | -0,0027 ^a |
| Acelerada (32°C y 75% HR) | 0,0021 ^b |
| Extrema (38°C y 100% HR) | 0,0472 ^c |
| Muestras* | |
| Ingapi | 0,0202 ^a |
| Pacto | 0,0109 ^b |

* Promedio (n=6). ** Promedio (n=9).

Letras diferentes indican diferencia significativa (p<0,05)

ANEXO X

ACTIVIDAD DE AGUA DE LA PANELA GRANULADA

Tabla 1. Actividad de agua de las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| Tiempo (días) | NI | AI | EI | NP | AP | EP |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0 | 0,55 ± 0,00 | 0,55 ± 0,00 | 0,55 ± 0,00 | 0,61 ± 0,00 | 0,61 ± 0,00 | 0,61 ± 0,00 |
| 15 | 0,55 ± 0,01 | 0,55 ± 0,01 | 0,67 ± 0,00 | 0,62 ± 0,01 | 0,61 ± 0,00 | 0,63 ± 0,01 |
| 30 | 0,55 ± 0,01 | 0,56 ± 0,00 | 0,65 ± 0,01 | 0,61 ± 0,00 | 0,60 ± 0,00 | 0,64 ± 0,01 |
| 45 | 0,55 ± 0,01 | 0,56 ± 0,00 | 0,68 ± 0,01 | 0,61 ± 0,00 | 0,62 ± 0,00 | 0,70 ± 0,02 |
| 60 | 0,54 ± 0,00 | 0,57 ± 0,01 | 0,69 ± 0,00 | 0,61 ± 0,00 | 0,63 ± 0,00 | 0,74 ± 0,00 |
| 75 | 0,54 ± 0,00 | 0,57 ± 0,00 | 0,75 ± 0,01 | 0,60 ± 0,00 | 0,64 ± 0,00 | 0,74 ± 0,01 |
| 90 | 0,54 ± 0,00 | 0,58 ± 0,01 | 0,74 ± 0,01 | 0,60 ± 0,00 | 0,63 ± 0,00 | 0,76 ± 0,01 |

Desviación estándar de 3 repeticiones. NI = Panela Ingapi a condición normal. AI = Panela Ingapi a condición acelerada. EI = Panela Ingapi a condición extrema. NP = Panela Pacto a condición normal. AP = Panela Pacto a condición acelerada. EP = Panela Pacto a condición extrema.

Tabla 2. Datos ajustados de actividad de agua de las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| Tiempo | NI | NP | AI | AP | EI | EP |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,55 | 0,62 | 0,55 | 0,61 | 0,59 | 0,61 |
| 15 | 0,55 | 0,61 | 0,55 | 0,62 | 0,62 | 0,63 |
| 30 | 0,55 | 0,61 | 0,56 | 0,62 | 0,65 | 0,66 |
| 45 | 0,55 | 0,61 | 0,56 | 0,62 | 0,67 | 0,69 |
| 60 | 0,54 | 0,61 | 0,57 | 0,63 | 0,70 | 0,72 |
| 75 | 0,54 | 0,61 | 0,57 | 0,63 | 0,73 | 0,74 |
| 90 | 0,54 | 0,60 | 0,58 | 0,64 | 0,76 | 0,77 |

ANEXO XI

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA VARIABLE a_w

Tabla 1. ANOVA de la constante de variación de la actividad de agua para las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| FV | GL | SC | CM | Cociente F | p (5%) |
|-------------------------------|----|-----------|-----------|------------|--------|
| Total | 17 | 1,270E-05 | | | |
| Condiciones de almacenamiento | 2 | 1,262E-05 | 6,310E-06 | 1027,99 | 0* |
| Tipo de muestra | 1 | 3,931E-10 | 3,931E-10 | 0,06 | 0,8045 |
| AxB | 2 | 7,278E-10 | 3,639E-10 | 0,06 | 0,9427 |
| Error | 12 | 7,366E-08 | 6,138E-09 | | |

* Existe diferencia significativa para 95%. FV = Fuente de variación. GL = Grados de libertad. SC = Suma de cuadrados. CM = Cuadrado medio. Cociente F = Valor F calculado. p = Probabilidad al 95% de confianza.

Tabla 2. Variación de actividad de agua por unidad de tiempo de las muestras de panela granulada almacenada en condiciones normales, aceleradas y extremas

| Variables independientes | Razón incremental a_w por día |
|--|---------------------------------|
| Condiciones de almacenamiento** | |
| Normal (26°C y 50% HR) | -0,00016 ^a |
| Acelerada (32°C y 75% HR) | 0,00030 ^b |
| Extrema (38°C y 100% HR) | 0,00180 ^c |
| Muestras* | |
| Ingapi | 0,00065 ^a |
| Pacto | 0,00064 ^a |

* Promedio (n = 6). ** Promedio (n = 9).

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$)

ANEXO XII

RECUESTO DE MOHOS Y LEVADURAS DE LA PANELA GRANULADA

Tabla 1. Recuento de mohos y levaduras para las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| Tiempo (días) | NI UFC/g | AI UFC/g | EI UFC/g |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0 | $< 1 \pm 0,00$ | $< 1 \pm 0,00$ | $< 1 \pm 0,00$ |
| 15 | $< 1 \pm 0,00$ | $< 1 \pm 0,00$ | $< 1 \pm 0,00$ |
| 30 | $< 1 \pm 0,00$ | $< 1 \pm 0,00$ | $5,0 \pm 0,00$ |
| 45 | $< 1 \pm 0,00$ | $< 1 \pm 0,00$ | $12 \pm 2,89$ |
| 60 | $6,4 \pm 0,00$ | $12 \pm 2,89$ | $22 \pm 2,89$ |
| 75 | $13 \pm 2,89$ | $20 \pm 5,00$ | $27 \pm 2,89$ |
| 90 | $18 \pm 2,89$ | $27 \pm 2,89$ | $27 \pm 2,89$ |
| Tiempo (días) | NP UFC/g | AP UFC/g | EP UFC/g |
| 0 | $< 1 \pm 0,00$ | $< 1 \pm 0,00$ | $< 1 \pm 0,00$ |
| 15 | $< 1 \pm 0,00$ | $< 1 \pm 0,00$ | $< 1 \pm 0,00$ |
| 30 | $< 1 \pm 0,00$ | $< 1 \pm 0,00$ | $1,7 \pm 0,00$ |
| 45 | $< 1 \pm 0,00$ | $6,7 \pm 2,89$ | $6,7 \pm 2,89$ |
| 60 | $6,7 \pm 2,89$ | $12,0 \pm 2,89$ | $17,0 \pm 2,89$ |
| 75 | $12,0 \pm 2,89$ | $17,0 \pm 2,89$ | $22,0 \pm 2,89$ |
| 90 | $17,0 \pm 2,89$ | $22,0 \pm 2,89$ | $22,0 \pm 2,89$ |

Desviación estándar de 3 repeticiones. NI = Panela Ingapi a condición normal. AI = Panela Ingapi a condición acelerada. EI = Panela Ingapi a condición extrema. NP = Panela Pacto a condición normal. AP = Panela Pacto a condición acelerada. EP = Panela Pacto a condición extrema.

Tabla 2. Datos ajustados del recuento de mohos y levaduras para las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| Tiempo | NI UFC/g | NP UFC/g | AI UFC/g | AP UFC/g | EI UFC/g | EP UFC/g |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| 15 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| 30 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 8,57 | 5,82 |
| 45 | < 1 | < 1 | 8,24 | 7,13 | 15,30 | 11,40 |
| 60 | 6,41 | 6,72 | 15,00 | 12,70 | 20,10 | 15,40 |
| 75 | 12,50 | 12,00 | 20,20 | 17,00 | 23,80 | 18,50 |
| 90 | 17,50 | 16,40 | 24,40 | 20,60 | 26,80 | 21,00 |

ANEXO XIII

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA VARIABLE RECuento DE MOHOS Y LEVADURAS

Tabla 1. ANOVA de la constante de variación del recuento de mohos y levaduras para las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| FV | GL | SC | CM | Cociente F | p (5%) |
|-------------------------------|----|-----------|-----------|------------|---------|
| Total | 17 | 5,448E+02 | | | |
| Condiciones de almacenamiento | 2 | 3,821E+02 | 1,910E+02 | 27,45 | 0* |
| Tipo de muestra | 1 | 7,425E+01 | 7,425E+01 | 10,67 | 0,0068* |
| AxB | 2 | 4,957E+00 | 2,478E+00 | 0,36 | 0,7076 |
| Error | 12 | 8,353E+01 | 6,961E+00 | | |

* Existe diferencia significativa para 95%. FV = Fuente de variación. GL = Grados de libertad. SC = Suma de cuadrados. CM = Cuadrado medio. Cociente F = Valor F calculado. p = Probabilidad al 95% de confianza.

Tabla 2. Variación de UFC/g por unidad de tiempo de las muestras de panela granulada, almacenadas en condiciones normales, aceleradas y extremas

| Variables independientes | Razón incremental UFC/g por día |
|--|---------------------------------|
| Condiciones de almacenamiento** | |
| Normal (26°C y 50% HR) | 26,494 ^a |
| Acelerada (32°C y 75% HR) | 21,375 ^b |
| Extrema (38°C y 100% HR) | 15,224 ^c |
| Muestras* | |
| Ingapi | 23,062 ^a |
| Pacto | 19,000 ^b |

* Promedio (n = 6). ** Promedio (n = 9).

Letras diferentes indican diferencia significativa (p<0,05)

ANEXO XIV

pH DE LA PANELA GRANULADA

Tabla 1. pH de las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| Tiempo (días) | NI | AI | EI | NP | AP | EP |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0 | 5,98 ± 0,01 | 5,98 ± 0,01 | 5,98 ± 0,01 | 6,09 ± 0,00 | 6,09 ± 0,00 | 6,09 ± 0,00 |
| 15 | 6,05 ± 0,01 | 6,02 ± 0,02 | 6,00 ± 0,01 | 6,15 ± 0,01 | 6,05 ± 0,01 | 5,96 ± 0,02 |
| 30 | 6,02 ± 0,01 | 5,99 ± 0,01 | 5,93 ± 0,01 | 6,08 ± 0,01 | 6,03 ± 0,01 | 5,93 ± 0,01 |
| 45 | 5,98 ± 0,01 | 5,94 ± 0,01 | 5,87 ± 0,01 | 5,97 ± 0,01 | 5,98 ± 0,02 | 5,88 ± 0,02 |
| 60 | 5,97 ± 0,00 | 5,99 ± 0,01 | 5,90 ± 0,02 | 6,04 ± 0,02 | 6,02 ± 0,00 | 5,94 ± 0,01 |
| 75 | 5,91 ± 0,00 | 5,88 ± 0,01 | 5,80 ± 0,02 | 6,03 ± 0,01 | 5,98 ± 0,01 | 5,76 ± 0,03 |
| 90 | 5,87 ± 0,03 | 5,78 ± 0,01 | 5,65 ± 0,05 | 5,85 ± 0,01 | 5,81 ± 0,01 | 5,55 ± 0,09 |

Desviación estándar de 3 repeticiones. NI = Panela Ingapi a condición normal. AI = Panela Ingapi a condición acelerada. EI = Panela Ingapi a condición extrema. NP = Panela Pacto a condición normal. AP = Panela Pacto a condición acelerada. EP = Panela Pacto a condición extrema.

Tabla 2. Datos ajustados del pH de las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| Tiempo | NI | NP | AI | AP | EI | EP |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 6,04 | 6,14 | 6,03 | 6,10 | 6,03 | 6,09 |
| 15 | 6,02 | 6,10 | 6,00 | 6,07 | 5,98 | 6,02 |
| 30 | 5,99 | 6,07 | 5,97 | 6,03 | 5,93 | 5,94 |
| 45 | 5,97 | 6,03 | 5,94 | 5,99 | 5,88 | 5,87 |
| 60 | 5,95 | 5,99 | 5,91 | 5,96 | 5,83 | 5,80 |
| 75 | 5,92 | 5,96 | 5,88 | 5,92 | 5,77 | 5,73 |
| 90 | 5,90 | 5,92 | 5,85 | 5,89 | 5,72 | 5,66 |

ANEXO XV

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA VARIABLE PH

Tabla 1. ANOVA de la constante de variación del pH para las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| FV | GL | SC | CM | Cociente F | p (5%) |
|-------------------------------|----|-----------|-----------|------------|---------|
| Total | 17 | 2,565E-08 | | | |
| Condiciones de almacenamiento | 2 | 1,782E-08 | 8,909E-09 | 56,05 | 0* |
| Tipo de muestra | 1 | 4,245E-09 | 4,245E-09 | 26,71 | 0,0002* |
| AxB | 2 | 1,682E-09 | 8,408E-10 | 5,29 | 0,0225* |
| Error | 12 | 1,907E-09 | 1,589E-10 | | |

* Existe diferencia significativa para 95%. FV = Fuente de variación. GL = Grados de libertad. SC = Suma de cuadrados. CM = Cuadrado medio. Cociente F = Valor F calculado. p = Probabilidad al 95% de confianza.

Tabla 2. Variación del pH por unidad de tiempo de las muestras de panela granulada, almacenadas en condiciones normales, aceleradas y extremas

| VARIABLES INDEPENDIENTES | VARIACIÓN pH POR DÍA |
|--|-----------------------|
| Condiciones de almacenamiento** | |
| Normal (26°C y 50% HR) | 0,000055 ^a |
| Acelerada (32°C y 75% HR) | 0,000065 ^a |
| Extrema (38°C y 100% HR) | 0,000126 ^b |
| Muestras* | |
| Ingapi | 0,000067 ^a |
| Pacto | 0,000097 ^b |

* Promedio (n=6). ** Promedio (n=9).

Letras diferentes indican diferencia significativa (p<0,05)

ANEXO XVI

ABSORBANCIA a 420 nm DE LA PANELA GRANULADA EN SOLUCIÓN A 4 °BRIX

Tabla 1. Absorbancia a 420 nm de las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| Tiempo (días) | NI | AI | EI |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| 0 | 0,416 ± 0,001 | 0,416 ± 0,001 | 0,416 ± 0,001 |
| 15 | 0,465 ± 0,002 | 0,438 ± 0,003 | 0,514 ± 0,014 |
| 30 | 0,485 ± 0,009 | 0,506 ± 0,017 | 0,606 ± 0,004 |
| 45 | 0,494 ± 0,005 | 0,535 ± 0,006 | 0,648 ± 0,004 |
| 60 | 0,509 ± 0,010 | 0,557 ± 0,009 | 0,688 ± 0,005 |
| 75 | 0,520 ± 0,009 | 0,568 ± 0,003 | 0,719 ± 0,006 |
| 90 | 0,523 ± 0,010 | 0,612 ± 0,008 | 0,803 ± 0,006 |
| Tiempo (días) | NP | AP | EP |
| 0 | 0,291 ± 0,001 | 0,291 ± 0,001 | 0,291 ± 0,001 |
| 15 | 0,327 ± 0,006 | 0,361 ± 0,006 | 0,463 ± 0,005 |
| 30 | 0,362 ± 0,008 | 0,389 ± 0,013 | 0,554 ± 0,016 |
| 45 | 0,378 ± 0,006 | 0,412 ± 0,004 | 0,601 ± 0,007 |
| 60 | 0,387 ± 0,009 | 0,428 ± 0,003 | 0,612 ± 0,005 |
| 75 | 0,397 ± 0,009 | 0,436 ± 0,008 | 0,636 ± 0,008 |
| 90 | 0,403 ± 0,006 | 0,464 ± 0,008 | 0,685 ± 0,011 |

Desviación estándar de 3 repeticiones. NI = Panela Ingapi a condición normal. AI = Panela Ingapi a condición acelerada. EI = Panela Ingapi a condición extrema. NP = Panela Pacto a condición normal. AP = Panela Pacto a condición acelerada. EP = Panela Pacto a condición extrema.

Tabla 2. Datos ajustados de Absorbancia a 420 nm de las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| Tiempo | NI | NP | AI | AP | EI | EP |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0 | 0,419 | 0,289 | 0,394 | 0,292 | 0,392 | 0,306 |
| 15 | 0,463 | 0,337 | 0,475 | 0,360 | 0,544 | 0,463 |
| 30 | 0,482 | 0,357 | 0,508 | 0,388 | 0,607 | 0,528 |
| 45 | 0,496 | 0,372 | 0,534 | 0,410 | 0,656 | 0,578 |
| 60 | 0,508 | 0,385 | 0,556 | 0,428 | 0,697 | 0,620 |
| 75 | 0,518 | 0,397 | 0,575 | 0,444 | 0,732 | 0,657 |
| 90 | 0,528 | 0,407 | 0,592 | 0,459 | 0,765 | 0,691 |

ANEXO XVII

**EVOLUCIÓN DEL COLOR DE LA PANELA GRANULA DE INGAPI
Y PACTO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO A
CONDICIONES NORMALES ACELERADAS Y EXTREMAS**

Figura 1. Panela de Ingapi a condición normal (26°C y 50%HR)

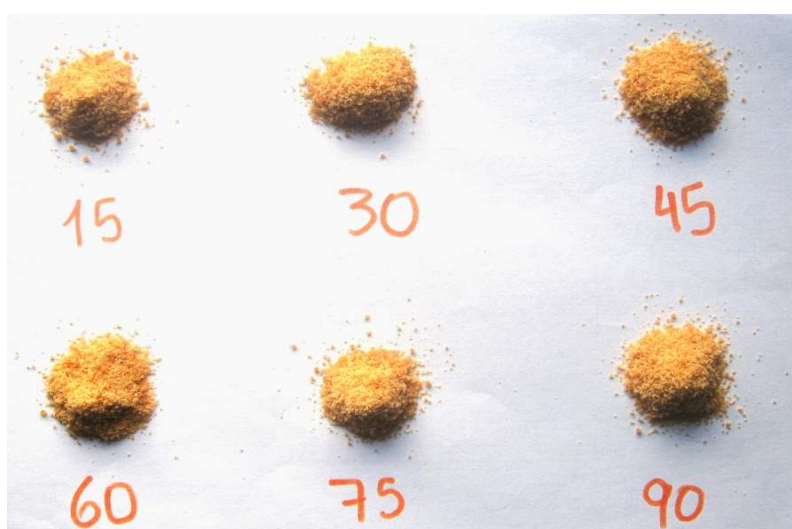


Figura 2. Panela de Pacto a condición normal (26°C y 50%HR)



Figura 3. Panela de Ingapi a condición acelerada (32°C y 75%HR)

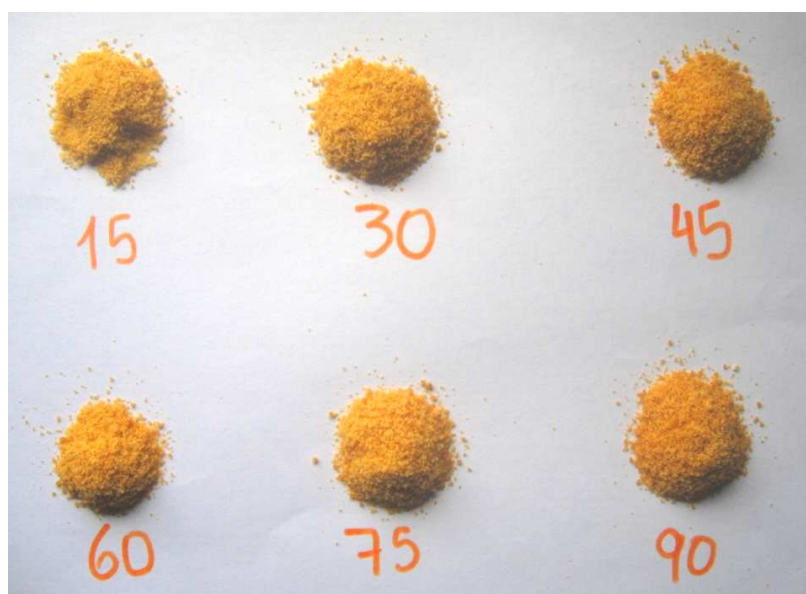


Figura 4. Panela de Pacto a condición acelerada (32°C y 75%HR)



Figura 5. Panela de Ingapi a condición extrema (38°C y 100%HR)

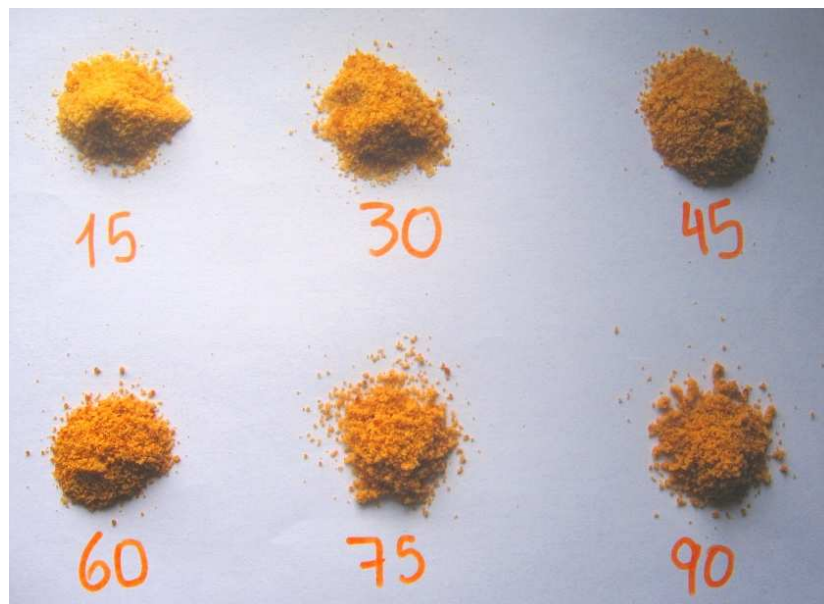


Figura 6. Panela de Pacto a condición extrema (38°C y 100%HR)

ANEXO XVIII

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA VARIABLE COLOR

Tabla 1. ANOVA de la constante de variación del color para las muestras de panela granulada a condición normal, acelerada y extrema

| FV | GL | SC | CM | Cociente F | p (5%) |
|-------------------------------|----|-----------|-----------|------------|---------|
| Total | 17 | 2,543E-03 | | | |
| Condiciones de almacenamiento | 2 | 2,517E-03 | 1,258E-03 | 2401,72 | 0* |
| Tipo de muestra | 1 | 2,992E-07 | 2,992E-07 | 0,57 | 0,4644 |
| AxB | 2 | 1,955E-05 | 9,775E-06 | 18,66 | 0,0002* |
| Error | 12 | 6,287E-06 | 5,239E-07 | | |

* Existe diferencia significativa para 95%. FV = Fuente de variación. GL = Grados de libertad. SC = Suma de cuadrados. CM = Cuadrado medio. Cociente F = Valor F calculado. p = Probabilidad al 95% de confianza.

Tabla 2. Variación de la absorbancia por unidad de tiempo de las muestras de panela granulada almacenada en condiciones normales, aceleradas y extremas

| Variables independientes | Razón incremental Absorbancia por día |
|--|---------------------------------------|
| Condiciones de almacenamiento** | |
| Normal (26°C y 50% HR) | 0,012 ^a |
| Acelerada (32°C y 75% HR) | 0,019 ^b |
| Extrema (38°C y 100% HR) | 0,040 ^c |
| Muestras* | |
| Ingapi | 0,024 ^a |
| Pacto | 0,024 ^a |

* Promedio (n=6). ** Promedio (n=9).

Letras diferentes indican diferencia significativa (p<0,05)