



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
E INGENIERÍA BIOQUÍMICA

TEMA:

**“DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES
INDICADORES EN EL TIEMPO DE VIDA DE
ANAQUEL DE PANELA GRANULADA DE LAS
UNIDADES PRODUCTIVAS INGAPI Y EL PARAÍSO
CON FINES DE EXPORTACIÓN AL MERCADO
NORTEAMERICANO”**

Trabajo de graduación, modalidad Sistema Tutorial, presentado como requisito previo a la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

LILIANA PATRICIA ACURIO ARCOS

Ambato – Ecuador

Junio / 2010

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema:

“DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES INDICADORES EN EL TIEMPO DE VIDA DE ANAQUEL DE PANELA GRANULADA DE LAS UNIDADES PRODUCTIVAS INGAPI Y EL PARAÍSO CON FINES DE EXPORTACIÓN AL MERCADO NORTEAMERICANO”, por Liliana Patricia Acurio Arcos, egresada de la Carrera de Ingeniería en Alimentos, de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos e Ingeniería Bioquímica, Universidad Técnica de Ambato, certifico que el trabajo fue realizado por la persona indicada y considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Directivo designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Ambato, Junio del 2010

EL TUTOR

.....

Ing. Juan de Dios Alvarado M. Sc.

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación: “DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES INDICADORES EN EL TIEMPO DE VIDA DE ANAQUEL DE PANELA GRANULADA DE LAS UNIDADES PRODUCTIVAS INGAPI Y EL PARAÍSO CON FINES DE EXPORTACIÓN AL MERCADO NORTEAMERICANO”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad de la autora.

Ambato, Junio del 2010

.....

Liliana Patricia Acurio Arcos

CI: 180406708-8

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS E INGENIERÍA
BIOQUÍMICA**

Los miembros del tribunal de grado aprueban el presente trabajo de graduación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Junio del 2010

Para constancia firman:

.....
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dios es el principal testigo de mí caminar, soy su hija y él me ha demostrado su amor brindándome fortaleza y ángeles de luz que guían mi camino.

Se me es digno dedicar con mucho cariño a mis padres: Victoria y Patricio, por darme el regalo más grande, la vida; y por enseñarme que los sueños se hacen realidad, pero que para ello es necesario luchar.

Además a quienes con mucho, sacrificio, esfuerzo, comprensión y abnegación supieron apoyarme en la obtención de éste mi título anhelado: a mi hermana Andrea, por ser mi segunda madre y su esposo Freddy; a mi hermano Andrés por ser la alegría en cada momento de mi existencia; a mis sobrinas Michelle, Margarita y Valentina por su ternura, carisma e inocencia; a mis tías: Mónica, Pilar y Susana, por el apoyo cariñoso brindado en esta inolvidable experiencia.

A mis primas Fernanda, Carolina y Mónica; que forman parte de mi corazón, gracias por los sonrisas y travesuras compartidas.

Por su amor incondicional a Danilo Naranjo, que con solo una mirada, con solo una sonrisa lograba que olvidara mis más grandes temores. Gracias por alegrar mi mundo y enseñarme las lecciones lindas de la vida, pero sobre todo gracias por enseñarme amar; para ti porque siempre estarás en mi corazón siendo mi fuerza para jamás decaer.

Liliana Patricia Acurio Arcos

AGRADECIMIENTO

Dejo constancia de mi agradecimiento a:

Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP, Estación Experimental Santa Catalina.

Ing. Luis Fernando Rodríguez Iturralde, Director de la Estación Experimental Santa Catalina.

Ing. Nelly Lara, por sus conocimientos, amistad, recomendaciones y acertados consejos brindados durante toda la ejecución del proyecto.

Ing. Juan de Dios Alvarado M. Sc. (Tutor), por su colaboración, entusiasmo, apoyo y motivación. Gracias por ser el ejemplo de muchos jóvenes ambateños.

Docentes de la escuela “La Providencia”, Colegio Nacional Experimental “Ambato” y Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos e Ingeniería Bioquímica, por las experiencias y conocimientos compartidos dentro y fuera de las aulas durante la vida estudiantil.

Amigas (os), quienes con una sonrisa supieron contagiarme de alegría: Anita, Adriana, Cristina, Diego, Fernanda, Gabriela, Israel, Javier, Juan Pablo, Lesly, Mauricio, Oscar, Santiago, Rodrigo, Rosita; porque en ellos encontré amistad, motivación y cariño.

A todo el personal que conforman el Departamento de Nutrición y Calidad, quienes apoyaron desinteresadamente el proyecto y por ende la ejecución de este trabajo: Dra. Susana Espín, Ing. Beatriz Brito, Ing. Helena Villacrés, Química Graciela Gordillo, Dr. Armando Rubio, Tec. Bladimir Ortiz, Dr. Ivan Samaniego, Ing. Anita Morales, Agr. Carmita Rosales, Srta. Fernanda Tamayo, Srta. Mónica Guachán, Srta. Priscila López, Sra. Silvana Carpio, Sra. Rocío Suntaxi, Srta.

Victoria Mayorga, Srta. Verónica Torres, Sr. Alex Portilla, Sr. Claudio Quezada, Sr. Edwin Yugsi, Sr. Jorge Laverede, Ing. Luis Egas, Sr. Yaris del Valle.

A los miembros del comité técnico, vigilantes del desarrollo del proyecto: Dr Fabián Moscoso, Ing. Marcelo Racines e Ing. Carlos Yáñez.

Y a los diferentes departamentos de la Estación Experimental Santa Catalina, que colaboraron con entusiasmo en busca de la culminación exitosa del proyecto:

Administración: Dra. Nancy Tapia.

Departamento de Raíces y Tubérculos: Ing. José Unda y Sr. Roberto López.

Departamento de Recursos Humanos: Sra. Mariela Huancas.

Tesorería: Sra. Carmela Alarcón.

Departamento de Protección Vegetal: Ing. Betty Paucar, Srta. Gabriela Ortiz y Sra. Yolanda Pallo.

Departamento de Recursos Fitogenéticos y Biotecnológicos: Ing. Juan Villaroel e Ing. Álvaro Monteros.

Al Instituto Nacional de Higiene y Medicina Tropical “Leopoldo Izquieta Pérez”, de la ciudad de Guayaquil, específicamente al Departamento de Microscopía Electrónica. A su directora la Dra. Linda Díaz, y al Ing. Yasuji Amano asistente técnico.

A la Escuela Superior Politécnica del Ejercito, especialmente al departamento de Microscopía electrónica bajo la dirección del Dr. Alexis Debout; y al departamento de cultivo de tejidos vegetales y biotecnología, y su directora la Dra. Mónica Jadán M.Sc.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

Tema.....	i
Aprobación del Tutor.....	ii
Autoría.....	iii
Aprobación del Tribunal de Grado.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice general de contenidos.....	viii
Índice de tablas y figuras	xvii
Resumen.....	xxxvii

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1	TEMA.....	1		
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1		
	1.2.1	CONTEXTUALIZACIÓN.....	1	
	1.2.2	ANÁLISIS CRÍTICO.....	7	
		1.2.2.1	Árbol de problema.....	8
	1.2.3	PROGNOSIS.....	9	
	1.2.4	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	9	

1.2.5	PREGUNTAS DIRECTRICES.....	9
1.2.6	DELIMITACIÓN.....	10
	1.2.6.1 Geográfica y temporal.....	10
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	10
1.4	OBJETIVOS.....	12
	1.4.1 GENERAL.....	12
	1.4.2 ESPECÍFICOS.....	12

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	14
2.1.1	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA-CIENTÍFICA.....	15
	2.1.1.1 PANELA.....	15
	2.1.1.2 HISTORIA DE PANELA.....	16
	2.1.1.3 TIPOS DE PANELA.....	16
	2.1.1.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE PANELA Y VALOR NUTRICIONAL.....	18
	2.1.1.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE AZÚCAR REFINADO, MOSCABADO Y PANELA.....	23
	2.1.1.6 TECNOLOGÍA DEL PROCESO.....	24
	2.1.1.7 COSUMO DE PANELA.....	30
	2.1.1.8 VARIABLES DE CALIDAD DE LA PANELA GRANULADA.....	31
	2.1.1.9 MECANISMO DE DEGRADACIÓN DE UN ALIMENTO.....	37
	2.1.1.10 VIDA ÚTIL.....	38

2.1.1.11	EVALUACIÓN CIENTÍFICA DE LA VIDA DE ANAQUEL.....	40
2.1.1.12	ENERGÍA DE INTERACCIÓN.....	44
2.1.1.13	CARACTERIZACIÓN DE PANELA GRANULADA.....	45
2.1.1.14	REDUCCIÓN DE TAMAÑO Y TAMIZADO.....	46
2.1.1.15	CÁLCULO DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA.....	47
2.1.1.16	CÁLCULO DEL NÚMERO DE PARTÍCULAS.....	48
2.1.1.17	MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.....	48
2.2	FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....	50
2.3	FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	51
2.3.1	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA OBLIGATORIA – INEN N°2332:2002 PARA PANELA GRANULADA.....	51
2.3.2	NORMA REFERENCIAL DE COLOMBIA.....	53
2.3.2.1	DEFINICIONES.....	53
2.3.2.2	CONDICIONES GENERALES DE LA PANELA.....	53
2.3.2.3	REQUISITOS Y PROHIBICIONES.....	54
2.3.2.4	ADITIVOS PERMITIDOS EN LA ELABORACIÓN DE PANELA.....	54
2.3.2.5	PROHIBICIONES EN CUANTO A SUSTANCIAS E INSUMOS.....	54
2.3.2.6	CONDICIONES SANITARIAS DE LOS TRAPICHES PANELEROS.....	55
2.4	CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	57

2.4.1	GRÁFICOS DE INCLUSIÓN INTERRELACIONADOS.....	57
2.5	HIPÓTESIS.....	58
2.5.1	HIPÓTESIS NULA (H_0).....	58
2.5.2	HIPÓTESIS ALTERNATIVA (H_i).....	58
2.6	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES.....	59
2.6.1	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	59
2.6.2	VARIABLES DEPENDIENTES.....	59

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	60
3.2	NIVEL Ó TIPO INVESTIGACIÓN.....	60
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	61
3.3.1	UNIDAD EXPERIMENTAL.....	61
3.3.2	TRATAMIENTOS.....	62
3.3.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	62
3.3.4	ANÁLISIS FUNCIONAL.....	62
3.4	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	63
3.4.1	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	63
3.4.2	VARIABLES DEPENDIENTES.....	64
3.5	PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	65
3.5.1	PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	65
3.5.2	PREPARACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO EN ESTUDIO	65

3.5.2.1	CONDICIONES NORMALES: 26°C/50%HR.....	65
3.5.2.2	CONDICIONES ACELERADAS: 32°C/75%HR..	65
3.5.2.3	CONDICIONES EXTREMAS: 38°C/100%HR....	65
3.5.3	PRUEBAS DE ALMACENAMIENTO.....	65
3.5.4	MÉTODOS DE EVALUACIÓN.....	66
3.5.4.1	MÉTODO 925.45 PARA MEDICIÓN DE LA HUMEDAD SEGÚN LA AOAC (1996).....	66
3.5.4.2	MÉTODO PARA MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD DEL AGUA (a_w).....	66
3.5.4.3	MÉTODO PARA MEDICIÓN DE LA GRANULOMETRÍA.....	67
3.5.4.4	MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL PODER DE COMPACTACIÓN.....	67
3.5.4.5	MÉTODO UTILIZADO PARA MEDIR FUERZA DE CORTE.....	68
3.5.4.6	MÉTODO OFICIAL 923.09 (44.1.15) PARA LA MEDICIÓN DE AZÚCARES INVERTIDOS EN AZÚCARES Y JARABES (AOAC, 1995).....	69
3.5.5	CARACTERIZACIÓN DE PANELA GRANULADA.....	69
3.5.5.1	DENSIDAD DE BULTO FLOJA.....	69
3.5.5.2	DIÁMETRO MEDIO.....	70
3.5.5.3	SUPERFICIE ESPECÍFICA.....	70
3.5.5.4	NÚMERO DE PARTÍCULAS.....	70
3.5.6	MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.....	70

3.6	PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	71
3.6.1	CÁLCULO DE PRESIÓN DE COMPACTACIÓN.....	71
3.6.2	CÁLCULO DEL TIEMPO DE VIDA DE ANAQUEL A TEMPERATURA CONSTANTE.....	72
3.6.2.1	HUMEDAD.....	72
3.6.2.2	CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.....	73
3.6.3	CARACTERIZACIÓN DE PANELA GRANULADA.....	73
3.6.3.1	DENSIDAD DE BULTO FLOJA.....	73
3.6.3.2	DIÁMETRO MEDIO.....	73
3.6.4	CÁLCULO DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA (A_w).....	75
3.6.5	CÁLCULO DEL NÚMERO DE PARTÍCULAS (N_w).....	76

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	78
4.1.1	INDICADORES FÍSICOS Y QUÍMICOS.....	78
4.1.1.1	HUMEDAD.....	78
4.1.1.2	ACTIVIDAD DEL AGUA.....	81
4.1.1.3	GRANULOMETRÍA.....	82
4.1.1.4	PODER DE COMPACTACIÓN.....	84
4.1.1.5	VARIACIÓN EN LA ALTURA DE COMPACTACIÓN.....	86

4.1.1.6	FUERZA DE CORTE.....	88
4.1.1.7	ENERGÍA DE CORTE.....	89
4.1.1.8	AZÚCARES INVERTIDOS.....	90
4.1.2	ENERGÍA DE INTERACCIÓN.....	92
4.1.2.1	HUMEDAD.....	92
4.1.2.2	ACTIVIDAD DEL AGUA.....	92
4.1.2.3	PODER DE COMPACTACIÓN.....	93
4.1.2.4	FUERZA DE CORTE.....	93
4.1.2.5	AZÚCARES INVERTIDOS.....	94
4.1.3	CORRELACIONES ENTRE INDICADORES.....	94
4.1.3.1	PODER DE COMPACTACIÓN FRENTE A HUMEDAD.....	94
4.1.3.2	PODER DE COMPACTACIÓN FRENTE A ACTIVIDAD DE AGUA.....	95
4.1.3.3	FUERZA DE CORTE FRENTE A HUMEDAD.....	95
4.1.3.4	FUERZA DE CORTE FRENTE A ACTIVIDAD DEL AGUA.....	95
4.1.3.5	GRANULOMETRÍA FRENTE A HUMEDAD.....	96
4.1.3.6	GRANULOMETRÍA FRENTE A ACTIVIDAD DEL AGUA.....	96
4.1.4	CARACTERIZACIÓN DE PANELA GRANULADA.....	97
4.1.4.1	DENSIDAD DE BULTO FLOJA.....	97

4.1.4.2	DIÁMETROS MEDIOS.....	98
4.1.4.3	HISTOGRAMAS.....	99
4.1.4.4	SUPERFICIE ESPECÍFICA.....	100
4.1.4.5	NÚMERO DE PARTÍCULAS.....	100
4.1.4.6	MICROSCOPIA ELECTRÓNICA.....	101
4.2	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	102
4.2.1	HUMEDAD.....	102
4.2.2	ACTIVIDAD DEL AGUA.....	102
4.2.3	GRANULOMETRÍA.....	102
4.2.4	PODER DE COMPACTACIÓN.....	102
4.2.5	FUERZA DE CORTE.....	103
4.2.6	AZÚCARES INVERTIDOS.....	103

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES.....	104
5.2	RECOMENDACIONES.....	106

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1	PROPUESTA.....	107
-----	----------------	-----

MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA.....	110
----------------------	-----

ANEXOS

ANEXO A:	MACROS Y PARÁMETROS DE LA METODOLOGÍA
ANEXO B:	DATOS EXPERIMENTALES
ANEXO C:	ECUACIONES DE LAS RÉPLICAS PARA EL CÁLCULO DEL TIEMPO DE VIDA DE ANAQUEL COMO FUNCIÓN DE LOS INDICADORES
ANEXO D:	ECUACIONES DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL CÁLCULO DEL TIEMPO DE VIDA DE ANAQUEL COMO FUNCIÓN DE LOS INDICADORES
ANEXO E:	PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE LOS INDICADORES
ANEXO F:	TIEMPO DE VIDA DE ANAQUEL
ANEXO H:	DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA
ANEXO I:	DIÁMETROS MEDIOS
ANEXO J:	ENERGÍA DE ACTIVACIÓN
ANEXO K:	FIGURAS DE LA METODOLOGÍA
ANEXO L:	FIGURAS DE LOS DATOS EXPERIMENTALES
ANEXO M:	FIGURAS DE LOS DATOS DEL TEXTURÓMETRO
ANEXO N:	FIGURAS PRESENTADAS POR EL PROGRAMA ESTADÍSTICO STATGRAPHICS PARA ECUACIONES DE TRATAMIENTOS
ANEXO O:	FIGURAS DE LOS DATOS EXPERIMENTALES CORRELACIONADOS
ANEXO P:	FIGURA REPRESENTATIVA DEL TIEMPO DE VIDA DE ANAQUEL
ANEXO Q:	FIGURAS DE HISTOGRAMAS TAMAÑO DE PARTÍCULA
ANEXO R:	FIGURAS DE ENERGÍA DE ACTIVACIÓN
ANEXO S:	FIGURAS DE PARTÍCULAS EN MICROSCÓPIO ELECTRÓNICO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Oferta y consumo promedio de la panela a nivel mundial
Tabla 2.	Composición aproximada en 100 gramos de panela granulada
Tabla 3.	Análisis proximal de la panela granulada Ingapi y El Paraíso
Tabla 4.	Macro elementos, micro elementos y azúcares de panela granulada Ingapi y El Paraíso
Tabla 5.	Características de importancia en panela granulada Ingapi y El Paraíso
Tabla 6.	Parámetros físicos y químicos en panela granulada Ingapi y El Paraíso
Tabla 7.	Perfil de granulometría en panela granulada Ingapi y El Paraíso
Tabla 8.	Ecuaciones representativas del crecimiento de mohos y levaduras [UFC/g]
Tabla 9.	Ecuaciones representativas de la variación de pH
Tabla 10.	Ecuaciones representativas de la variación de absorbancia
Tabla 11.	Composición aproximada de azúcar refinado, azúcar moscabado y panela
Tabla 12.	Valores p y q para los tipos de diámetro medio
Tabla 13.	Clasificación de la panela de acuerdo a la cantidad de sólidos sedimentables y granulometría
Tabla 14.	Requisitos físico-químicos de panela granulada
Tabla 15.	Requisitos microbiológicos para panela granulada
Tabla 16.	Requisitos físico-químicos de la panela granulada o en polvo
Tabla 17.	Categorías fundamentales
Tabla 18.	Señalamiento de variables
Tabla 19.	Tratamientos producto de la combinación de los factores A y B
Tabla 20.	Esquema de análisis de varianza (ANOVA)
Tabla 21.	Operacionalización de variables independientes

Tabla 22. Operacionalización de variables dependientes

Tabla 23. Valores económicos de la propuesta

Tabla 24. Modelo operativo (Plan de acción)

Tabla 25. Administración de la propuesta

Tabla 26. Previsión de la evaluación

ANEXO B

Tabla B1. Porcentaje de humedad [%] de panela granulada de la unidad productiva Ingapi a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.

Tabla B2. Porcentaje de humedad [%] de panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.

Tabla B3. Porcentaje de humedad [%] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.

Tabla B4. Actividad del agua (a_w) de panela granulada de la unidad productiva Ingapi a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.

Tabla B5. Actividad del agua (a_w) de panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.

Tabla B6. Actividad del agua (a_w) de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.

Tabla B7. Granulometría [%] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a cero días de conservación.

Tabla B8. Granulometría [%] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 14 días de conservación.

Tabla B9. Granulometría [%] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 28 días de conservación.

- Tabla B10. Granulometría [%] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 42 días de conservación.
- Tabla B11. Granulometría [%] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 56 días de conservación.
- Tabla B12. Granulometría [%] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 70 días de conservación.
- Tabla B13. Granulometría [%] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 91 días de conservación.
- Tabla B14. Poder de compactación [Pa] de panela granulada de la unidad productiva Ingapi a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B15. Poder de compactación [Pa] de panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B16. Poder de compactación [Pa] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B17. Variación en la altura de compactación [mm] de panela granulada de la unidad productiva Ingapi a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B18. Variación en la altura de compactación [mm] de panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B19. Variación en la altura de compactación [mm] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B20. Fuerza de corte [gf] de panela granulada de la unidad productiva Ingapi a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B21. Fuerza de corte [gf] de panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.

- Tabla B22. Fuerza de corte [gf] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B23. Energía de corte [gf×s] de panela granulada de la unidad productiva Ingapi a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B24. Energía de corte [gf×s] de panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B25. Energía de corte [gf×s] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B26. Azúcares invertidos [mg/100ml] de panela granulada de la unidad productiva Ingapi a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B27. Azúcares invertidos [mg/100ml] de panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B28. Azúcares invertidos [mg/100ml] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B29. Densidad de bulto floja [Kg/m³] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B30. Superficie específica A_w [m²/Kg] de panela granulada de la unidad productiva Ingapi a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B31. Superficie específica A_w [m²/Kg] de panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B32. Superficie específica A_w [m²/Kg] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla B33. Número de partículas por unidad de masa N_w de panela granulada de la unidad productiva Ingapi a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.

Tabla B34. Número de partículas por unidad de masa N_w de panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.

Tabla B35. Número de partículas por unidad de masa N_w de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.

ANEXO C

Tabla C1. Ecuaciones lineales, para el cálculo de la humedad (H) [%] como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento

Tabla C2. Ecuaciones lineales, para el cálculo de la actividad del agua (a_w) como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento

Tabla C3. Ecuaciones recíproco en Y, para el cálculo del poder de compactación (P_{com}) en [Pa] como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento

Tabla C4. Ecuaciones lineales, para el cálculo de la altura de compactación (h_{com}) en [mm] como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento

Tabla C5. Ecuaciones recíproco en Y, para el cálculo de la fuerza de corte (F_{cor}) en [gf] como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento

Tabla C6. Ecuaciones lineales, para el cálculo de los azúcares invertidos (AI) en [mg/100ml] como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento

ANEXO D

Tabla D1. Ecuaciones lineales, para el cálculo de la humedad (H) [%] como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento

Tabla D2. Ecuaciones lineales, para el cálculo de la actividad del agua (a_w) como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento

- Tabla D3. Ecuaciones recíproco en Y, para el cálculo del poder de compactación (P_{com}) en [Pa] como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento
- Tabla D4. Ecuaciones lineales, para el cálculo de la altura de compactación (h_{com}) en [mm] como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento
- Tabla D5. Ecuaciones recíproco en Y, para el cálculo de la fuerza de corte (F_{cor}) en [gf] como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento
- Tabla D6. Ecuaciones lineales, para el cálculo de los azúcares invertidos (AI) en [mg/100ml] como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento
- Tabla D7. Ecuaciones lineales, para el cálculo de la densidad de bulto floja (DBF) en [Kg/m^3] como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento
- Tabla D8. Ecuaciones exponenciales, para el cálculo de la superficie específica (A_w) en [m^2/Kg] como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento
- Tabla D9. Ecuaciones exponenciales, para el cálculo del número de partículas por unidad de masa (N_w) como función del tiempo de vida de anaquel, en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento
- Tabla D10. Ecuaciones recíproco en Y, para el cálculo del poder de compactación (P_{com}) en [Pa] como función a la humedad (H) [%], en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento
- Tabla D11. Ecuaciones recíproco en Y, para el cálculo del poder de compactación (P_{com}) en [Pa] como función a la actividad del agua (a_w), en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento
- Tabla D12. Ecuaciones recíproco en Y, para el cálculo de la fuerza de corte (F_{cor}) en [gf] como función a la humedad (H) [%], en panela

granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento

- Tabla D13. Ecuaciones recíproco en Y, para el cálculo de la fuerza de corte (F_{cor}) en [gf] como función a la actividad del agua (a_w), en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento
- Tabla D14. Ecuaciones recíproco en Y, para el cálculo de la granulometría (G) en [%] como función a la humedad (H) [%], en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento
- Tabla D15. Ecuaciones recíproco en Y, para el cálculo de la granulometría (G) en [%] como función a la actividad del agua (a_w), en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento

ANEXO E

- Tabla E1. Análisis de varianza del la humedad en [%] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla E2. Prueba de diferenciación Tukey para la variable dependiente humedad en [%].
- Tabla E3. Análisis de varianza de la actividad del agua (a_w) de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla E4. Prueba de diferenciación Tukey para la variable dependiente actividad de agua (a_w).
- Tabla E5. Análisis de varianza del poder de compactación en [Pa] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla E6. Prueba de diferenciación Tukey para la variable dependiente poder de compactación en [Pa].
- Tabla E7. Análisis de varianza de la altura de compactación en [mm] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla E8. Prueba de diferenciación Tukey para la variable dependiente altura de compactación en [mm].

- Tabla E9. Análisis de varianza de la fuerza de corte en [gf] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla E10. Prueba de diferenciación Tukey para la variable dependiente fuerza de corte en [gf].
- Tabla E11. Análisis de varianza de azúcares reductores en [mg/100ml] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, en función del tiempo.
- Tabla E12. Prueba de diferenciación Tukey para la variable dependiente azúcares reductores en [mg/100ml].

ANEXO F

- Tabla F1. Tiempo de vida de anaquel como función a la humedad (H) en [%], en panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento,

ANEXO H

- Tabla H1. Frecuencia de tamaños de partícula [μm] de panela granulada de dos unidades productivas en tres condiciones de almacenamiento, a cero días de conservación
- Tabla H2. Frecuencia de tamaños de partícula [μm] de panela granulada de dos unidades productivas en tres condiciones de almacenamiento, a 14 días de conservación
- Tabla H3. Frecuencia de tamaños de partícula [μm] de panela granulada de dos unidades productivas en tres condiciones de almacenamiento, a 28 días de conservación
- Tabla H4. Frecuencia de tamaños de partícula [μm] de panela granulada de dos unidades productivas en tres condiciones de almacenamiento, a 42 días de conservación
- Tabla H5. Frecuencia de tamaños de partícula [μm] de panela granulada de dos unidades productivas en tres condiciones de almacenamiento, a 56 días de conservación
- Tabla H6. Frecuencia de tamaños de partícula [μm] de panela granulada de dos unidades productivas en tres condiciones de almacenamiento, a 70 días de conservación
- Tabla H7. Frecuencia de tamaños de partícula [μm] de panela granulada de dos unidades productivas en tres condiciones de almacenamiento, a 91 días de conservación

ANEXO I

- Tabla I1. Diámetros medios [μm] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 0 días.
- Tabla I2. Diámetros medios [μm] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 14 días.
- Tabla I3. Diámetros medios [μm] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 28 días.
- Tabla I4. Diámetros medios [μm] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 42 días.
- Tabla I5. Diámetros medios [μm] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 56 días.
- Tabla I6. Diámetros medios [μm] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 70 días.
- Tabla I7. Diámetros medios [μm] de panela granulada de dos unidades productivas a tres condiciones de almacenamiento, a 91 días.

ANEXO J

- Tabla J1. Razón incremental de Humedad [% , día] y temperaturas correspondientes a las tres condiciones de almacenamiento.
- Tabla J2. Términos de la ecuación de Arrhenius y Valores de la Energía de Activación para panela granulada almacenada 91 días a 26, 32 y 38°C
- Tabla J3. Razón incremental de Actividad de agua [a_w , día] y temperaturas correspondientes a las tres condiciones de almacenamiento
- Tabla J4. Términos de la ecuación de Arrhenius y Valores de la Energía de Activación para panela granulada almacenada 91 días a 26, 32 y 38°C
- Tabla J5. Razón incremental del Poder de compactación [Pa, día] y temperaturas correspondientes a las tres condiciones de almacenamiento.
- Tabla J6. Términos de la ecuación de Arrhenius y Valores de la Energía de Activación para panela granulada almacenada 91 días a 26, 32 y 38°C
- Tabla J7. Razón incremental de la Fuerza de corte [gf, día] y temperaturas correspondientes a las tres condiciones de almacenamiento.

- Tabla J8. Términos de la ecuación de Arrhenius y Valores de la Energía de Activación para panela granulada almacenada 91 días a 26, 32 y 38°C
- Tabla J9. Razón incremental de azúcares invertidos [mg/100 ml, día] y temperaturas correspondientes a las tres condiciones de almacenamiento.
- Tabla J10. Términos de la ecuación de Arrhenius y Valores de la Energía de Activación para panela granulada almacenada 91 días a 26, 32 y 38°C

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Distribución de la producción mundial de panela en 2001
- Figura 2. Producción mundial y colombiana de panela 1961 – 2001 (TM)
- Figura 3. Árbol de Problema de Investigación
- Figura 4. Tipos de panela granulada
- Figura 5. Diagrama de elaboración de panela granulada
- Figura 6. Diagrama de flujo del procesamiento de panela granulada
- Figura 7. Gráficos de inclusión interrelacionados

ANEXO K

- Figura K1. Preparación de muestras Ingapi
- Figura K2. Preparación de muestras El Paraíso
- Figura K3. Cámara de almacenamiento en condiciones normales 26°C/50%HR
- Figura K4. Cámara de almacenamiento en condiciones normales 26°C/50%HR, con muestras
- Figura K5. Cámara de almacenamiento en condiciones aceleradas 32°C/75%HR
- Figura K6. Cámara de almacenamiento en condiciones aceleradas 32°C/75%HR, con muestras
- Figura K7. Cámara de almacenamiento en condiciones extremas 38°C 100%HR
- Figura K8. Cámara de almacenamiento en condiciones extremas 38°C/100%HR, con muestras
- Figura K9. Muestras de la unidad productiva Ingapi
- Figura K10. Muestras de la unidad productiva El Paraíso
- Figura K11. Pesado de las muestras
- Figura K12. Muestras pesadas
- Figura K13. Muestras previa a la determinación de actividad del agua

- Figura K14. Determinación de actividad del agua
- Figura K15. Determinación de granulometría
- Figura K16. Analizador de textura TA-XT2i adaptado con el accesorio cilíndrico P/25P
- Figura K17. Analizador de textura TA-XT2i en ejecución
- Figura K18. Prensa hidráulica CARVER, pastillas de panela granulada
- Figura K19. Determinación de fuerza de corte, mediante el analizador de textura TA-XT2i adaptado con el accesorio A/CKB, conocido como cuchillo Craft
- Figura K20. Muestras para la determinación de °Brix
- Figura K21. Determinación de °Brix
- Figura K22. Preparación de soluciones de azúcares invertidos
- Figura K23. Almacenamiento de soluciones de azúcares invertidos
- Figura K24. Dilución de soluciones de azúcares invertidos
- Figura K25. Ajuste a pH 3 de soluciones de azúcares invertidos
- Figura K26. Preparación de solución de Fehling
- Figura K27. Solución de Fehling previa a la determinación de azúcares invertidos
- Figura K28. Solución de Fehling previa a la determinación de azúcares invertidos con núcleos de ebullición
- Figura K29. Materiales para la determinación de azúcares invertidos
- Figura K30. Solución previa a la titulación
- Figura K31. Consumación de la titulación con el viraje de color azul a púrpura

ANEXO L

- Figura L1. Humedad en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo. *Valores promedios de dos determinaciones por réplica (n=3)
- Figura L2. Actividad del agua en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de

almacenamiento, en función al tiempo. *Una determinación por réplica (n=3)

- Figura L3. Granulometría en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a cero días de conservación. *Una determinación por réplica (n=3)
- Figura L4. Granulometría en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a 14 días de conservación. *Una determinación por réplica (n=3)
- Figura L5. Granulometría en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a 28 días de conservación. *Una determinación por réplica (n=3)
- Figura L6. Granulometría en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a 42 días de conservación. *Una determinación por réplica (n=3)
- Figura L7. Granulometría en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a 56 días de conservación. *Una determinación por réplica (n=3)
- Figura L8. Granulometría en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a 70 días de conservación. *Una determinación por réplica (n=3)
- Figura L9. Granulometría en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a 91 días de conservación. *Una determinación por réplica (n=3)
- Figura L10. Poder de compactación en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo. *Tres determinaciones por réplica (n=3)
- Figura L11. Altura de compactación en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo. *Valores promedios de tres determinaciones por réplica (n=3)
- Figura L12. Fuerza de corte en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo. *Valores promedios de cinco determinaciones por réplica (n=3)
- Figura L13. Energía de corte en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en

función al tiempo *Valores promedios de cinco determinaciones por réplica (n=3)

Figura L14. Azúcares invertidos en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo. *Valores promedios de dos determinaciones por réplica (n=3)

Figura L15. Densidad de bulto floja en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo. *Una determinación por réplica (n=3)

Figura L16. Superficie específica en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo. *Valores promedios de cien determinaciones por réplica (n=3)

Figura L17. Número de partículas por unidad de masa en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo. *Valores promedios de cien determinaciones por réplica (n=3)

ANEXO M

Figura M1. Relación entre la fuerza necesaria para compactar la muestra (Presión), a tiempo constante (5 s) en muestras de panela granulada almacenadas a condiciones normal, acelerada y extrema.

Figura M2. Fuerza (Presión) y energía necesarias para lograr el corte por cada [mm] de muestra de pastillas de panela granulada almacenadas a condiciones normal, acelerada y extrema.

ANEXO N

Figura N1. Humedad en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo

Figura N2. Actividad de agua en panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo

Figura N3. Poder de compactación en [Pa], para panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo

- Figura N4. Altura de compactación en [mm], para panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo
- Figura N5. Fuerza de corte en [gf], para panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo
- Figura N6. Azúcares invertidos en [mg/100ml], para panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo
- Figura N7. Densidad de bulto floja (DBF) en [Kg/m^3], para panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, en función al tiempo

ANEXO O

- Figura O1. Poder de compactación [Pa] en función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición normal de almacenamiento.
- Figura O2. Poder de compactación [Pa] en función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición acelerada de almacenamiento.
- Figura O3. Poder de compactación [Pa] en función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición extrema de almacenamiento.
- Figura O4. Poder de compactación [Pa] en función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición normal de almacenamiento
- Figura O5. Poder de compactación [Pa] en función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición acelerada de almacenamiento.
- Figura O6. Poder de compactación [Pa] en función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición extrema de almacenamiento.
- Figura O7. Poder de compactación [Pa] en función de la actividad del agua [a_w], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición normal de almacenamiento.
- Figura O8. Poder de compactación [Pa] en función de la actividad del agua [a_w], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición acelerada de almacenamiento.

- Figura O9. Poder de compactación [Pa] en función de la actividad del agua $[a_w]$, en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición extrema de almacenamiento.
- Figura O10. Poder de compactación [Pa] en función de la actividad del agua $[a_w]$, en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición normal de almacenamiento.
- Figura O11. Poder de compactación [Pa] en función de la actividad del agua $[a_w]$, en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición acelerada de almacenamiento
- Figura O12. Poder de compactación [Pa] en función de la actividad del agua $[a_w]$, en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición extrema de almacenamiento.
- Figura O13. Fuerza de corte [gf] en función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición normal de almacenamiento
- Figura O14. Fuerza de corte [gf] en función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición acelerada de almacenamiento
- Figura O15. Fuerza de corte [gf] en función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición extrema de almacenamiento
- Figura O16. Fuerza de corte [gf] en función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición normal de almacenamiento
- Figura O17. Fuerza de corte [gf] en función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición acelerada de almacenamiento
- Figura O18. Fuerza de corte [gf] en función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición extremal de almacenamiento
- Figura O19. Fuerza de corte [gf] en función de la actividad del agua $[a_w]$, en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición normal de almacenamiento
- Figura O20. Fuerza de corte [gf] en función de la actividad del agua $[a_w]$, en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición acelerada de almacenamiento

- Figura O21. Fuerza de corte [gf] en función de la actividad del agua [a_w], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición extrema de almacenamiento
- Figura O22. Fuerza de corte [gf] en función de la actividad del agua [a_w], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición normal de almacenamiento
- Figura O23. Fuerza de corte [gf] en función de la actividad del agua [a_w], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición acelerada de almacenamiento
- Figura O24. Fuerza de corte [gf] en función de la actividad del agua [a_w], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición extrema de almacenamiento
- Figura O25. Granulometría entre $600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$ en [%], como función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición normal de almacenamiento
- Figura O26. Granulometría entre $600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$ en [%], como función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición acelerada de almacenamiento
- Figura O27. Granulometría entre $600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$ en [%], como función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición normal de almacenamiento
- Figura O28. Granulometría entre $600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$ en [%], como función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición acelerada de almacenamiento
- Figura O29. Granulometría entre $600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$ en [%], como función de la humedad [%], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición extrema de almacenamiento
- Figura O30. Granulometría entre $600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$ en [%], como función de la actividad del agua [a_w], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición normal de almacenamiento
- Figura O31. Granulometría entre $600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$ en [%], como función de la actividad del agua [a_w], en panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condición acelerada de almacenamiento
- Figura O32. Granulometría entre $600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$ en [%], como función de la actividad del agua [a_w], en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición normal de almacenamiento

Figura O33. Granulometría entre $600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$ en [%], como función de la actividad del agua $[a_w]$, en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición acelerada de almacenamiento

Figura O34. Granulometría entre $600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$ en [%], como función de la actividad del agua $[a_w]$, en panela granulada de la unidad productiva El Paraíso a condición extrema de almacenamiento

ANEXO P

Figura P1. Tiempo de vida de anaquel de panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso, en función a tres temperaturas de almacenamiento

ANEXO Q

Figura Q1. Histograma de tamaño de partículas de panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a cero días de conservación

Figura Q2. Histograma de tamaño de partículas de panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a 14 días de conservación.

Figura Q3. Histograma de tamaño de partículas de panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a 28 días de conservación.

Figura Q4. Histograma de tamaño de partículas de panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a 42 días de conservación

Figura Q5. Histograma de tamaño de partículas de panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a 57 días de conservación.

Figura Q6. Histograma de tamaño de partículas de panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a 70 días de conservación.

Figura Q7. Histograma de tamaño de partículas de panela granulada de dos unidades productivas Ingapi y El Paraíso a tres condiciones de almacenamiento, a 91 días de conservación.

ANEXO R

Figura R1. Logaritmo natural de la razón incremental de la humedad en panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso por efecto de la temperatura

- Figura R2. Logaritmo natural de la razón incremental de la actividad del agua en panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso por efecto de la temperatura
- Figura R3. Logaritmo natural de la razón incremental del poder de compactación en panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso por efecto de la temperatura
- Figura R4. Logaritmo natural de la razón incremental de la fuerza de corte en panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso por efecto de la temperatura
- Figura R5. Logaritmo natural de la razón incremental de los azúcares invertidos en panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso por efecto de la temperatura

ANEXO S

- Figura S1. Panela granulada de la unidad productiva Ingapi – Almacenada en Condiciones Normales (26°C/50%HR) a 0 días de almacenamiento
- Figura S2. Panela granulada de la unidad productiva Ingapi – Almacenada en Condiciones Normales (26°C/50%HR) a 91 días de almacenamiento
- Figura S3. Panela granulada de la unidad productiva Ingapi – Almacenada en Condiciones Aceleradas (32°C/75%HR) a 0 días de almacenamiento
- Figura S4. Panela granulada de la unidad productiva Ingapi – Almacenada en Condiciones Aceleradas (32°C/75%HR) a 91 días de almacenamiento
- Figura S5. Panela granulada de la unidad productiva Ingapi – Almacenada en Condiciones Extremas (38°C/100%HR) a 0 días de almacenamiento
- Figura S6. Panela granulada de la unidad productiva Ingapi – Almacenada en Condiciones Extremas (38°C/100%HR) a 91 días de almacenamiento
- Figura S7. Panela granulada de la unidad productiva El Paraíso – Almacenada en Condiciones Normales (26°C/50%HR) a 0 días de almacenamiento
- Figura S8. Panela granulada de la unidad productiva El Paraíso – Almacenada en Condiciones Normales (26°C/50%HR) a 91 días de almacenamiento

- Figura S9. Panela granulada de la unidad productiva El Paraíso – Almacenada en Condiciones Aceleradas (32°C/75%HR) a 0 días de almacenamiento
- Figura S10. Panela granulada de la unidad productiva El Paraíso – Almacenada en Condiciones Aceleradas (32°C/75%HR) a 91 días de almacenamiento
- Figura S11. Panela granulada de la unidad productiva El Paraíso – Almacenada en Condiciones Extremas (38°C/100%HR) a 0 días de almacenamiento
- Figura S12. Panela granulada de la unidad productiva El Paraíso – Almacenada en Condiciones Extremas (38°C/100%HR) a 91 días de almacenamiento
- Figura S13. Separación de cristales de panela granulada de la unidad productiva Ingapi – Almacenada en Condiciones Extremas (38°C/100%HR) a 91 días de almacenamiento
- Figura S14. Separación de cristales de panela granulada de la unidad productiva El Paraíso – Almacenada en Condiciones Extremas (38°C/100%HR) a 91 días de almacenamiento

RESUMEN

Con el propósito de determinar los principales indicadores del tiempo de vida de anaquel de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso para exportar al mercado norteamericano, se realizaron pruebas de almacenamiento. Las muestras de panela granulada fueron conservadas en condiciones: normales (26°C/50%HR), aceleradas (32°C/75%HR) y extremas (38°C/100%HR), durante 91 días en las que se evaluaron los indicadores: humedad, actividad del agua, granulometría, poder de compactación, fuerza de corte y azúcares invertidos.

Para los cálculos de vida útil a temperatura constante, se utilizaron ecuaciones lineales que relacionan el incremento de la humedad con el tiempo de almacenamiento en el cual la panela granulada conserva sus atributos físicos que la hacen apta para su comercialización y consumo.

Se concluye que el uso de métodos de cálculo de tiempos de vida útil es una herramienta adecuada para el control del almacenamiento de panela granulada, tomando el indicador humedad se determina la vida de anaquel para la muestra de la unidad productiva Ingapi: las condiciones normales de almacenamiento (26°C/50%HR) conservan durante 57 [días], aceleradas (32°C/75%HR) durante 34 [días] y extremas (38°C/100%HR) durante 21 [días].

Cálculos hechos para panela granulada de la unidad productiva El Paraíso, conducen a establecer los siguientes tiempos de vida de anaquel: 79 [días] en condiciones normales (26°C/50%HR); 42 [días] en aceleradas (32°C/75%HR) y 15 [días] en extremas (38°C/100%HR).

El tamaño y la naturaleza de las partículas de panela granulada influyen en su conservación, estas características dependen del procesamiento. Mediante microscopía óptica y electrónica se caracterizó morfológicamente las partículas de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso. Se presentaron diferencias significativas de tamaño, forma, superficie específica y número de partículas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA

“DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES INDICADORES EN EL TIEMPO DE VIDA DE ANAQUEL DE PANELA GRANULADA DE LAS UNIDADES PRODUCTIVAS INGAPI Y EL PARAÍSO CON FINES DE EXPORTACIÓN AL MERCADO NORTEAMERICANO”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Según Álvarez (2004), la panela es un edulcorante de uso tradicional elaborado a base de caña de azúcar, es la base del sustento de miles de familias campesinas a nivel mundial, quienes producen en unidades de pequeña escala, con mano de obra familiar y afrontan muchas dificultades para modernizar su producción y expandir sus mercados.

Según Espinal *et al.*, (2005), a la panela se le conoce con diversos nombres: en América del sur se le denomina comúnmente “*panel*”; en Perú y Chile se conoce como “*chancaca*”; en Venezuela, México y Guatemala se conoce como “*papelón*”; en la India, y probablemente en muchas otras partes del Oriente, el producto se llama “*jaggery*”, o a veces, “*gur*” o “*gul*”. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), registra la panela en sus cuentas como “*azúcar no centrifugado*”. Su presentación generalmente es cuadrada o rectangular, teniendo un gran apogeo su nueva presentación en forma granulada. Incluye que sólo un pequeño segmento de la producción de panela a nivel mundial se desarrolla de forma industrial y el resto se realiza en establecimientos pequeños, sin tecnificación, con capacidades de producción inferiores a los 300 kilogramos de panela por hora.

Además cita que desde hace muchos años se elabora panela granulada en 26 países del mundo, incluido Ecuador, siendo los principales productores India, Pakistán y Colombia.

Según cifras de la FAO, 26 países en el mundo producen panela y Colombia es el segundo productor después de la India, con un volumen que representa el 12,10% de la producción mundial en el 2001.

Según Rodríguez *et al.* (2004), las unidades productivas paneleras se constituyen en un sistema integrado verticalmente en el que el productor participa tanto en la fase de cultivo, elaboración, como venta del producto; característica que le ha permitido tener una visión más amplia del mercado y de las actividades comercialmente más rentables.

Sin embargo, en términos de consumo por habitante, Colombia ocupa el primer lugar con un consumo de 34,20 kilogramo [kg], de panela por habitante al año, como se describe en la Tabla 1. Esta cifra supera al promedio mundial de 2,00 kilogramo por habitante [kg/hab], y del mayor productor mundial, la India, cuyo consumo fue de 7,90 [kg/hab].

Tabla 1. Oferta y consumo promedio de la panela a nivel mundial

País	Producción (miles de toneladas)	Participación en la producción (%)	Consumo per cápita (kg/año)
India	9857,00	71,30	10,00
Colombia	1276,00	9,20	31,20
Pakistán	743,00	5,40	5,00
China	458,00	3,30	0,40
Bangladesh	440,00	3,20	3,50
Myanmar	354,00	2,60	8,00
Brasil	240,00	1,70	1,40
Filipinas	108,00	0,80	1,50
Guatemala	56,00	0,40	5,20
México	51,00	0,40	0,50
Indonesia	39,00	0,30	0,20
Honduras	27,00	0,20	4,40
Otros	172,00	1,20	--
Total	13821,00	100,00	--

Fuente: Patiño, 2009

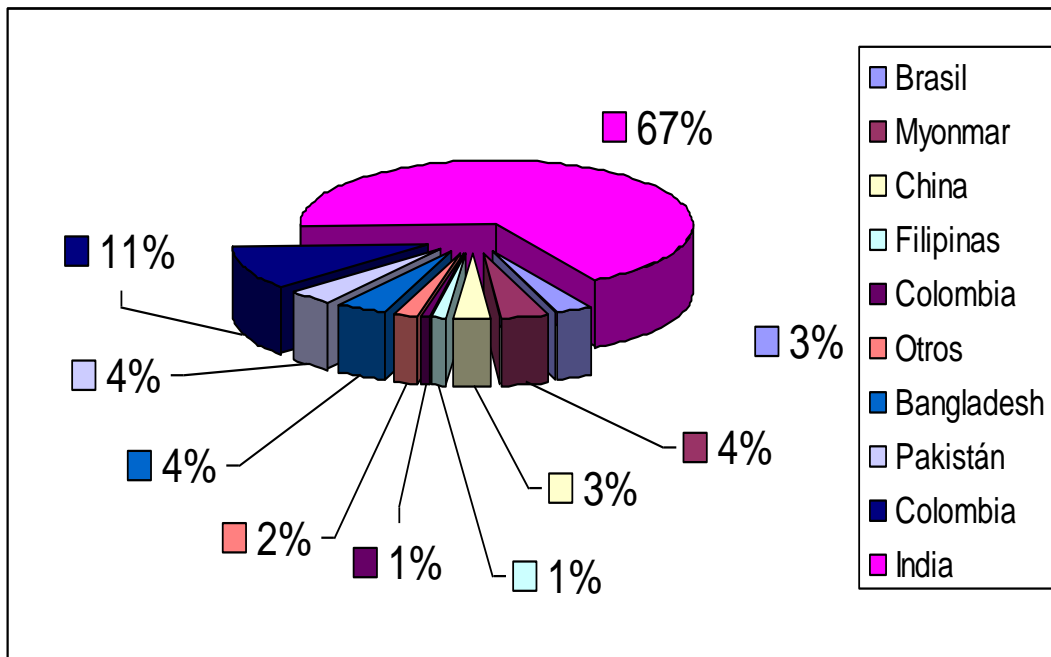


Figura 1. Distribución de la producción mundial de panela en 2001

Fuente: FAO. La panela se reporta como azúcar “no centrifugado” (Espinal *et al.*, 2005)

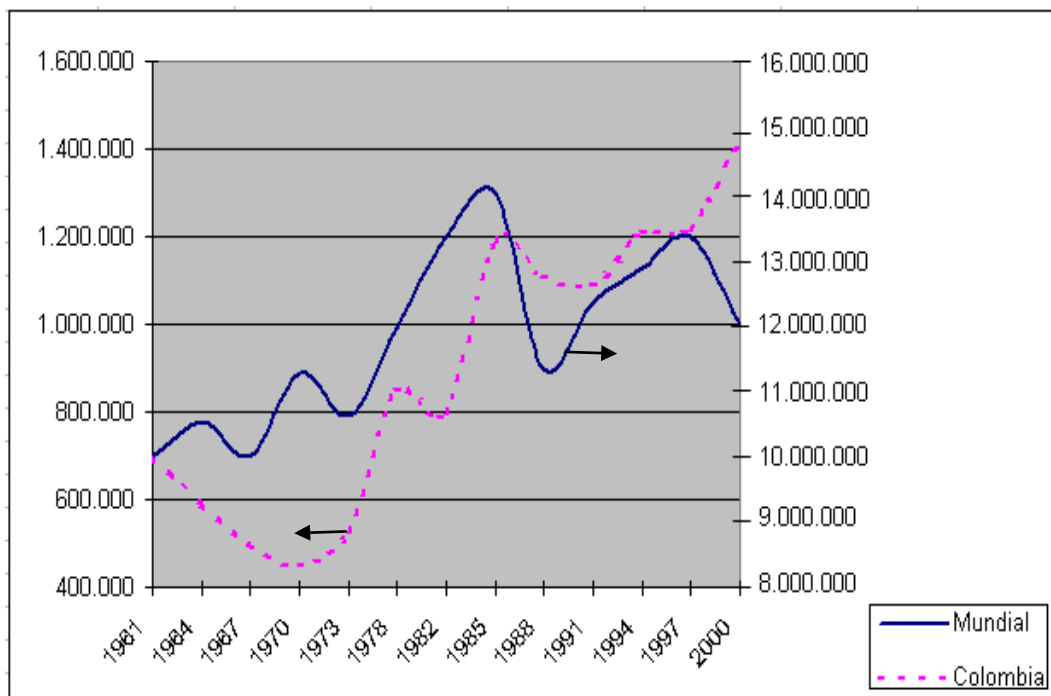


Figura 2. Producción mundial y colombiana de panela 1961 – 2001 (TM)

Fuente: FAO. Panela se reporta como azúcar “no centrifugado” (Espinal *et al.*, 2005)

Según Espinal *et al.* (2005), aunque en el ámbito mundial, Colombia es el segundo mayor productor de panela y el mayor consumidor per cápita del mundo, por su carácter de producto no transable, la producción se orienta casi completamente al mercado interno, lo cual no le permite ampliar su demanda fácilmente. El consumo de la panela se explica por el comportamiento de la producción de caña panelera y de productos como: azúcar, panela, entre otros, en la medida en que no hay importaciones y las exportaciones son marginales.

Según Rodríguez y Gottret (2009), la producción de panela ha sido tradicionalmente una de las principales actividades económicas en diferentes regiones de la ladera de los Andes como estrategia productiva y de generación de ingresos para más de 70.000 familias de productores de caña de azúcar, en su mayoría de mediana y pequeña escala, que responden a una significativa demanda nacional de panela y a un consumo arraigado en los sectores rurales y urbanos, de todos los estratos socioeconómicos.

Según Sandoval (2004^a), la alternativa más estable y práctica para la comercialización de la panela es en forma granular, presentando ventajas de manipulación, transporte, almacenaje y consumo. A pesar de su importancia, la agroindustria panelera tradicionalmente ha adolecido de una serie de problemas relacionados con la baja productividad, la deficiencia en la calidad del producto, los impactos sobre el ambiente, los problemas de mercado y organización de socios, reflejados en la pobreza de parte de sus productores.

ASOCAP (2009), reporta que en Ecuador, la panela granulada es producida a escala artesanal en el sector rural. El proceso de elaboración de panela, se ha transmitido de forma tradicional, sin considerar criterios de manufactura, calidad y oportunidades de mercado. La producción de caña de azúcar a nivel ecuatoriano, según estadísticas del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), en el año 2000 fue de 79.913 hectáreas [ha] de caña de azúcar destinada para la producción azucarera, y una producción bruta de 5'618.045 toneladas métricas [Tm] con un rendimiento promedio de 70,30 [Tm/ha]. La región andina tiene la mayor superficie de producción de caña de azúcar llegando a 53.249 [ha] con una producción de 3'106.192 [Tm].

Además la producción de caña de azúcar es de 18.392 [ha] en Guayas; en las provincias de la sierra: Cotopaxi con 11.000 [ha]; Pichincha con 10.200 [ha]; Azuay con 10.000 [ha]; Cañar con 6.254 [ha], Loja con 5.300 [ha]; Chimborazo con 6.295 [ha]; e Imbabura con 4.200 [ha]. La Región Amazónica tiene una producción aproximada de 8.272 [ha]: Sucumbíos 150 [ha]; en Napo 320 [ha]; en Orellana 120 [ha]; en Pastaza 4.500 [ha]; en Morona Santiago 1.382 [ha]; y en Zamora Chinchipe 1.800 [ha]. La producción nacional de panela se estima en rendimientos del 10% al 15%. La provincia de Pastaza en la actualidad tiene 10 fábricas mejoradas para la producción de panela, como resultado del Convenio de Investigación para el Mejoramiento de la Industria Panelera (CIMPA).

Se estima entre 100 y 200 pequeñas fábricas poseen pailas que trabajan con trapiches accionados con animales y consumen leña como combustible, manteniendo la tecnología rudimentaria tradicional.

Se cita que la panela granulada posee cualidades alimenticias y terapéuticas beneficiosas, alto contenido proteico, su presentación es de un kilogramo [kg] y su costo es de 1US\$/kg. La caña de azúcar y sus productos representan en la actualidad un rubro importante en la economía nacional, genera y proporciona trabajo a miles de familias de las provincias de: Pastaza, Tungurahua, Cotopaxi, Imbabura, Bolívar, Chimborazo y Pichincha, a través de su participación en los procesos de cultivo, procesamiento, transportación y comercialización.

Con base a la información del último censo agropecuario realizado el 2002, de las 131.852 [ha] sembradas en el país de caña panelera, el 62,82% son para la producción de azúcar y el 37.18% se destinada a la producción de alcohol, panela, etc. La demanda tanto para el mercado nacional como internacional es todavía limitada, principalmente, debido a aspectos de calidad normalizados para los consumidores. En el mercado ecuatoriano encontramos marcas de panela granulada como: Camari, La abeja Kapira, Pailamen, entre otras; provenientes de pequeños productores paneleros. Las marcas de mayor producción son Valdez y San Carlos, las cuales elaboran esporádicamente cuando existen excedentes de exportación (SICA, 2007; Villacís, 2005; Fundación Brethren y Unida, 2009; Inversancarlos S. A., 2009.).

Según el Banco Central del Ecuador (2008), Ecuador exporta panela, especialmente a Europa, con partida arancelaria propia de código 1701111000 y bajo la denominación “Chancaca (panela raspadura)”. Según los datos del Banco Central del Ecuador, los principales compradores de panela en orden de importancia y durante el período 2006-2007 son Italia, España y Alemania; para los cuales corresponde una participación en el total de exportaciones ecuatorianas de panela, realizadas en el año 2007, de 39,98%; 20,72% y 16,67% respectivamente. El 22,64% restante suma lo enviado a Francia, Estados Unidos, y dos países que aparecen como importadores poco frecuentes que son Colombia y Holanda.

Según el Grupo de Comunicación La Cerca, (2009), además las exportaciones a los países europeos son bajo la forma de intercambio comercial denominado “Comercio justo” (Fairtrade), en la que han incursionado las comercializadoras solidarias MCCH (Maquita Cushunchic Comercializando como Hermanos) y Camari-FEPP (Federación Ecuatoriana de Productores Paneleros); registrando la mayor cantidad de panela exportada en el período 2000-2007. Es importante reportar que los pequeños productores paneleros exportan sus productos a través de las ONG’s (Organizaciones no Gubernamentales).

A nivel nacional la panela granulada con una presentación plástica tiene un precio promedio de US\$1,00 por [kg]. La panela en presentación ladrillo tiene un precio de US\$0,80 por [kg]. A nivel internacional, en los Estados Unidos la panela granulada con presentaciones de 250 [g] tiene un precio de US\$0,60 (Poaquiza, 2008; Álvarez, 2004).

Sin embargo Rodríguez *et al.* (2004), señalan que los costos de exportación son mucho más bajos que los alcanzados en el mercado interno, es así que los precios promedio ponderados de azúcar refinado bajaron de US\$0,40/kg en enero de 2001 a US\$0,25/kg en agosto de 2003, una reducción en precios corrientes del 20% en el ingreso de los cañicultores e industriales en este lapso. En estas condiciones, la sostenibilidad de la producción de caña destinada para la elaboración de azúcar, está en riesgo y la lógica económica indica que deberían reducirse las áreas de cultivo, con la consecuente pérdida de empleos.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

La tendencia mundial nueva se enfoca al consumo de alimentos naturales y que a su vez contribuyan en la salud del ser humano, ya sea mejorando su nutrición o su bienestar personal. Es aquí donde nacen productos, como la panela, que se obtengan con el menor procesamiento posible y que le confieran al consumidor la seguridad de que al ser ingeridos no alteren o afecten significativamente su desarrollo habitual.

Ecuador posee una gran cantidad de cañicultores, muchos de ellos se encuentran cultivando y produciendo subproductos de la caña azucarera de forma artesanal sin pertenecer a un gremio que los oriente a un proceso de mejoramiento continuo, control de plagas e incluso la inserción de tecnología adecuada que mejore los rendimientos y la conservación de sus productos obtenidos; con lo cual además se les daría la oportunidad de competir a nivel del mercado internacional que posee una demanda insatisfecha.

Actualmente en nuestro país la producción de panela se ve afectada por la baja inversión tecnológica, y el poco apoyo gubernamental a este sector; en contraste con la importancia que se da a las exportaciones de productos tradicionales.

Para mejorar la transportación y comercialización de panela granulada se debe estudiar los parámetros que son representativos al momento de evaluar su vida de anaquel, lo que contribuye a analizar las mejores condiciones de conservación del producto para evitar su deterioro gradual.

El estudio brindará la posibilidad de contribuir en el proceso de comercialización internacional de las unidades productivas de Ingapi y El Paraíso, interesadas en la obtención de datos experimentales de tiempo de vida de anaquel obtenidos al someter la panela granulada a diferentes condiciones de almacenamiento, evaluando características de importancia como lo son compactación y granulometría, que permitan desarrollar nuevos entornos tecnológicos de transporte y almacenamiento; y con ellas la posibilidad de evaluar el tiempo de vida de anaquel de este producto de gran interés en el desarrollo de nuestros pequeños productores artesanos.

1.2.2.1 ÁRBOL DE PROBLEMA

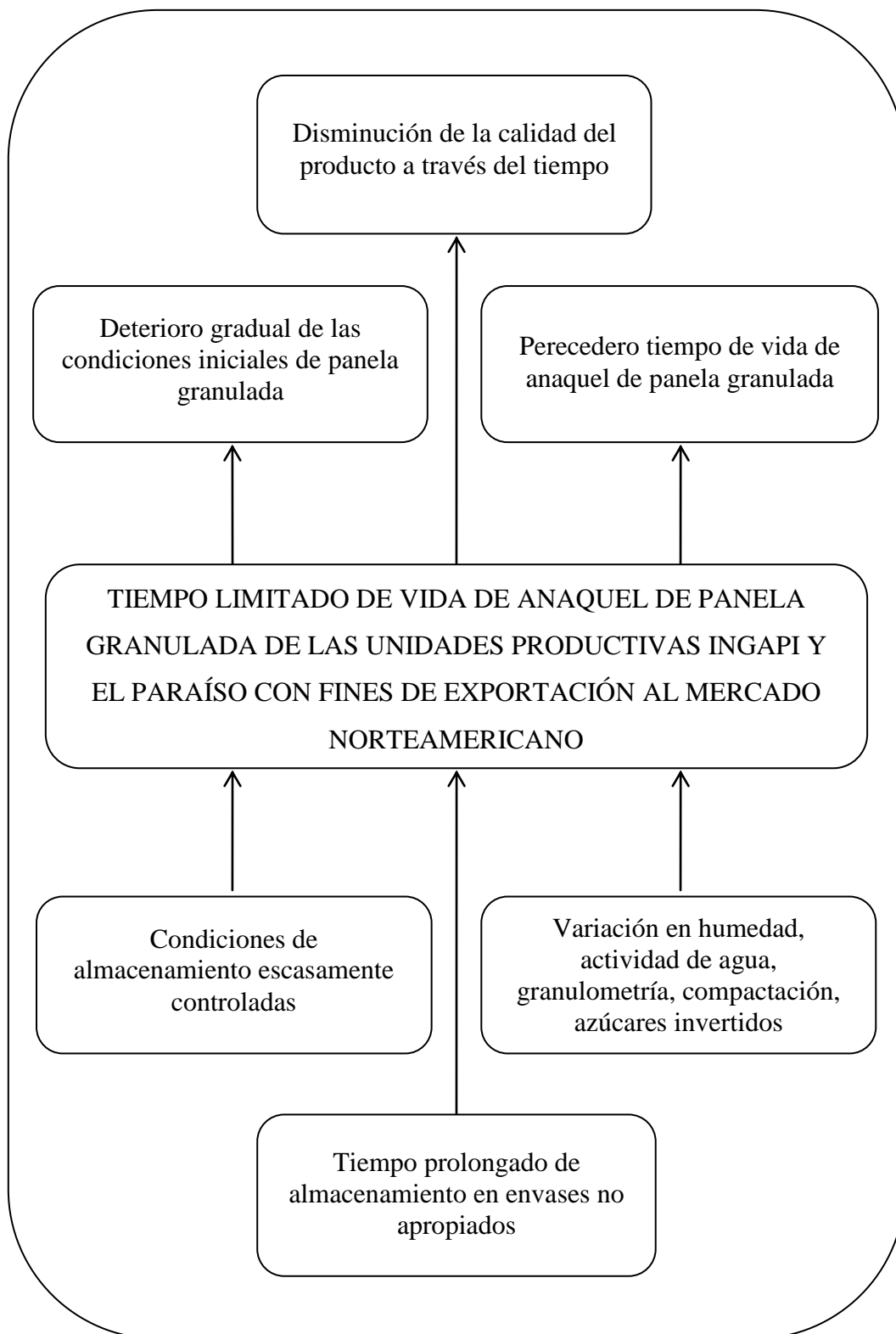


Figura 3. Árbol de Problema de Investigación

Elaborado por: Liliana Patricia Acurio Arcos

1.2.3 PROGNOSIS

El desconocimiento de indicadores relacionados con la calidad de la panela producida a nivel artesanal en Ingapi y El Paraíso dificultan la exportación a los mercados norteamericanos; de no llegar a cumplir con los exigentes requisitos indispensables para exportar al mercado norteamericano, la producción panelera se delimitará al mercadeo local mismo que posee escasa demanda, lo cual repercutirá en una notable disminución de la productividad y una notable caída en el precio de comercialización.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La variación en humedad, actividad de agua, granulometría, compactación y azúcares invertidos de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso con fines de exportación al mercado norteamericano, incide en el tiempo limitado de vida de anaquel?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿El tiempo de almacenamiento en condiciones normal, acelerada y extrema encuentra una función directa contra los indicadores la humedad, actividad del agua, la granulometría, el poder de compactación, la fuerza de corte y el contenido de azúcares invertidos de la panela granulada?
- ¿Existe efecto de interacción entre las condiciones de almacenamiento: normal, acelerada y extrema sobre la razón de la humedad, actividad del agua, la granulometría, el poder de compactación, la fuerza de corte y el contenido de azúcares invertidos?
- ¿Los valores experimentales obtenidos permiten calcular el tiempo de vida de anaquel de panela granulada a temperatura constante?
- ¿Es posible correlacionar los indicadores de poder de compactación y la granulometría de panela granulada, frente a los indicadores humedad y actividad del agua evaluados mediante el estudio?
- ¿Cuáles son los valores de energía de interacción debida a las temperaturas en las variaciones observadas en panela granulada?

1.2.6 DELIMITACIÓN

Categoría : Investigación en control de calidad e ingeniería de procesos de alimentos

Sub-categoría : Vida de anaquel de panela granulada

Área : Agroindustrial

Sub-área : Diseño y desarrollo de procesos en unidades productivas paneleras artesanales de Ingapi y El Paraíso

1.2.6.1 GEOGRÁFICA Y TEMPORAL

Los ensayos se realizarán a escala laboratorio en el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad (DCN), ubicado en la Provincia de Pichincha, cantón Mejía, parroquia Cutuglagua. Las muestras de panela granulada serán proporcionadas por la Asociación Artesanal de Producción de Bienes Agrícolas y Pecuarios Cumbres de Ingapi y la Cooperativa de Producción de Panela El Paraíso, pertenecientes a la parroquia Pacto – Pichincha. Proyecto que requerirá del periodo Abril 2009 – Abril 2010.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La importancia del cultivo de caña panelera y de sus productos como panela en bloque y panela granulada, radica en que se constituye en uno de los alimentos de mayor interés social y económico para Ecuador, donde su consumo se basa en tradiciones y costumbres arraigadas entre nuestras comunidades.

El interés por investigar los principales factores como indicadores en la vida de anaquel de panela granulada, se fundamenta en la extensa área sembrada de caña panelera en nuestro país, así como, la participación significativa de mano de obra artesanal en esta actividad productiva, la cual es de gran consideración en el ámbito social; sin embargo, las unidades productivas artesanales obtienen bajos rendimientos económicos debido a las condiciones tradicionales de cultivo, procesamiento, almacenamiento, transporte y comercialización así como, la escasa tecnología innovadora utilizada.

La importancia teórico práctica de este estudio se estipula al considerar los indicadores principales que influyen en el deterioro de panela granulada. Los mismos que están en relación con la humedad, la composición nutritiva y las condiciones del medio ambiente, tanto durante el almacenamiento así como en el transporte. Se estima que al elevarse el contenido de humedad, los gránulos de panela se aglomeran, cambian de color, aumenta la concentración de azúcares invertidos y disminuye el contenido de sacarosa.

Un aspecto novedoso es considerar como la apariencia granular y la estabilidad física de la panela granulada, evaluada en términos de distribución granulométrica y compactación de los gránulos, dependen altamente de la variación del contenido de humedad.

Por tanto, frente a causas de deterioro significativo en panela granulada es de utilidad evaluar si la humedad (agua libre) y actividad del agua (agua ligada) resultantes del proceso de producción, son suficientes para asegurar la estabilidad del producto en el tiempo.

Los datos experimentales a ser obtenidos tendrán un impacto directo en la comercialización internacional de este edulcorante natural, fuente de sustento económico de muchas familias ecuatorianas vinculadas a la actividad panelera.

Por ende, la disponibilidad de esta información permitirá, a los productores y distribuidores, establecer las condiciones de almacenamiento adecuadas para que la panela granulada mantenga sus condiciones características durante el tiempo requerido hasta llegar al consumidor.

La experimentación a escala productiva a cualquier nivel de especialización (pequeña o gran escala) requiere de recursos económicos adicionales altos. Es por ello que, en el presente estudio se plantea a escala laboratorio, la aplicación de métodos analíticos de práctica académica, sencillos y de fácil evaluación en el campo de alimentos para determinar el tiempo de vida de anaquel y potenciar la conservación y comercialización de los productos derivados del sector productivo panelero del Ecuador.

La investigación proporciona información técnica de importancia para el proceso de almacenamiento, comercialización y distribución de panela granulada en sistemas abiertos a presión atmosférica, con el propósito de apoyar a las ONG's (Organizaciones no Gubernamentales), Camari-FEPP (Federación Ecuatoriana de Productores Paneleros) y MCCH (Maquita Cushunchic Comercializando como Hermanos) y en las iniciativas de revalorización de los procesos artesanales a nivel de las unidades productivas proveedoras de panela orgánica.

Este estudio investigativo es el trabajo de tesis previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos y se viabilizó en el marco de una tesis efectuada en el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina en el Departamento de Nutrición y Calidad, con la supervisión de la Ingeniera Nelly Lara Valdez M.Sc., 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”*, y la contribución de la Universidad Técnica de Ambato a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería de los Alimentos e Ingeniería Bioquímica.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

1.4.1.1 Seleccionar indicadores y evaluar el grado de deterioro de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso mantenidas bajo condiciones normal, acelerada y extrema, para establecer el tiempo de vida de anaquel.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.4.2.1 Determinar la humedad, actividad del agua, la granulometría, el poder de compactación, la fuerza de corte y la concentración de azúcares invertidos en la panela granulada en función al tiempo de almacenamiento en condiciones normal, acelerada y extrema.

- 1.4.2.2 Analizar estadísticamente el efecto de las condiciones de almacenamiento: normal, acelerada y extrema sobre la razón de la variación de la humedad, actividad del agua, la granulometría, el poder de compactación, la fuerza de corte y la concentración de azúcares invertidos en la panela granulada.
- 1.4.2.3 Calcular el tiempo de vida de anaquel de panela granulada a temperatura constante.
- 1.4.2.4 Buscar correlaciones entre el poder de compactación, la fuerza de corte y la granulometría al graficar frente a valores de la humedad y actividad del agua.
- 1.4.2.5 Determinar la energía de interacción debida a las temperaturas y en las variaciones observadas en panela granulada.
- 1.4.2.6 Caracterizar panela granulada, en términos de los valores de densidad de bulto floja y diámetros de las partículas.
- 1.4.2.7 Calcular el área específica y el número de partículas en la panela granulada en función al tiempo de almacenamiento en condiciones normal, acelerada y extrema.
- 1.4.2.8 Proponer las condiciones de almacenamiento para prolongar el tiempo de vida de anaquel de panela granulada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Según Solís (2009), es de conocimiento que un paquete de azúcar refinada puede permanecer por años en almacenamiento, sin presentar deterioro por humedecimiento y compactación de cristales; este efecto es debido al nivel bajo de actividad del agua, alcanzado en azúcar granulada con alta pureza. En el caso de panela, el contenido de azúcares varía de acuerdo al genotipo de la caña panelera, época de cosecha, manejo de extracción y post-extracción del jugo. Además la producción de panela granulada, no incluye purificación y refinamiento de cristales.

Además la humildad de los productores de panela los lleva a enfrentar las labores rutinarias de su actividad sin ningún cambio tecnológico, lo cual parece ir ligado al aislamiento en que se sumergen estos productores con respecto a su propia comunidad. La conformación de asociaciones de productores de panela, inicia el camino hacia mejores días para esos artesanos pioneros y la posibilidad de incorporar a otros que un poco más cautelosos aun no se incorporan al tren de la unión en busca de mayor fuerza para el beneficio de esta actividad.

Propone que es necesario que las universidades y las instituciones dedicadas a la investigación y el desarrollo del sector agropecuario de cada nación velen por el progreso de la actividad panelera en los países de Latinoamérica, debido a su gran aporte en el sector rural. Es necesario que en todo proceso de desarrollo de las comunidades y de los grupos productivos se respete lo generado por los propios agentes involucrados ya que así hay un mayor compromiso hacia el cambio y la cooperación para con los proyectos que se generen. Dada la efectividad de la metodología participativa para la implementación de diagnósticos y la posterior presentación de proyectos de desarrollo rural, se debe capacitar a todos los técnicos que fungen como extensionistas en los entes gubernamentales, para que su labor sea más efectiva.

Según Clavijo A. (2008), la panela granulada elaborada artesanalmente, contiene un elevado índice de microelementos como hierro, manganeso y zinc, los mismos que pueden ser indicativos en muchos casos de contaminación. La actividad de agua en panela granulada no es muy baja como para evitar totalmente la compactación de los gránulos mientras está disponible al consumidor.

Según Poaquiza D. (2008), la humedad de equilibrio en panela granulada se incrementa con el aumento de la temperatura, es decir, la muestra de la unidad productiva Ingapi con a_w de 0,85 expuesta a 26°C adsorbe 20,75% de agua en base seca, mientras que a 32°C adsorbe 25,05%.

Y reporta que la panela granulada proveniente de la unidad productiva Ingapi tiene tendencia a adsorber más agua a nivel de multicapas, ya que a temperatura de 26°C y actividad de agua (a_w), de 0,90; la muestra de la unidad productiva El Paraíso (29,91% base seca – b.s.) adsorbió menor cantidad de humedad que la de Ingapi (34,26% b.s.).

2.1.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO – CIENTÍFICA

2.1.1.1 PANELA

La Fundación Eroski (2005), define a la panela como el azúcar integral proveniente de caña panelera. Se considera el azúcar más puro porque se obtiene simplemente a partir de la evaporación de los jugos de la caña y la posterior cristalización de la sacarosa. Este azúcar integral a diferencia del blanco, no es sometido a ningún proceso de refinado, centrifugado y depuración, por lo que conserva todas las vitaminas y minerales presentes en la caña de azúcar.

Además se piensa que la panela posee cualidades similares a las del azúcar moreno, sin embargo es importante tener en cuenta que en la actualidad, la mayor parte del azúcar moreno que se comercializa a nivel nacional es azúcar blanco al que se le ha añadido extracto de melaza, que le da su color, olor y sabor característico; además de pequeñas cantidades de vitaminas y minerales inferiores a las que posee la panela y que son de importancia desde el punto de vista nutricional.

2.1.1.2 HISTORIA DE PANELA

Según Osorio (2007), la caña de azúcar es uno de los cultivos de mayor antigüedad en el planeta, se cree que comenzó hace 3.000 años. Algunos autores afirman que la caña de azúcar es originaria del noroeste de India; otros autores afirman que es originaria de Nueva Guinea.

Para Restrepo (2007), la caña de azúcar es un cultivo que se introdujo en el mestizaje culinario durante la época de la conquista española a América. Con la admisión de caña azucarera lograron también el desarrollo de trapiches y la iniciativa en el proceso de molienda así como la evolución de diversos productos.

Según Patiño V. (2009), la caña llegó a Colombia en el año 1538 a través del puerto de Cartagena y dos años después ingresó por Buenaventura al valle geográfico del río Cauca, plantándose inicialmente en lugares muy cercanos a Cali, donde operaron sendos trapiches paneleros.

El cultivo de caña de azúcar se desarrolló especialmente en zonas cálidas, clima al que le era favorable y su cosecha se hacía con mano de obra negra. La caña de azúcar posee un período vegetativo de aproximadamente año y medio, para iniciar su proceso de convertirse en panela.

2.1.1.3 TIPOS DE PANELA

Algunas formas de presentación de panela según el Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP 2002^b), se muestran a continuación:

a) Cuadrada

La panela reamasada se deposita sobre gaveras que tiene dos de sus tres dimensiones iguales y se distribuye a lo largo de todas ellas para que tengan la misma altura. Se encuentran medidas para panelas de 125; 250; 500 y 1000 [gr].

b) Rectangular

Las gaveras tienen tres dimensiones diferentes y el moldeo es similar a la panela cuadrada.

c) **Redonda**

El molde es un recipiente hecho en guadua. Para este tipo de panela se debe tener en cuenta que el punteo se da a una temperatura alta, aproximadamente 124°C. Se llena el recipiente con panela semisólida y se da un ligero golpe sobre la masa para que adquiera la forma deseada.

d) **Pastilla con Cresta Redonda y Triangular**

Panela que tiene la forma de pastillas de chocolate con una terminación semiesférica ó terminación triangular.

e) **Panela Pulverizada o Granulada**

La panela granulada se obtiene por batido manual y deshidratación simultánea de mieles a una temperatura de 124 - 126°C. Su presentación final es en forma de polvo o granos ligeramente esféricos, cuyos diámetros pueden variar desde casi 1mm hasta terrones de 15 a 25 [mm].

f) **Panela Saborizada**

En la panela líquida, se adiciona saborizante de limón, naranja, canela y anís, en concentraciones menores a 1,00 [g/kg] panela.

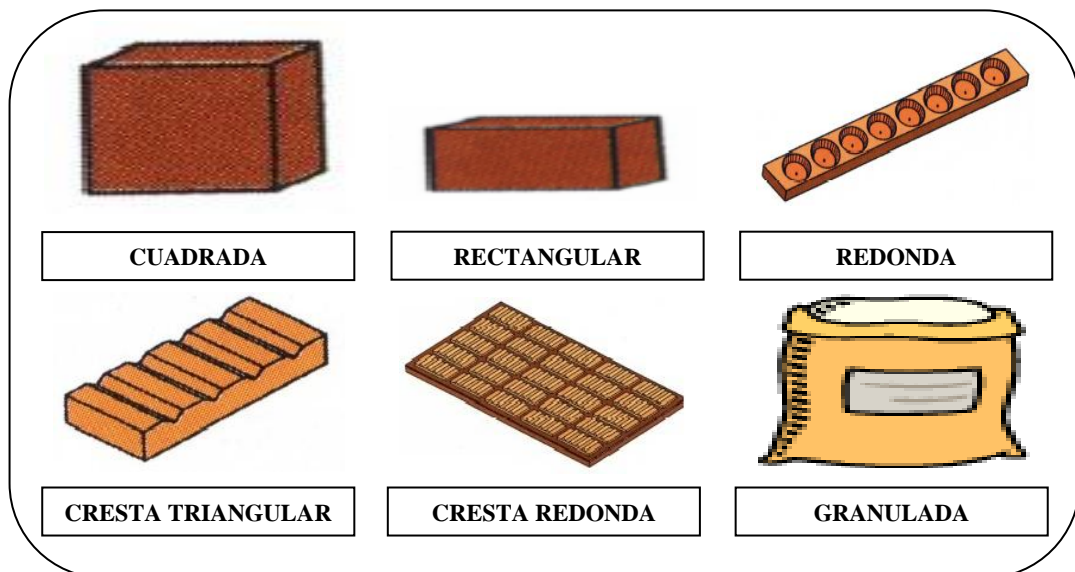


Figura 4. Tipos de panela granulada

Elaborado por: Liliana Patricia Acurio Arcos

2.1.1.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE PANELA Y VALOR NUTRICIONAL

Sobre el valor nutricional de la panela inciden numerosos factores como la variedad de la caña, siembra, temperatura, sistema de corte, almacenamiento e incluso las fases del proceso de elaboración. El Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca (2002^b), describe la composición aproximada de la panela granulada, reportada en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición aproximada en 100 gramos de panela granulada

Componente	Gramos [g]
Humedad	1,50 a 7,00
Sacarosa	73,00 a 83,00
Fructosa	1,50 a 7,00
Glucosa	1,50 a 7,00
Minerales	Miligramos [mg]
Potasio	10,00 a 13,00
Calcio	40,00 a 100,00
Magnesio	70,00 a 90,00
Fósforo	20,00 a 90,00
Sodio	19,00 a 30,00
Manganeso	0,20 a 0,50
Hierro	10,00 a 13,00
Zinc	0,20 a 0,40
Flúor	5,30 a 6,00
Cobre	0,10 a 0,90
Vitaminas	Miligramos [mg]
Provitaminas	63,54
Vitamina A	3,30
Vitamina B1	0,01
Vitamina B2	0,06
Vitamina B5	0,01
Vitamina B6	0,01
Vitamina C	7,00
Vitamina D2	6,50
Vitamina E	111,30
Vitamina PP	7,00
Proteínas	280,00

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca (2002^b)

Según la Fundación Eroski (2005), el principal constituyente de la panela es la sacarosa, cuyo contenido varía entre 75% y 85%. Es capaz de suministrar un aporte energético de 310 a 350 calorías por 100 gramos.

Clavijo A. (2008), reporta la composición proximal de la panela granulada de las unidades productivas paneleras Ingapi y El Paraíso, detallada en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis proximal de la panela granulada Ingapi y El Paraíso

Componente	Unidad	Unidad Productiva	
		Ingapi	El Paraíso
*Humedad	%	2,62	3,05
*Cenizas	%	1,06	0,87
*Extracto etéreo	%	0,20	0,12
*Proteína	%	0,47	0,36
*Fibra	%	0,20	0,21
*Extracto libre de nitrógeno	%	98,07	98,44

*Valores promediados de dos muestras analizadas

Fuente: Clavijo A., 2008.

También reporta los macro elementos presentes en las muestras de panela granulada, con variación en el potasio. En cuanto a micro elementos se destaca los valores de hierro, manganeso y zinc; además se indica el contenido de azúcares de cada muestra. Los datos se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Macro elementos, micro elementos y azúcares de panela granulada Ingapi y El Paraíso

Componente	Unidad Productiva	
	Ingapi	El Paraíso
	Macro elementos	
*Calcio [%]	0,02	0,03
*Fósforo [%]	0,04	0,06
*Magnesio [%]	0,02	0,02
*Potasio [%]	1,16	0,35
*Sodio [%]	0,14	0,05
	Micro elementos	
*Cobre ppm]	3,00	1,00
*Hierro [ppm]	258,00	334,00
*Manganeso [ppm]	13,00	4,00
*Zinc [ppm]	69,00	37,00
	Azúcares	
*Azúcares totales [%]	92,05	89,97
*Azúcares reductores [%]	7,03	3,30
*Fructosa [%]	3,94	2,58
*Glucosa [%]	3,13	1,71
*Sacarosa [%]	85,05	92,14

*Valores promediados de dos muestras analizadas

Fuente: Clavijo A., 2008.

Complementariamente reporta valores de análisis fisicoquímicos de las muestras de panela granulada, que resultan dignos de destacar en el estudio, estos valores se exhiben en la Tabla 5.

Tabla 5. Características de importancia en panela granulada Ingapi y El Paraíso

Unidad Productiva	*Brix	*pH	*Acidez	**Acidez
	°Brix	pH	[ml]	[g/l]
Ingapi	98,40	5,98	20,20	1,0034
El Paraíso	98,00	6,02	17,30	1,1716

*Valor promedio de dos muestras **Ácido aconítico ($C_3H_3(COOH)_3$, $f = 0,0580$)

Fuente: Clavijo A., 2008.

De forma similar se reportan en la Tabla 6 los valores de parámetros físicos de importancia como: actividad de agua (a_w), densidad óptica, sólidos sedimentables; y un parámetro químico como son los azúcares invertidos; los mismos que fueron fundamentales en la investigación. La densidad óptica presenta valores elevados, lo que se fundamenta en el proceso de concentración de la miel donde se alcanzan temperaturas sobre los 120°C, repercutiendo en el desarrollo de una pigmentación café.

Tabla 6. Parámetros físicos y químicos en panela granulada Ingapi y El Paraíso

Unidad Productiva	* a_w	*Densidad Óptica	*Sólidos sedimentables	*Azúcares invertidos
			[%]	[mg/100 ml]
Ingapi	0,59	6,5500	0,25	212,32
El Paraíso	0,54	5,3813	0,21	186,25

*Valores promediados de dos muestras analizadas

Fuente: Clavijo A., 2008.

También describe el perfil granulométrico de panela granulada, reportado en la Tabla 7, en donde se observa que los valores difieren entre las unidades productivas.

Tabla 7. Perfil de granulometría en panela granulada Ingapi y El Paraíso

Unidad Productiva	Tamiz #20 ^a	Tamiz #30 ^b	Tamiz #40 ^c	<Tamiz #40 ^c
	[g/100 g]	[g/100 g]	[g/100 g]	[g/100 g]
Ingapi	11,30	54,37	32,55	1,78
El Paraíso	8,04	25,32	46,79	19,85

*Valores promediados de dos muestras analizadas

^aTamiz #20 = 850 [μ m]; ^bTamiz #30 = 600 [μ m] y ^cTamiz #40 = 425 [μ m]

Fuente: Clavijo A., 2008.

De acuerdo a estudios realizados por Domínguez A. (2008), el recuento de mohos y levaduras en las muestras de panela de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso sometidas a tres condiciones de almacenamiento por 90 días: normal, acelerada y extrema.

Presenta valores por debajo del límite mínimo de $1,00 \times 10^2$ unidades formadoras de colonias por gramo [UFC/g], establecido para panela granulada en la norma ecuatoriana INEN (2002); y por lo tanto muy alejados del límite máximo de $2,00 \times 10^2$ [UFC/g].

En la Tabla 8 se analiza el crecimiento de los microorganismos mediante ecuaciones de tipo logarítmicas [$y = a + b \times \ln(x)$]. La variación presentó valores de correlación (r) elevados; indicativos de una relación considerable entre las variables de estudio, así como la aplicabilidad del modelo logarítmico. Estos datos son importantes para efectos comparativos como posibles indicadores del tiempo de vida útil de este producto.

Tabla 8. Ecuaciones representativas del crecimiento de mohos y levaduras [UFC/g]

Condición	Unidad Productiva	*Ecuaciones	r
^a Normal	Ingapi	$UFC / g = -126,649 + 32,8942 \times \ln(t)$	0,98
	El Paraíso	$UFC / g = -90,7721 + 23,8121 \times \ln(t)$	0,99
^b Acelerada	Ingapi	$UFC / g = -80,7718 + 23,3820 \times \ln(t)$	0,99
	El Paraíso	$UFC / g = -66,6196 + 19,3731 \times \ln(t)$	0,99
^c Extrema	Ingapi	$UFC / g = -47,9828 + 16,6280 \times \ln(t)$	0,97
	El Paraíso	$UFC / g = -41,2027 + 13,8239 \times \ln(t)$	0,96

*Valores promediados de tres muestras analizadas

^a Normal = 26 °C y 50% humedad relativa; ^b Acelerada = 32 °C y 75% humedad relativa; ^c Condición extrema = 38 °C y 100% humedad relativa

r = valor de correlación

Fuente: Domínguez A., 2008.

De forma complementaria, evalúa la variación de pH durante un tiempo de almacenamiento (90 días) a condiciones: normal, acelerada y extrema; datos que presentaron una tendencia lineal descendiente [$y = a + bx$].

Los datos llevaron a valores de correlación (r) comprendidos entre 0,80 y 0,97; indicativos de una dependencia considerable entre las variables de estudio, así como la aplicabilidad alta del modelo lineal. Las ecuaciones y los coeficientes de correlación (r) se presentan en la Tabla 9, son utilizadas para los cálculos del contenido de azúcares reductores.

Tabla 9. Ecuaciones representativas de la variación de pH

Condición	Unidad	*Ecuaciones	r
^a Normal	Ingapi	$pH = 6,0393 - 0,0016 \times t$	0,83
	El Paraíso	$pH = 6,1371 - 0,0024 \times t$	0,84
^b Acelerada	Ingapi	$pH = 6,0343 - 0,0021 \times t$	0,80
	El Paraíso	$pH = 6,1004 - 0,0024 \times t$	0,89
^c Extrema	Ingapi	$pH = 6,0279 - 0,0034 \times t$	0,91
	El Paraíso	$pH = 6,0882 - 0,0048 \times t$	0,97

*Valores promediados de tres muestras analizadas

^a Normal = 26 °C y 50% humedad relativa; ^b Acelerada = 32 °C y 75% humedad relativa; ^c Condición extrema = 38 °C y 100% humedad relativa

r = valor de correlación

Fuente: Domínguez A., 2008.

Además reporta la Tabla 10, referente a ecuaciones que describen el cambio de color de panela granulada determinado con mediciones de absorbancia o densidad óptica en función del tiempo de almacenamiento (90 días).

Tabla 10. Ecuaciones representativas de la variación de absorbancia

Condición	Unidad Productiva	*Ecuaciones	r
^a Normal	Ingapi	$Absorbancia = 0,4186 - 0,0115 \times t^2$	0,99
	El Paraíso	$Absorbancia = 0,2890 - 0,0125 \times t^2$	0,99
^b Acelerada	Ingapi	$Absorbancia = 0,3936 - 0,0209 \times t^2$	0,96
	El Paraíso	$Absorbancia = 0,2918 - 0,0176 \times t^2$	0,99
^c Extrema	Ingapi	$Absorbancia = 0,3923 - 0,0393 \times t^2$	0,99
	El Paraíso	$Absorbancia = 0,3056 - 0,0406 \times t^2$	0,99

*Valores promediados de tres muestras analizadas

^a Normal = 26 °C y 50% humedad relativa; ^b Acelerada = 32 °C y 75% humedad relativa; ^c Condición extrema = 38 °C y 100% humedad relativa

r = valor de correlación

Fuente: Domínguez A., 2008.

Recalca que el contenido de calcio de las muestras evaluadas está por debajo de los niveles encontrados bibliográficamente. El nivel de calcio puede ser un indicativo de calidad orgánica de la panela granulada, y un parámetro de ventaja competitiva frente a los procesos que incluyen la adición de cal sin considerar riesgos en la salud del consumidor.

Además el valor de pH y el contenido de humedad de la panela granulada, muestran dependencia con el tiempo, el tipo de muestra evaluado y las condiciones de almacenamiento. Además propone las condiciones críticas para el almacenamiento de panela: 32 °C y 75% de humedad relativa.

2.1.1.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE AZÚCAR REFINADO, MOSCABADO Y PANELA

Tabla 11. Composición aproximada de azúcar refinado, azúcar moscabado y panela

Para 100 g de:	Azúcar refinado	Azúcar moscabado	Panela
Componente			
Carbohidratos [g]			
Sacarosa	99,60	96,00 – 99,00	72,00 – 78,00
Fructosa	----	0,00 – 1,00	1,50 – 7,00
Glucosa	----	0,00 – 1,00	1,50 – 7,00
Minerales [mg]			
Potasio	0,50 – 1,00	1,70 – 4,00	10,00 – 13,00
Calcio	0,50 – 5,00	70,00 – 90,00	40,00 – 100,00
Magnesio	----	3,00 – 6,00	70,00 – 90,00
Fósforo	----	3,00 – 5,00	20,00 – 90,00
Sodio	0,60 – 0,90	0,70 – 1,00	19,00 – 30,00
Hierro	0,50 – 1,00	1,90 – 4,00	10,00 – 13,00
Manganeso	----	0,10 – 0,30	0,20 – 0,50
Zinc	----	0,04 – 0,20	0,20 – 0,40
Flúor	----	3,95 – 0,30	5,30 – 6,00
Cobre	----	0,10 – 0,30	0,10 – 0,90
Vitaminas [mg]			
Provitamina A	----	0,34	2,00
A	----	0,32	3,80
B1	----	trazas	0,01
B2	----	trazas	0,06
B5	----	trazas	0,01
B6	----	trazas	0,01
C	----	trazas	7,00
D2	----	trazas	6,50
E	----	40,00	111,30
PP	----	trazas	7,00
Proteínas (mg)	----	100,00	280,00
Agua (g)	0,01	0,05 – 0,98	1,50 – 7,00
Energía (cal)	384,00	382,00	312,00

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca (2002^b)

2.1.1.6 TECNOLOGÍA DEL PROCESO

El proceso de elaboración de panela granulada se fundamenta en la información proporcionada por las siguientes publicaciones: CENDES (1968), CCI (2002), Pesantes (2002), Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca (2002^a y 2002^b), Reynel y Van (2003), Sandoval (2004^b) y Osorio (2007).

La obtención de panela granulada se da tanto a nivel industrial, en los ingenios azucareros, como en pequeñas plantas y a escala artesanal, en trapiches. El proceso de elaboración de panela granulada es similar al de panela en bloque, con una variación en la etapa final, que incluye un batido energético en el punto de la saturación de la sacarosa para que produzca su cristalización.

El manejo del cultivo de caña de azúcar bajo los requerimientos de la agricultura orgánica, incluye la supresión del uso de agroquímicos y el reemplazo de éstos por fertilizantes orgánicos, a fin de beneficiar la conservación de los recursos agua, suelo y aire. Un tipo de producción que se convierte en una práctica sostenible que favorece al productor. La superficie dedicada a la producción orgánica de caña de azúcar, en nuestro país, es de 260 hectáreas, destinada a la elaboración de panela orgánica cuyo destino principal es el mercado europeo.

La elaboración de panela granulada requiere temperaturas superiores a los 110°C, pH de 5,80 para la formación de azúcares reductores. El punteo se da aproximadamente a 94-95 °Brix, se bate hasta que la miel cristalice y se obtienen dos tipos de panela: pulverizada de grano fino y la granulada de grano grueso.

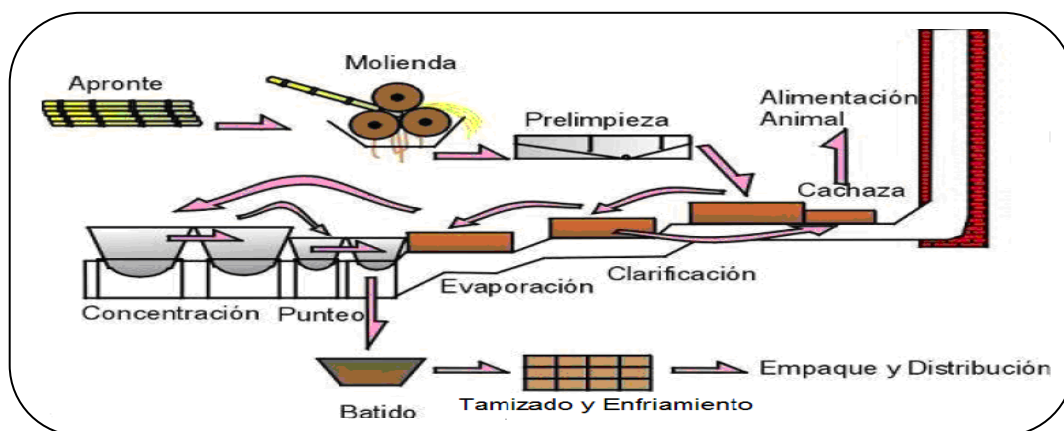


Figura 5. Diagrama de elaboración de panela granulada

Fuente: CORANTIOQUIA, 2008

a) Aponte

La variedad de la caña panelera es un parámetro de gran importancia en la elaboración de panela; de ahí que es necesario seleccionar cañas que provengan de lotes de tradicional calidad que permitan obtener panelas de buen grano y dureza.

Las variedades actualmente empleadas para la producción de panela son: la POJ2714, la 2878, la PR 61632 y la RD7511 además los cultivos destinados para la producción de este genotipo se deben sembrar en suelos con buen drenaje para facilitar la concentración de sacarosa.

Topográficamente, es preferible suelos residuales o de ladera, que no tengan problemas de drenaje y generalmente son pobres en materia orgánica, obteniéndose cañas con mayor concentración de sacarosa.

En caso de tener los cultivos en suelos planos, es recomendable hacer drenajes, aplicar potasio para aumentar la concentración de sacarosa, disminuir los azúcares reductores presentes por el exceso de nitrógeno en los suelos.

Deberá realizarse el análisis del suelo con el fin de establecer las dosis de fertilizantes adecuados para cada caso en particular.

Además se recomienda las siguientes condiciones físico - químicas que deben cumplir los jugos destinados al procesamiento de panela granulada, mismos que son:

- Índice de madurez (relación decimal entre °Brix terminal y el basal de la caña): 0,85 – 1,00
- Concentración de sólidos solubles del jugo de caña: 18 °Brix aproximadamente
- Acidez de los jugos pH mayor a 5,20
- Pureza de los jugos (relación entre sacarosa y °Brix) 0,87 – 0,89
- Azúcares reductores en jugo menor de 1,50%
- Aponte de la caña 3 días máximo

El aponte involucra operaciones de corte, alce, transporte y almacenamiento.

a.1) Corte

Existen dos métodos. El primero es denominado corte por parejo, es un corte general de toda la cosecha, que se utiliza en cultivos tecnificados, manejados con el fin de que el crecimiento de los tallos sea uniforme y que en el momento del corte, el estado de madurez sea similar.

El segundo método denominado por entresaque, es un corte selectivo que consiste en recolectar solo cañas maduras, permaneciendo en el campo las inmaduras para posterior recolección; este método se aplica en zonas de topografía quebrada y en donde existen trapiches de economía camerina o en los que se maneja el cultivo como orgánico.

a.2) Alce – transporte

Una vez cortada la caña se levanta y transporta al trapiche; el transporte puede ser por tracción animal (asnos o caballos) o mecánica (vehículos o tractores).

a.3) Almacenamiento

Debe ser en un lugar fresco, con protección del sol para evitar las pérdidas por la respiración, no debe ser más de 30 horas ya que se presentan pérdidas en sacarosa por inversión, fermentación y deshidratación.

La etapa del aponte debe ser lo más corta posible para evitar la deshidratación del tallo y la aceleración en el desdoblamiento de la sacarosa (glucosa y fructosa), lo cual se refleja en la disminución del rendimiento en panela y su calidad.

b) Molienda

Los preneros se encargan de pasar la caña por el molino, para la extracción del jugo, y la separación del bagazo. Los trapiches pueden estar dotados de dos tipos de molinos: unos de tracción animal y otros de tracción mecánica; construidos en hierro fundido sea verticales u horizontales.

A través de un canal esterilizado pasa el jugo a una paila recibidora donde el calentamiento se inicia hasta 50°C y 55°C.

c) Clarificación

Se puede llevar a cabo en la misma paila recibidora o en una etapa diferente. Su objetivo es la eliminación de sólidos en suspensión, sustancias coloidales y algunos compuestos colorantes. Cuando el jugo está en 50°C-55°C se puede añadir flocculantes o clarificantes tales como mucílagos vegetales y cal.

En esta etapa se lleva el jugo a pH 7 o a un valor más elevado, para evitar la inversión de la sacarosa; se calienta hasta una temperatura aproximada a 100°C para flocular los sólidos en suspensión como proteínas, inactivar enzimas (invertasa), destruir las bacterias y estabilizar el sistema agua-azúcar. Además la caliza en forma de lechada de cal, forma un precipitado de fosfato de calcio que contribuye a la clarificación.

Al reaccionar con el fosfato soluble del jugo absorbe gran parte de la materia coloidal suspendida en el jugo hervido y precipita al fondo de la paila como un barro fino, posteriormente forma un mucílago, por ello el extracto se filtra por medio de cedazos o coladores.

d) Concentración y evaporación

Se efectúa en ollas concentradoras o recipientes abiertos a presión atmosférica, cercanos al horno panelero. En esta fase se elimina cerca del 90% del agua presente en el sistema agua-azúcar con lo que aumenta el contenido inicial de los sólidos solubles de 16-21 °Brix hasta el nivel conocido como punto de panela que es de 90-94 °Brix y a temperatura promedio de 120°C.

e) Punteo

El punto de panela se obtiene entre 118°C y 125°C y entre 88 y 94 °Brix, lo cual determina la consistencia, color y densidad de las mieles. Este parámetro se debe verificar visualmente, por la presencia de grandes burbujas; así como por la formación de películas muy finas al remover la miel.

Una prueba simple para comprobar si la miel está en su punto óptimo es tomar una muestra e introducirla en agua fría y evaluar si la muestra solidifica.

f) Batido

En el punto óptimo de sólidos solubles, la miel es llevada a la tina de batido, donde es removida rápida y constantemente para acelerar la eliminación del vapor de agua, propiciar el secado, el enfriamiento y la granulación de la miel como resultado de la cristalización de la sacarosa.

g) Tamizado

Dado que el batido es de forma manual, siempre hay la formación de gránulos o terrones de mayor tamaño que el deseado. El uso de una zaranda con abertura de malla de aproximadamente 3 [mm] (malla # 8) permite la separación de terrones y partículas de mayor tamaño. Los terrones o aglomeraciones de panela son sometidos a presión hasta alcanzar el tamaño característico.

h) Triturado

La fracción retenida en la zaranda es triturada en caliente en un molino manual o eléctrico de doble rodillo con movimiento convergente.

i) Enfriamiento

En esta etapa se deja enfriar la panela granulada, extendida sobre un mesón a manera de tina. Durante el enfriamiento hasta cerca de la temperatura ambiente se libera el resto de vapor de agua del producto y con ello se concluye el secado de la panela granulada.

j) Empaque y Almacenamiento

Una vez seca y fría la panela, inmediatamente se empaca a granel para preservar de la humedad del ambiente y de la contaminación. Como material de empaque se utiliza bolsas de polipropileno, polietileno de alta densidad o papel Kraft. Ya que la panela pulverizada es un producto higroscópico es decir que absorbe agua del ambiente, el material destinado para su empaque debe aislar el producto del medio exterior, con el fin de prolongar su vida útil. Es necesario que las bodegas estén especialmente acondicionadas y cuenten con buena circulación de aire de tal manera que, la humedad de equilibrio en almacenamiento sea menor o igual al 7% en el producto.

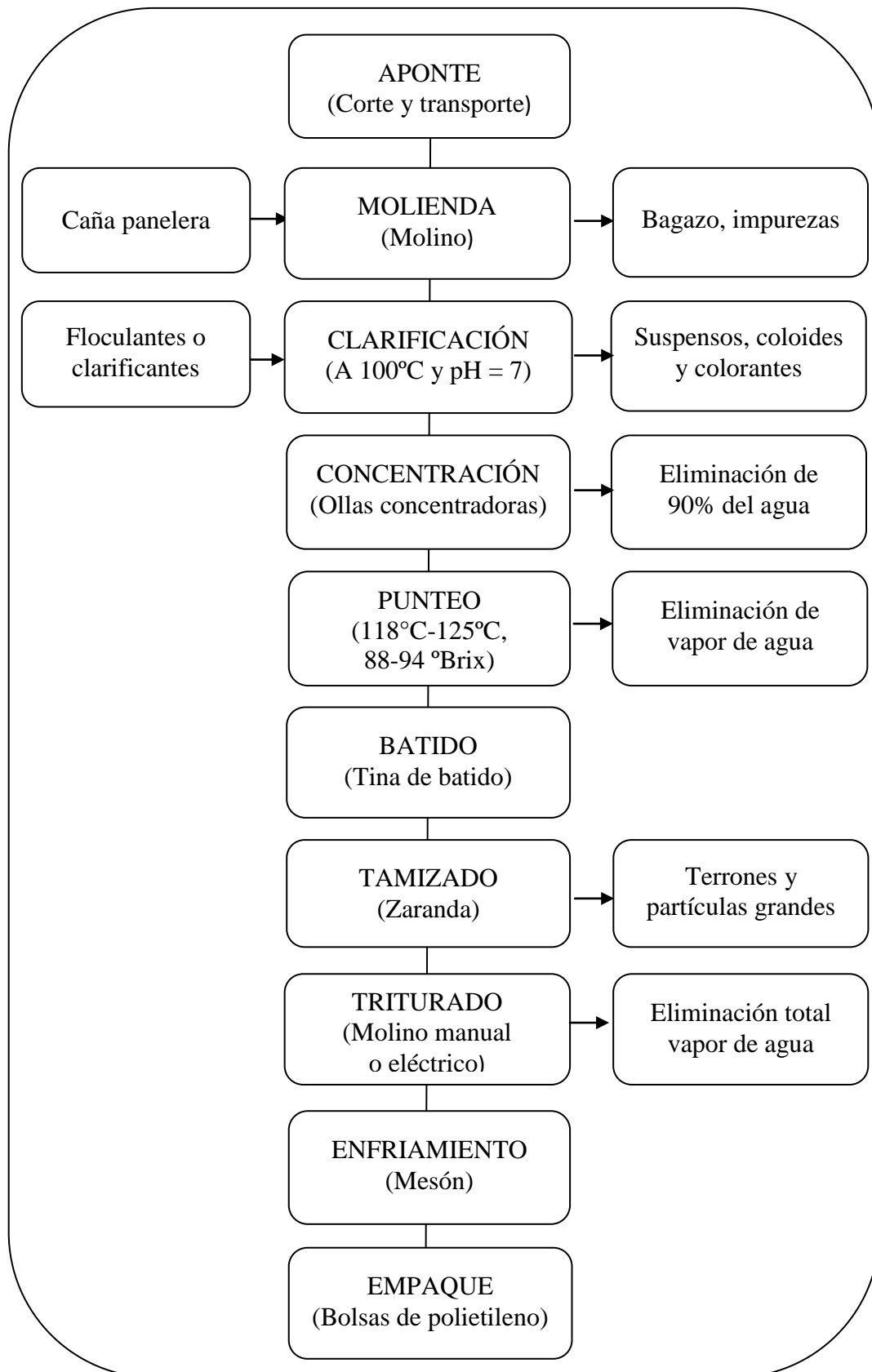


Figura 6. Diagrama de flujo del procesamiento de panela granulada
Elaborado por: Liliana Patricia Acurio Arcos

2.1.1.7 CONSUMO DE PANELA

La panela es usada como: edulcorante de bebidas refrescantes, bebidas calientes, endulzante de jugos, salsa para carnes y repostería, en tortas y pastelería, en conservas de frutas (mermeladas), como cicatrizante y en malestares de resfriados. El consumo de panela cumple dos funciones principales: la primera como un alimento cuyas características nutritivas especiales permiten considerarla como básico en la alimentación de la población, y cuyo consumo supe, en parte, los requerimientos nutricionales de la gente en materia de carbohidratos, minerales y vitaminas. La segunda consiste en que actúa como un ingrediente edulcorante de otros alimentos (FAO, 2006; Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2005; Rodríguez *et al.*, 2004).

Además como edulcorante, el consumo de panela tiene su sustituto más fuerte en el azúcar, el cual, proviene de la misma materia prima, la caña. Haciendo un análisis más profundo, los ciclos de producción y precios de la panela, tanto al productor como al consumidor, siguen la misma tendencia de los ciclos del azúcar. Así, cuando los precios del azúcar se presentan más bajos que los de la panela, es posible que se dé un desplazamiento del consumo hacia el azúcar por la economía que representa en el gasto familiar.

En este sentido se ha encontrado que la elasticidad de sustitución entre el azúcar y la panela es de -0,65; es decir, una disminución del 1% en el precio relativo del azúcar (precio del azúcar/precio de la panela) provoca una disminución de 0,65% en el consumo relativo de panela (consumo de panela/consumo de azúcar). Por otro lado, el proceso de urbanización y las deficiencias en la presentación y la calidad de la panela inducen al consumidor moderno a preferir el azúcar como edulcorante por su fácil y rápida disolución y por la homogeneidad. Económicamente la panela se define como uno de los bienes salario por la participación que tiene en la canasta familiar, también se cataloga como un bien inferior, en el sentido de que su consumo disminuye a medida que aumentan los ingresos del consumidor. Se ha estimado una elasticidad ingreso de la demanda de -0,50; es decir un aumento del 1% en el ingreso de los consumidores su demanda disminuye en 0,50%.

2.1.1.8 VARIABLES DE CALIDAD DE LA PANELA GRANULADA

a) Humedad

Según Kirk *et al.* (1999), el agua en los alimentos se encuentra en dos formas, como agua enlazada y como agua disponible o libre; el agua enlazada incluye moléculas de agua unidas en forma química, a través de puentes de hidrógeno a grupos iónicos o polares, mientras que el agua libre es la que no está físicamente unida a la matriz del alimento y se puede congelar o perder por evaporación o secado.

Además puntualiza que el contenido de humedad es la totalidad de agua que está retenida en un alimento dado, y es de gran importancia por razones científicas, técnicas y económicas.

Según Labuza (1982), si el agua está separada de un alimento, es decir una cantidad menor está disponible como solvente no se encontrará utilizable para las reacciones de degradación. Así, la mayoría de las reacciones química disminuyen proporcionalmente como disminuye el contenido de agua.

Además define que los efectos de contenido de agua son representativos críticos de la estabilidad del almacenamiento de comidas secas y semi-húmedas. Básicamente, los rangos de degradación son una función de disponibilidad de agua o actividad de agua.

Según Mathlouthi (2001), en alimentos la determinación del porcentaje de humedad se la realiza mediante el método de secado, determinándose la humedad por pérdida de peso debido a la evaporación de agua. Generalmente se expone a los alimentos a 105°C.

Recalca que la panela es un producto higroscópico, esto significa que tiene la capacidad de adsorción de agua, esta propiedad es desfavorable porque conduce a la formación de aglomerados que limitan la posterior solubilidad de los azúcares. El porcentaje de humedad de panela granulada es un parámetro de calidad de gran importancia, este valor se encuentra actualmente normalizado y debe tener un alcance máximo de 3%.

b) Actividad del Agua

Según Pawkit (2001) y Kirk *et al.* (1999), la actividad de agua (a_w) es un indicador de cuan estrechamente esta ligada el agua, estructuralmente o químicamente a una sustancia. Es un parámetro intrínseco, estrechamente ligado a la humedad del alimento y es el mejor indicador de la perecibilidad. Se define como la relación que existe entre la presión parcial de vapor de agua en equilibrio contenida en el alimento (P) y la presión de vapor del agua pura en equilibrio (P_o) a la misma temperatura ; siendo por esta razón un número sin unidades y con un valor que varía entre 0 y 1.

$$a_w = \frac{P}{P_o} = \frac{(HRE)}{100}$$

Donde:

P = presión parcial de vapor de agua en un alimento a una temperatura específica

P_o = presión de vapor de saturación del agua pura a la misma temperatura

(HRE) = humedad relativa en equilibrio a la misma temperatura

Además la disminución de la a_w frena el crecimiento de microorganismos, las reacciones catalizadas por enzimas (principalmente hidrolasas) y el pardeamiento no enzimático. La única excepción la constituye la auto-oxidación de los lípidos cuya velocidad incrementa en el alimento seco. Los alimentos con a_w comprendida entre 0,60 y 0,90 poseen una humedad intermedia y están protegidos de forma considerable frente a las alteraciones de microorganismos. Las bacterias se desarrollan a valores de a_w entre 0,90 y 1,00; las levaduras a 0,80 y los mohos entre 0,70 y 0,75.

Según Alvarado (1996) y Curiel (2005), la a_w influye en: el color, olor, sabor, textura y vida útil de muchos productos, predice la seguridad o estabilidad con respecto al crecimiento microbiano, es el mejor indicador de la perecibilidad de un alimento. La evaluación de la humedad relativa de equilibrio (HRE) es importante para productos de confitería, ya que predice su comportamiento y su vida útil. Cuando un caramelo tiene una (HRE) superior a la humedad relativa del ambiente, el producto cede humedad y cristaliza.

c) **Granulometría**

Según Chen (1991), otro de los aspectos de importancia tanto en el control de calidad de azúcar refinada, como de panela granulada es la granulometría o determinación del tamaño de partícula por tamizado. Por lo general, la cantidad de muestra que se toma es 100 [g] para pasar a través de un juego de tamices con malla de aberturas diferentes.

Según Lambe y Whitman (1997), la granulometría es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica. El método de determinación granulométrico más sencillo es hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices.

Desde tiempos de los egipcios se usaban tamices para separar semillas. Sin quererlo ya se hacía un control del tamaño de partícula, con fines expresamente de clasificación y calificación de los productos obtenidos. Hoy en día, una de las técnicas más empleadas es la de la "Difracción Láser", capaz de medir partículas desde 20 nanómetros [nm] a unos pocos milímetros en cuestión de segundos. Las partículas son atravesadas por un haz láser, produciéndose una dispersión de luz cuya intensidad y ángulo dependen de su tamaño (Iesmat S.A. Copyright, 2007).

Según la Norma mexicana (1985), la granulometría es un procedimiento analítico para la separación y conteo de las fracciones de la muestra, retenidas entre una serie de mallas establecidas. Puede ser considerada como la medición de la proporción de granos de cada tamaño que posee una mezcla.

Según Chen (1991) y INEN (2002), en el caso de azúcar refinada para el mercado, la granulometría se evalúa en las mallas número 30, 40 y 50; donde debe quedar como máximo 8%, 40% y 30% respectivamente. Para el caso de panela granulada, se especifica que por el tamiz número 10 debe pasar el 100% de producto para recibir la calificación de segunda; para recibir la calificación de primera debe pasar por el tamiz número 12 el 100% de producto y finalmente para recibir una calificación de extra debe pasar el 100% de producto por el tamiz número 14.

d) Compactación

Según el Diccionario de la Lengua Española (2005), compactar se define como la acción de apretar, apiñar, hacer compacta una cosa.

Según la Universidad Católica del Norte (2009), la compactación es un proceso artificial por el cual las partículas de una sustancia polvorosa, como en este estudio panela granulada, son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos; lo cual se traduce muchas veces en un mejoramiento de sus propiedades.

La importancia de la compactación estriba en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter una sustancia polvorosa a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

Además los métodos empleados para la compactación dependen del tipo de materiales con que se trabaje. Para bajos contenidos de humedad, el agua está en forma capilar produciendo compresiones entre las partículas constituyentes, lo cual tiende a la formación de grumos difícilmente desintegrables que dificultan la compactación.

Según Castillo (2009), la eficiencia de cualquier equipo de compactación depende de varios factores y para poder analizar la influencia particular de cada uno, se requiere disponer de procedimientos estandarizados que reproduzcan en laboratorio la compactación que se puede obtener in situ con el equipo disponible. De entre todos los factores que influyen en la compactación, podría decirse que dos son los más importantes: el contenido de agua de la sustancia y la energía específica, empleada en dicho proceso.

La compactación no es más que el apisonamiento de una sustancia polvorosa, para eliminar el aire atrapado en la mezcla y además ayudar a que esta se moldee a los diferentes envases. Estos vacíos en la masa provienen de varias causas, de las cuales las dos más importantes son el llamado aire atrapado, y las vacuolas producidas por la evaporación de parte del agua en el procesamiento de la panela granulada.

e) **Azúcares Invertidos**

Según SÍNTESIS (2002), los azúcares invertidos son producto de la hidrólisis fundamentalmente de la molécula de sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) por vía enzimática (invertasa:sacarasa) o por procedimientos fisicoquímicos como la hidrólisis con ácido clorhídrico a temperatura elevada o la utilización de resinas sulfónicas, formando una cantidad igual de monosacáridos como: glucosa ($C_6H_{12}O_6$) y fructosa ($C_6H_{12}O_6$).

Además en la inversión química hay un cambio de la actividad óptica de dextrógira a levógira o viceversa de las moléculas, o del poder rotatorio de la disolución cuando tiene lugar la hidrólisis.

En la disolución de sacarosa, la rotación específica es de $+66,50^\circ$ mientras que el azúcar invertido es de $-20,00^\circ$. El fenómeno de la inversión provoca aumento del sabor dulce y sobre todo aumento de la solubilidad debido a que la fructosa libre es más soluble que la sacarosa.

Para Vaclavik (2002), los azúcares invertidos son usados en productos de confitería ya que reducen la velocidad de cristalización y ayudan a mantener cristales pequeños. Una simple determinación de azúcares invertidos es midiendo el volumen de la solución de prueba requerida para precipitar totalmente el cobre presente en 10 ml de solución de Fehling.

El método oficial de la AOAC (Association of Official Analytical Chemist) (1995), N°923.09 propuesto por Lane-Eynon, describe que para la preparación de la solución de prueba se puede partir de los °Brix de cada muestra y realizar el cálculo para que su concentración de sacarosa al 1%. Así se toman 25 [ml] de solución de prueba y se diluye con agua destilada neutra, para posteriormente ajustar su pH a 3, con soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) 1N y 0.01N.

Además es necesario ajustar la dilución de tal manera que el volumen consumido en la titulación este dentro del rango de las tablas propuestas en el método de la AOAC (1995); para tener los valores respectivos en [mg/100ml] de azúcares invertidos. Luego se procederá a titular por duplicado y se puede realizar los cálculos correspondientes.

f) Otros Parámetros de Importancia

f.1) Sólidos Solubles (°Brix)

Según Chen (1991), el contenido de sólidos solubles, medido como °Brix es equivalente a la concentración de sacarosa en una solución acuosa que tiene el mismo índice de refracción. Pero cualquier compuesto soluble puede contribuir a la refracción de la luz de la solución. Por eso el contenido de sólidos solubles solo indica la dulzura para el caso del jugo, miel o panela, cuando el contenido de azúcares del jugo es alto comparado con los demás contenidos solubles; los °Brix en panela granulada son de 96 ± 2 .

f.2) Sólidos Sedimentables

Según el ICONTEC (2006) y el INEN (2002), en panela los sólidos sedimentables corresponden a la cantidad de materia extraña (arena, tierra y otros sólidos de suspensión) que se separan por centrifugación y pesado de sedimentos. En panela granulada el contenido máximo de sólidos sedimentables deben ser 0,10% para recibir la calificación de extra; 0,50% para ser de primera; y 1,00% para ser de segunda.

f.3) pH Y Acidez Titulable

Según Chen (1991), el pH (del francés *pouvoir hydrogène*, 'poder del hidrógeno'), indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución, se trata de una medida de la acidez. Se define como el logaritmo de la concentración de iones hidrógeno (H^+). El descenso de pH es un indicador clave del deterioro del jugo de caña dado por heladas, por acción enzimática o presencia directa de microorganismos. El valor de pH mínimo para panela granulada debe ser de 5,90.

Según el INEN (2002), los valores de acidez de un alimento en almacenamiento varían más ampliamente que el pH; los valores de acidez se constituyen como un indicador indirecto del deterioro. El ácido de mayor proporción en el jugo de caña y de importancia comercial es el ácido aconítico [$C_3H_3(COOH)_3$], existe en un promedio de 1,54% del total de sólidos que generalmente presenta; alrededor de tres veces más del nivel de otros ácidos como: cítrico, málico, oxálico, glicólico, mesacónico, tartárico, succínico, fumárico, siríngico, etc.

2.1.1.9 MECANISMO DE DEGRADACIÓN DE UN ALIMENTO

Según Speigel (1989), existen varios mecanismos de degradación del alimento, los principales corresponden al color, textura, sabor y nutrientes. Estos cambios se deben a diferentes reacciones, entre ellas:

- Acción enzimática (senescencia)
- Ataque microbiológico
- Pérdida o ganancia de humedad
- Recristalización del almidón
- Pérdida de nutrientes, color y textura
- Oxidación de lípidos, sabores y nutrientes
- Degradación luminosa

A pesar de la cantidad de mecanismos de degradación, muchos de ellos son poco entendibles, todos estos son agrupados en dos categorías:

1. Mecanismos de degradación interna
2. Mecanismos de degradación externa

El primer mecanismo, estudia todos los componentes localizados en la formulación del alimento, directamente por variaciones de los ingredientes e indirectamente por variaciones en el procesamiento. El segundo mecanismo, engloba los componentes que no son propios del producto, y se encuentran en el medio circundante y pueden controlarse por barreras de la estructura del empaque. Los componentes que se transfieren durante este mecanismo son principalmente oxígeno, humedad, compuestos volátiles, aroma y la luz.

Según Alvarado (1996), para estimar los periodos de vida útil, se necesita conocer los mecanismos principales de deterioro según los métodos de conservación aplicados. Por otro lado, cuando los alimentos se procesan ocurre un daño de los tejidos, varios compuestos químicos se liberan del entorno, reaccionan y son causa de cambios que disminuyen la calidad del producto, que se conoce como deterioro químico. Entre las reacciones más importantes de deterioro químico se mencionan la oxidación de lípidos, el pardeamiento no enzimático, la destrucción de vitaminas A, B y C. Además, existe el deterioro físico provocado por golpes, mal manejo, pérdida de agua y por congelación – descongelación.

2.1.1.10 VIDA ÚTIL

Según Moreano y Villacís (1998), la estimación de vida útil de productos semi-perecederos, tiene en la actualidad interés por parte de la industria de alimentos, aparentemente se considera que la determinación del tiempo de vida útil de un alimento, es un problema de solución sencilla. Producir alimentos de calidad, almacenarlos y analizarlos con intervalos de tiempos diferentes, puede considerarse como trivial.

Sin embargo, todo especialista que trabaja en este campo, conoce múltiples dificultades que la estimación de la durabilidad del producto presenta debido a: la diversidad de las vías de deterioro, la estabilidad intrínseca, diferentes tipos de envases, tecnologías utilizadas en su producción y las condiciones de almacenamiento. Nuestro país tiene la imperiosa necesidad de ahondar en el estudio de estos parámetros, para poder entrar a un mercado internacional competitivo cada vez mayor.

Según James (1973), los estudios de almacenamiento son fundamentales tanto para el desarrollo de nuevos productos como para alimentos ya existente que posean sustitución o cambio de especificaciones de la materia prima o material. La vida útil se caracteriza por la ineptitud del producto para el consumo humano, como el resultado de la contaminación microbiana, insectos, pérdida de ciertos atributos físicos como sabor, color, textura; viscosidad por la presencia de contaminantes químicos.

Además, define la vida de estante o vida útil como el intervalo de tiempo en el cual el producto alimenticio mantiene su aceptabilidad por parte del consumidor, utilizando como criterios determinados indicadores de calidad como alteraciones de color, sabor, textura o pérdida de valores nutricionales.

Para Cabral (1980), una definición más completa es la expuesta por el Institute of Food Technology (IFT), para el cual la vida útil es el periodo de tiempo transcurrido entre la producción y el consumo de un producto alimenticio, en el cual este se caracteriza por el nivel satisfactorio de calidad determinada por el valor nutritivo, sabor, textura y apariencia.

Para el Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia (1994), el criterio científico en la vida de estante o tiempo de vida útil está definido por pérdidas de valores nutricionales, cambios de color debido al pardeamiento u otras reacciones de oxidación, rancidez o una reducción significativa de la calidad sensorial, por la transferencia de metales del recipiente al contenido, residuos indeseables.

Además afirma que la durabilidad de un alimento es el periodo de tiempo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo desde el punto de vista sanitario y mantiene características sensoriales y funcionales por encima de un límite de calidad previamente establecido como aceptable.

Según Labuza (1982), en las últimas décadas especialmente con el establecimiento de los movimientos de la defensa del consumidor, varios sistemas de información se han propuesto como parte del “derecho a saber” de los consumidores consolidar la apertura de datos sobre un alimento, mismos que deben estar en la etiqueta, en forma legible; además de informar al consumidor sobre la vida de anaquel del producto.

Entre los datos que pueden ser incluidos se indica: la fecha última en la cual el producto puede ser vendido, permitiendo que el consumidor disponga de un tiempo razonable para su consumo o uso; la fecha última de máxima calidad del producto y/o la fecha después de la cual el alimento no mantiene un nivel aceptable de calidad.

La frase “tiempo de vida útil” tendrá diferente significado según la exigencia del consumidor y el país en que se utiliza (Chicaiza and Martínez, 1996).

Fennema y Powrie señalaron que los alimentos nunca son completamente congelados durante el almacenamiento comercial y normal. Cambios asociados con un deterioro ocurren continuamente a una velocidad gobernada por la temperatura de almacenamiento y el tipo de producto. Generalmente cuando la temperatura se incrementa, la velocidad de deterioro también se incrementa, sin embargo esta no es una ley general, a una misma temperatura grandes diferencias se establecen entre el deterioro que sufre el alimento con relación a otros, así los dos sean provenientes de la misma materia prima (Ministerio de Comercio, 1975).

Según Valencia *et al.* (2008), los estudios de vida útil para definir la duración de los alimentos son necesarios para no sobre dimensionar el tiempo que realmente dura el producto. La vida útil de un alimento comprende el tiempo transcurrido entre la fabricación y el momento en que se presentan cambios significativos en él, que puedan generar rechazo en el consumidor final.

Según Labuza (1982), la vida útil varía de acuerdo: al proceso de producción, la naturaleza del producto y el tiempo de almacenamiento, obteniéndose cambios a niveles: microbiológicos, sensoriales y/o físico-químicos. Es importante identificar los factores específicos que afectan la vida útil y evaluar sus efectos individuales y combinados. Los factores se pueden dividir en:

- a) factores intrínsecos: materia prima (composición, estructura, naturaleza), actividad de agua, pH, acidez, disponibilidad de oxígeno y potencial Redox (Eh).
- b) factores extrínsecos: procesamiento, higiene y manipulación, materiales y sistemas de empaque, almacenamiento, distribución y venta.

A nivel sensorial, la vida útil en estantería de los alimentos depende de la aceptación, al interactuar el alimento con el consumidor. Por ello los consumidores son la herramienta más apropiada para determinarla.

2.1.1.11 EVALUACIÓN CIENTÍFICA DE LA VIDA DE ANAQUEL

a) Reacciones Cinéticas Básicas para la Predicción de Pérdida de Calidad en los Alimentos

Según Chicaiza y Martínez (1996), el tiempo promedio que un producto permanece en “buenas condiciones” a varias temperaturas de almacenamiento es el que se conoce como “Tiempo de Vida Útil” y su conocimiento es de extrema importancia para efecto de su comercialización.

Domínguez A. (2008), establece que la cinética de deterioro de panela granulada en cuanto al recuento de mohos y levaduras así como el valor de pH presentan una tendencia a decrecer, mientras que la absorbancia aumenta a medida que se incrementa la temperatura de almacenamiento.

El efecto inverso de la temperatura sobre la cinética de deterioro parecería favorable para limitar el desarrollo de mohos y levaduras, sin embargo, las altas temperaturas afectan a la calidad de la panela en cuanto a pH y color característico.

En condiciones normales (26 °C y 50% HR), la variación del contenido de humedad no fue significativa. Además propone las condiciones críticas de 32 °C para la temperatura y 75% de humedad relativa para el almacenamiento de panela granulada.

b) Ecuación Básica

De acuerdo con lo reportado por Labuza (1982), la pérdida de calidad de muchos alimentos puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{dA}{d\theta} \right) = kA^n$$

Donde:

A = factor de calidad medido

θ = tiempo

k = constante que depende en especial de la temperatura y de la actividad de agua

n = factor potencial llamado orden de la reacción

$\left(\frac{dA}{d\theta} \right)$ = variación en porcentaje de A respecto al tiempo

En el primer miembro de la ecuación, el signo menos (-) se utiliza si el deterioro es una pérdida de A, y el signo más (+) cuando se refiere a la producción de un producto final indeseable.

Usualmente, al estudiar vida de anaquel los resultados no son obtenidos en porcentaje, pero, como el aumento de A (factor de calidad) está en función del tiempo, los datos de deterioro se pueden transformar dentro del plano cinético.

Desafortunadamente, la mayoría de los datos para alimentos no se analizan en esta forma, lo cual puede conducir a resultados erróneos en la predicción correcta de vida de anaquel.

Si se admite que $n = 0$, llamado reacción de cero orden, la razón de deterioro será constante, cuando la temperatura y la actividad de agua son constantes (Chicaiza and Martínez , 1996).

$$-\left(\frac{dA}{d\theta}\right) = k$$

La ecuación, indica que el porcentaje de vida de anaquel perdido por día, es constante a una temperatura constante. Matemáticamente, si la ecuación fuera integrada tomando en cuenta que A_0 es el estado inicial a un tiempo cero y A_e el estado al tiempo t , tendríamos:

$$-\int_{A_0}^{A_e} dA = k \int_0^{\theta_s} d\theta$$

Entonces:

$$A = A_0 - k \theta$$

ó

$$A_e = A_0 - k \theta_s$$

Donde:

A_0 = valor inicial del factor determinante de calidad

A = aumento o pérdida después del tiempo θ

A_e = valor de A al final de la vida de anaquel (puede ser cero o un valor definido)

θ_s = vida de anaquel en días, meses o años

En muchos casos A no es un valor muy cuantificable o medible, y esta solamente basado en un panel de evaluación humana. En este caso A_0 es asumido como el 100% de calidad y A_e es como la calidad inaceptable. Así, el porcentaje de deterioro es constante.

$$k = \frac{100\%}{\theta_s} = \text{porcentaje constante por día}$$

Además, basados en trabajos anteriores, refieren algunos modos de deterioro que son aplicables directamente a la cinética de cero orden. Eso incluye:

- 1) Degradación enzimática (vegetales y frutas frescas, algunos alimentos congelados, algunos productos de panadería refrigerados)
- 2) Empardeamiento no enzimático (cereales, productos de lechería y alimentos para animales secos que pierden su valor nutricional proteico)

- 3) Oxidación de grasas (desarrollo de la rancidez en snacks, alimentos secos, alimentos para animales y alimentos refrigerados)

Entonces se puede predecir el tiempo de vida de anaquel de un alimento a una temperatura particular dada, si la cantidad de pérdida es conocida en relación al tiempo.

C) Pérdidas de la Vida de Anaquel en Función de las Variables: Primer Orden

Según Labuza (1982), en muchos casos la vida de anaquel no sigue un porcentaje constante de degradación, por lo que el valor de n puede ser diferente de cero; siendo un valor entero o fraccionado entre cero y dos. Muchos alimentos que no se deterioran por orden cero siguen un diseño $n = 1$ el cual resulta de un decrecimiento exponencial en porcentaje de pérdidas como disminución de la calidad. En el caso de ser de orden 1, corresponde a una ecuación de primer orden. Matemáticamente expresada así:

$$-\left(\frac{dA}{d\theta}\right) = kA^1$$

Así, el porcentaje de pérdida de calidad en un alimento es directamente dependiente del aumento de pérdida del primer miembro de la ecuación. En trabajos experimentales reportados por Chicaiza y Martínez (1996), como el parámetro de calidad (A) decrece considerablemente, afecta al porcentaje de pérdida de la calidad presentando un valor bajo. Integrando la ecuación anterior, se tiene:

$$\int_{A_0}^A \left(\frac{dA}{A}\right) = -k \int_0^{\theta} d\theta$$

Entonces:

$$\ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = -k\theta$$

ó

$$\ln\left(\frac{A_e}{A_0}\right) = -k\theta_s$$

Donde:

A = cantidad pérdida al tiempo θ

A_e = cantidad pérdida en el fin de vida de anaquel θ_s (no debe ser igual a cero)

k = porcentaje constante en unidades del tiempo recíproco

θ_s = vida de anaquel en días, meses o años

Además revelan ejemplos de gran importancia en el deterioro de alimentos descritos por un orden de reacción uno, y son los siguientes tipos de deterioros:

- Rancidez (ensaladas, aceites y vegetales secos)
- Crecimiento microbiano
- Muerte microbiana
- Producción microbiana en frutas frescas
- Pérdida de vitaminas y pérdida de calidad proteica

2.1.1.12 ENERGÍA DE INTERACCIÓN

Según Rao (1977), durante el procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización y consumo de alimentos, se registran diferentes temperaturas. La razón incremental de factores causantes de deterioro en función de la temperatura puede ser explicada mediante el modelo de Arrhenius.

$$k = k_A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

Que linealizada corresponde a:

$$\ln k = \ln k_A - \left(\frac{E_a}{RT}\right)$$

Donde:

k = razón incremental de factores de deterioro

k_A = es la constante pre-exponencial

E_a = energía de activación de Arrhenius [J/g.mol], siendo una medida de la sensibilidad de la reacción de deterioro a la temperatura

R = constante ideal de los gases (8,314 Joules/g.mol K)

T = temperatura en Kelvins

La E_a es posible determinar desde el gráfico logaritmo natural de k en función del inverso de la temperatura absoluta, el cual da línea recta con pendiente $-E_a/R$.

2.1.1.13 CARACTERIZACIÓN DE PANELA GRANULADA

Heldman y Singh (1981) señalaron que los productos alimenticios secos constituyen una porción considerable del número total de alimentos disponibles para el consumidor. El diseño de sistemas de manejo de productos secos requieren conocimientos de sus propiedades, entre ellas: densidad de bulto floja, densidad de bulto apretada, densidad aparente de partícula, tamaño de partícula, distribución de tamaño de partícula, ángulo de reposo y coeficiente de fricción.

La densidad de bulto es definida por la siguiente ecuación:

$$(DB) = \frac{M}{V}$$

Donde:

(DB) = densidad de bulto

M = masa

V = volumen

Aunque esta ecuación es relativamente simple, en productos pulverulentos dos tipos de densidad de bulto han sido designados: floja, si el producto se coloca en un recipiente de volumen conocido sin vibración; y apretada, si se utiliza vibración hasta que se mantenga el volumen constante.

La densidad de bulto es definida por la siguiente ecuación:

$$(DBF) = \frac{M}{V}$$

Donde:

(DBF) = densidad de bulto

M = masa

V = volumen

Como es de esperarse, el valor de densidad de bulto será dependiente de las características de la harina, del tamaño de partícula y muchos factores que influyen sobre estas características. Además afirman, que una propiedad importante de alimentos granulares y polvos es el tamaño de partícula y la distribución del tamaño. Aunque el diámetro medio de partícula puede ser útil en la descripción del producto, la idea completa no es clara hasta que la distribución de tamaño también sea descrita.

Es importante considerar el tipo de diámetro medio que se utiliza en una distribución del tamaño de partícula. Mugele y Evans (1951), desarrollaron una expresión generalizada, que puede ser usada para definir todos los tipos de diámetros medios. Esta expresión es:

$$X_{qp}^{q-p} = \left(\int_{X_0}^{X_n} (X^q)(d\Sigma N / dX)dX \right) / \left(\int_{X_0}^{X_n} (X^p)(d\Sigma N / dX)dX \right)$$

$$X_{qp}^{q-p} = (\Sigma(X^q N)) / (\Sigma(X^p N))$$

Siendo:

X = diámetro medio

N = número de partículas

p y q = valores presentados para los diferentes tipos de diámetros medios

En la Tabla 12 se reporta el símbolo para los diferentes tipos de diámetros medios, así como el orden y los valores de p y q.

Tabla 12. Valores p y q para los tipos de diámetro medio

Símbolo	Nombre del diámetro medio	P	q	Orden
X _l	Lineal (aritmético)	0	1	1
X _s	Superficie	0	2	2
X _v	Volumen	0	3	3
X _m	Masa	0	3	3
X _{sd}	Superficie-diámetro	1	2	3
X _{vd}	Volumen-diámetro	1	3	4
X _{vs}	Volumen-superficie	2	3	5
X _{ms}	Masa-superficie	3	4	7

Fuente: Alvarado, 1996

Alvarado (1996), plantea como ejemplo, al reemplazar los valores, el diámetro medio numérico, lineal o aritmético, es definido por:

$$X_l = \Sigma(XN)/N$$

2.1.1.14 REDUCCIÓN DE TAMAÑO Y TAMIZADO

Según Ibarz *et al.* (2000), muchos productos de la Industria Alimentaria requieren una preparación y acondicionado, con el fin de obtener un tamaño determinado de partícula. Esto requiere dos operaciones unitarias: reducción de tamaño (trituración y molienda) y tamizado.

Al aplicar la reducción de tamaño a una sustancia se obtiene un producto más o menos pulverulento, según su naturaleza, las características del equipo, el tiempo de operación, etc. No todas las partículas producidas tienen el mismo tamaño por lo que es de gran interés conocer la distribución de tamaños que cada máquina puede producir.

La distribución de tamaños se obtiene colocando un producto de descarga de un molino en una serie de tamices, ordenados en forma descendente según la luz de malla. La cantidad de producto retenida por un tamiz se llama rechazo (R), y la no retenida cernido (C). el tamaño medio de rechazo (L) es la media aritmética de las luces de malla entre dicho tamiz y el superior.

2.1.1.15 CÁLCULO DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA

Según Ibarz *et al.* (2000), en el análisis de una muestra por tamizado, una de las magnitudes que más interesa conocer es la relación existente entre la masa de la muestra y la distribución de la superficie específica de las partículas en esta masa. La superficie total por unidad de masa de la muestra se denomina superficie específica y se representa por A_w .

Para calcular A_w se emplea la ecuación teórica:

$$A_w = \frac{6}{\lambda \rho} \int_0^1 \frac{d\phi}{D_p}$$

Donde:

λ = factor que depende de la forma de las partículas

ρ = densidad de la sustancia

ϕ = fracción de producto retenido acumulado en cada tamiz (valor de los rechazos acumulados/cantidad total de producto ó R_a/M)

D_p = diámetro de partícula, que coincide con tamaño medio de rechazo (L)

El factor λ da una relación entre la superficie/volumen de las distintas formas de partículas, en caso de partículas esféricas, $\lambda = 1$.

El valor de la integral se puede calcular gráfica o numéricamente, y como λ y ρ son valores conocidos se obtiene A_w .

2.1.1.16 CÁLCULO DEL NÚMERO DE PARTÍCULAS

Según Ibarz *et al.* (2000), una magnitud importante también en el análisis de una muestra por tamizado es el número de partículas por unidad de masa, que se representa por N_w .

Por análisis acumulativo N_w se calcula según:

$$N_w = \frac{1}{a\rho} \int_0^1 \frac{d\phi}{D_p^3}$$

En la que a es el factor geométrico que relaciona el volumen (V_p) de una partícula cualquiera con D_p :

$$V_p = a D_p^3$$

En el caso de partículas esféricas:

$$a = \frac{\pi}{6}$$

El valor de la integral se puede calcular gráfica o numéricamente

2.1.1.17 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Según Yasuji (2004), el microscopio es un instrumento que se utiliza para magnificar la imagen de un objeto diminuto. Si la imagen es formada por “luz”, se llama microscopia de luz, y si la imagen es formada por “electrones”, se llama microscopia electrónica. Existen dos tipos de microscopios electrónicos que se usan comúnmente: el de Transmisión y el de Barrido.

El microscopio electrónico de transmisión (TEM) es análogo al microscopio de luz en el principio de la formación de imagen. El microscopio electrónico de barrido (SEM) tiene alguna semejanza con el de tipo radar en la exploración. El principio del Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) es bastante diferente comparado con el de Transmisión. Ambos utilizan “el rayo de electrones”, sin embargo trabajan con mecanismos totalmente diferentes. En un SEM, el rayo de electrones se llama “sonda”, a causa de la intensidad del rayo de electrones que pasa por la superficie del objeto.

Los electrones en la sonda cuando encuentran un objeto, serán desviados por átomos en el cuerpo, llamándose a esto “electrón disperso”. Sin embargo, a la vez algunos electrones en la sonda causan la emisión de “electrones secundarios” cerca de la superficie y los “rayos X” emitidos desde la sub-superficie del área del objeto.

De acuerdo a lo planteado por Yasuji (2004), la mayoría de SEM que son usados en áreas biológicas, tiene imágenes formadas desde electrones secundarios. En general, los electrones esparcidos y los rayos X proveen información útil sobre el objeto, como se lo resumirá a continuación:

1. Electrones secundarios: Observación topográficamente detallada de la superficie.
2. Electrones esparcidos en la parte posterior: Componen la observación de superficie.
3. Rayos X: El análisis elemental del espécimen.

La intensidad de electrones esparcida por el espécimen y los electrones secundarios emitidos desde el espécimen, dependen de la composición elemental de la superficie topográfica del objeto y de la energía, e inciden en la sonda de electrones emitida.

Los electrones dispersos o los electrones secundarios pueden ser tomados por un electrodo de carga positiva llamado colector o ánodo. El electrón cargado se refleja sobre la pantalla fluorescente (llamada cintillador) y emite alta fluorescencia.

La fluorescencia emitida por el electrón cargado por el cintillador, es convertida a corriente eléctrica por un tubo fotomultiplicador (PMT).

La corriente eléctrica, amplificada por un circuito electrónico se usa para controlar la brillantez de un tubo de rayos catódico (CRT), las velocidades de rastreo de sonda y el rayo electrónico del CRT están sincronizadas, la topografía del espécimen puede ser reproducida sobre la pantalla del CRT.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Según El Liceo Digital (2009), la investigación es una actividad que ha preocupado a filósofos y científicos porque les ha inquietado conocer el valor y el sentido de su actividad, por lo tanto sus preocupaciones no han sido exclusivamente de carácter epistemológico, sino también de orden axiológico. Ambos aspectos han sido objeto de su interés incrementándose su atención en los últimos tiempos.

Además el proyecto de investigación empleó lógica aplicada, que corresponde a un proceso de pensamiento que analiza el contenido real de sus premisas, y conduce a una verdad material, una conclusión que sea concordante con la realidad. La investigación recae en un principio de causalidad mismo que afirmarí que no pueden existir efectos sin causas, puesto que el hombre no cree que sabe una cosa hasta que ha entendido el porqué, lo que es captar su causa primaria.

La lógica aplicada está regida por "leyes naturales" que una vez conocidas permiten explicarla matemáticamente, predecirla y controlarla de manera exacta; que la función de la ciencia radica en realizar una descripción empírica generalizadora de las características y regularidades observables de los fenómenos, sin profundizar en sus esencias; y la absolutización de los métodos empíricos, cuantitativos, hipotéticos-deductivos en la investigación en detrimento de los cualitativos.

La presente investigación se basa en el paradigma positivista que tiene como escenario de investigación el laboratorio a través de un diseño pre estructurado y esquematizado; lo que según Kremer (1997), su lógica de análisis está orientada a lo confirmatorio, reduccionista, verificación, inferencial e hipotético deductivo mediante el respectivo análisis de resultados.

Además la realidad es única y fragmentable en partes que se puede manipular independientemente, y la relación sujeto-objeto es independiente. Para este enfoque la realidad es algo exterior, ajeno, objetivo y puede y debe ser estudiada por tanto conocida.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

2.3.1 NORMA TÉCNICA ECUATORIANA OBLIGATORIA – INEN N°2332:2002 PARA PANELA GRANULADA

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) ha establecido normas técnicas y reglamentaciones tanto para materias primas como para productos elaborados.

En el caso específico de panela granulada, la norma INEN N° 2332:2002, define a la panela granulada como un producto obtenido por la concentración de jugo de caña hasta la obtención de un jarabe espeso que se solidifica y granula por batido. Además determina requisitos obligatorios que debe cumplir el producto para asegurar el consumo humano mismos que se reportan en las Tablas 12, 13 y 14.

Tabla 13. Clasificación de la panela de acuerdo a la cantidad de sólidos sedimentables y granulometría

Panela	Sólidos sedimentables	Pase al 100% por tamiz	
	Máx. [g/100g] de panela	mm de abertura	No.
Extra	0,1	1,40	14
Primera	0,5	1,70	12
Segunda	1,0	2,00	10

Método de ensayo NTE INEN 388

Fuente: (Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria – INEN N° 2332:2002)

Tabla 14. Requisitos físico-químicos de panela granulada

Requisito	Unidades	Min.	Max.	Método de ensayo
Colorante		Negativo		
Color T	550 [nm]	30	75	NTE INEN 268
Azúcar	[%]	5,5	10	NTE INEN 266
Sacarosa	[%]	75	83	NTE INEN 266
Humedad	[%]	-	3	NTE INEN 265
pH		5,9	-	

Fuente: (Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria – INEN N° 2332:2002)

Además según la norma INEN (2002), debe cumplir las siguientes especificaciones:

- Estar libre de impurezas, materias inorgánicas (piedras, arena), con un máximo de 0,10%.

- Estar sujeta a las normas Ecuatorianas correspondientes o a las de Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el CODEX ALIMENTARIUS, referente a residuos de plaguicidas y metales pesados.
- Estar exenta de compuestos azufrados y de sustancias blanqueadoras, no contener colorantes artificiales.
- Estar exenta de residuos de los siguientes plaguicidas:
aldrín, dieldrín, endrín, BHC, campheclor, clordimeform, clordano, DDT, DBCP, lindano, EDB, 2-4-5 T, amitrole, compuestos mercuriales y de plomo, tetracloruro de carbono, leptophos, heptacloro, clorobenzilato, metil paratión, dietil paratión, mirex y dinozeb.
- Estar exenta de microorganismos patógenos como *Echericha coli*. Los requisitos microbiológicos basados en la evaluación de un recuento de mohos y levaduras, se muestran en la Tabla 14.

Tabla 15. Requisitos microbiológicos para panela granulada

REQUISITO	N	M	M	C
Recuento de mohos y levaduras [upc/g]	3	$1,0 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$	2
Método de ensayo INEN N° 1529-10				

N = número de muestras a analizar; m = nivel de buena calidad;

M = valor máximo permitido;

C = número de muestras aceptadas con M;

upc = unidades propagadoras de colonias

Fuente: (Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria – INEN N° 2332:2002)

Como requisitos complementarios, la norma especifica el deber de cumplir con el Código de Salud y sus reglamentos en cuanto a la limpieza y desinfección de instalaciones y sitios destinados para bodegas de almacenamiento.

También se detalla que la planta debe contar con protección contra ataque de insectos, ratas y demás plagas; disponer de un sistema eficaz de evacuación de efluentes y desechos; además el almacenamiento de materia prima, insumos, materiales, envases, embalajes, productos y subproductos debe ser adecuado e impedir el ingreso de animales.

2.3.2 NORMA REFERENCIAL DE COLOMBIA

El Ministerio de Protección Social de Colombia (2009), establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir la producción y comercialización de la panela para consumo humano.

2.3.2.1 DEFINICIONES

a) Panela: Producto natural obtenido de la extracción y evaporación de los jugos de la caña de azúcar, elaborado en los establecimientos denominados trapiches paneleros o en las centrales de acopio de mieles vírgenes, en cualquiera de sus formas y presentaciones.

b) Panela Adulterada: Es aquella a la que se le han sustituido parte de los elementos constituyentes o si se le ha adicionado sustancias no autorizadas.

c) Panela Alterada: Aquella que sufre modificación o degradación, parcial o total de los constituyentes propios, ocasionado por agentes físicos, químicos o biológicos.

d) Panela Contaminada: Panela que contiene agentes y/o sustancias extrañas a su composición en cantidad superior a la permitida en normas nacionales o internacionales.

e) Panela Falsificada: Panela falsificada es aquella que:

e.1) Se le designa o se expende con nombre o calificativo distinto al que le corresponde;

e.2) Su envase, rótulo o etiqueta contiene diseño o declaración ambigua, falsa o que pueda inducir o producir engaño o confusión respecto de su composición intrínseca y uso;

e.3) No proceda de sus verdaderos fabricantes y denominado como este, sin serlo.

2.3.2.2 CONDICIONES GENERALES DE LA PANELA

a) Estar libre de ataques de hongos, mohos, insectos y roedores.

b) Elaborarse en establecimientos autorizados con requisitos higiénicos de fabricación.

Para residuos de plaguicidas deben tenerse en cuenta las normas oficiales de carácter nacional, o en su defecto, las normas internacionales como las de Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

2.3.2.3 REQUISITOS Y PROHIBICIONES

La panela granulada o en polvo debe cumplir con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 15; adoptándose las siguientes convenciones: %: Tanto por ciento, N: Nitrógeno.

Tabla 16. Requisitos físico-químicos de la panela granulada o en polvo

Requisito	Unidad	Mínimo	Máximo
Azúcares	[%]	5,74	-
Azúcares no reductores, expresados en sacarosa	[%]	-	90,00
Proteínas	[%] (N × 6,25)	0,20	-
Cenizas	[%]	1,00	-
Humedad	[%]	-	5,00
Plomo	Pb en [mg/kg]	-	0,20
Arsénico	As en [mg/kg]	-	0,10
SO ₂		Negativo	
Colorantes		Negativo	

Fuente: Ministerio de Protección Social de Colombia, 2006.

2.3.2.4 ADITIVOS PERMITIDOS EN LA ELABORACIÓN DE PANELA

- a) Reguladores de pH: Bicarbonato de sodio, ácido fosfórico, carbonato de calcio.
- b) Antiespumantes: Grasas vegetales, grado alimenticio.
- c) Clarificantes: Poliacrilamidas, balsa, guásimo y cadillo

2.3.2.5 PROHIBICIONES EN CUANTO A SUSTANCIAS E INSUMOS

- a) Hidrosulfito de Sodio u otras sustancias químicas tóxicas con propiedades blanqueadoras; que alteren su valor nutricional o que pueda afectar la salud.
- b) Colorantes o sustancias tóxicas, grasas saturadas;
- c) Azúcar, mieles procedentes de ingenios azucareros o trapiches paneleros, jarabe de maíz, otros endulzantes y panelas devueltas con incidencia en la inocuidad y calidad.

2.3.2.6 CONDICIONES SANITARIAS DE LOS TRAPICHES PANELEROS

a) Instalaciones sanitarias

El trapiche debe disponer de servicios sanitarios en cantidad suficiente, bien dotados y en buenas condiciones; y ser conectados a un sistema de residuos.

b) Instalaciones físicas

a) Estar ubicados en lugares alejados de focos de contaminación; y sus alrededores deben estar libres de residuos sólidos y aguas residuales y estar separados de cualquier tipo de vivienda;

d) Ausencia de animales y personas diferentes a los operarios; y su funcionamiento no debe poner en riesgo la salud y bienestar de la comunidad;

e) Delimitación física entre la recepción, producción, almacenamiento y servicios sanitarios;

g) Los alrededores de los trapiches paneleros no deben presentar malezas, ni objetos o materiales en desuso; ni se debe almacenar mieles, jarabe de maíz, azúcar y otros edulcorantes, blanqueadores ni colorantes.

c) Personal manipulador

Los operarios deben tener uniformes limpios y en buen estado; tener cuidado en el lavado de las manos, no usar joyas, ni comer, ni fumar o beber en las áreas de proceso de la panela; y ser constantemente capacitados en prácticas higiénicas de manipulación de alimentos.

d) Disposición de residuos sólidos

Los residuos sólidos deben ser removidos de los recipientes apropiados con la frecuencia necesaria para evitar la generación de malos olores y contaminación.

e) Control de plagas

Tener e implementar un programa escrito de procedimientos para el control integral de plagas y roedores, bajo la orientación de la autoridad sanitaria;

f) Limpieza y desinfección

Implementar un programa de limpieza y desinfección de las diferentes áreas, equipos y utensilios que incluyan concentraciones, modo de preparación y empleo. El agua que se utilice debe ser de calidad potable o fácil de higienizar.

g) Condiciones del proceso de fabricación

- a) El material, diseño, acabado e instalación de los equipos y utensilios deberán permitir la fácil limpieza, desinfección óptima y mantenimiento higiénico.
- b) La distribución de planta debe tener un flujo secuencial del procesamiento y prevenir la contaminación cruzada;
- c) Los trapiches deben contar con equipos, recipientes y utensilios que garanticen las buenas condiciones sanitarias en la elaboración de la panela.

h) Sala de proceso

Las paredes estarán limpias y en buen estado; los pisos del área de producción deben ser lavables, de fácil desinfección, no porosos ni absorbentes. Los sifones deben tener rejillas en buen estado; el techo debe estar en buen estado y ser de fácil limpieza; y las áreas tendrán iluminación y ventilación adecuadas.

i) Materias primas e insumos

Las materias primas e insumos se deben almacenar en condiciones sanitarias adecuadas en áreas independientes, marcadas e identificadas.

j) Envase y embalaje

Se realiza en condiciones higiénico-sanitarias para evitar la contaminación. Se prohíbe el embalaje de panelas en costales o material no sanitario; se conservará en buenas condiciones durante la cadena de comercialización. La rotulación cumplirá con:

- Marca comercial, nombre completo del producto e ingredientes;
- Nombre y ubicación del trapiche panelero;
- Número de lote o fecha de producción y condiciones de conservación;
- Declaración del contenido neto, de acuerdo con la normatividad vigente;

La panela de exportación, se rotulará de acuerdo a la exigencia del país de compra.

k) Almacenamiento

El almacenamiento se debe realizar en pilas o sobre estibas, con adecuada separación entre las paredes y el piso; en las condiciones adecuadas de temperatura, humedad y circulación del aire.

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

2.4.1. GRÁFICOS DE INCLUSIÓN INTERRELACIONADOS

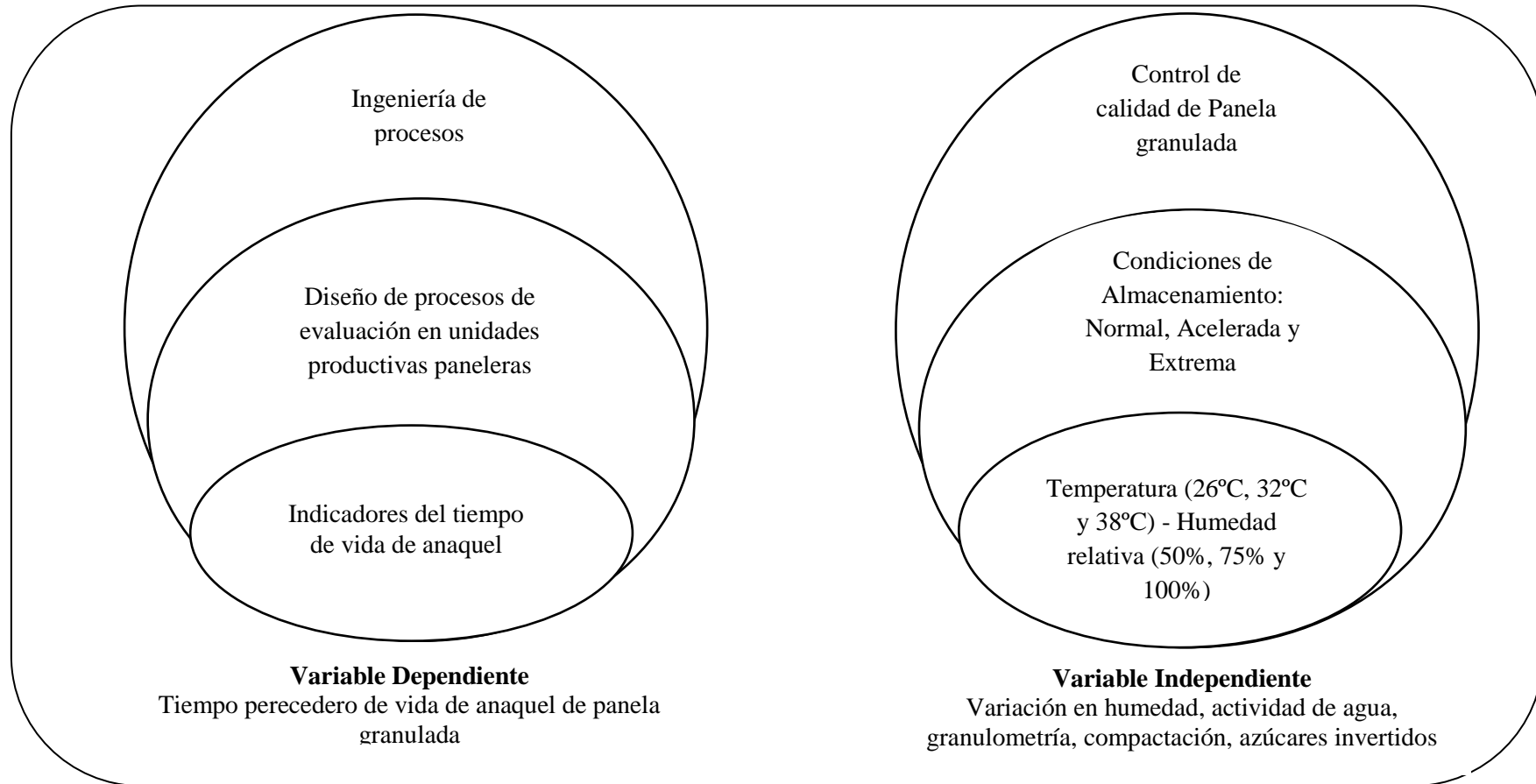


Figura 7. Gráficos de inclusión interrelacionados
Elaborado por: Liliana Patricia Acurio Arcos

En la Tabla 16, se detalla claramente el desarrollo de las categorías fundamentales del presente proyecto.

Tabla 17. Categorías fundamentales

Variable Independiente			
Variación en humedad, actividad de agua, granulometría, compactación, azúcares invertidos	Condición	Temperatura	Humedad relativa
	Normal	26°C	50%HR
	Acelerada	32°C	75%HR
	Extrema	38 °C	100%HR
Variable Dependiente			
Tiempo de vida de anaquel	Unidades productivas de panela granulada	Ingapi	
		El Paraíso	

Elaborado por: Liliana Patricia Acurio Arcos

2.5 HIPÓTESIS

2.5.1 HIPÓTESIS NULA (H₀)

(H₀): La humedad, la actividad del agua, la granulometría, el poder de compactación, la fuerza de corte, así como el contenido de azúcares invertidos; no son indicadores del tiempo de vida de anaquel de panela granulada almacenada a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, procedente de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso.

2.5.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA (H_i)

(H_i): La humedad, la actividad del agua, la granulometría, el poder de compactación, la fuerza de corte, así como el contenido de azúcares invertidos; son indicadores del tiempo de vida de anaquel de panela granulada almacenada a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, procedente de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Variación en humedad, actividad de agua, granulometría, compactación, azúcares invertidos

2.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Tiempo de vida de anaquel de panela granulada.

El señalamiento de las variables independientes y dependiente se detalla en la Tabla 17.

Tabla 18. Señalamiento de variables

Variable Independiente			
Variación en humedad, actividad de agua, granulometría, compactación, azúcares invertidos	Condición	Temperatura	Humedad relativa
	Normal	26°C	50%HR
	Acelerada	32°C	75%HR
	Extrema	38°C	100%HR
Panela granulada	Unidades productivas de panela granulada	Ingapi	
		El Paraíso	
Variable Dependiente			
Tiempo de vida de anaquel de panela granulada			
Indicadores			
Humedad, actividad del agua, granulometría, poder de compactación fuerza de corte, contenido de azúcares invertidos			

Elaborado por: Liliana Patricia Acurio Arcos

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se respalda en una modalidad “Bibliográfica - documental”, analizando estudios previamente realizados en cuanto a panela granulada.

La fundamentación científica así como la fundamentación legal son complementos que permitieron la confiable exportación a diferentes áreas del mundo, especialmente el mercado norteamericano.

Complementariamente tuvo una modalidad básica de investigación experimental, puesto que los ensayos se realizaron a escala laboratorio en el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad (DCN). Ubicado en la Provincia de Pichincha, cantón Mejía en la parroquia Cutuglagua.

3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de tipo exploratorio, poniendo en consideración panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso; mantenidas en cámaras controladas bajo condiciones: normal, acelerada y extrema.

Para establecer el tiempo de vida de anaquel, evaluando parámetros de importancia como son: humedad, actividad de agua, granulometría, poder de compactación, fuerza de corte y azúcares invertidos.

La investigación permitió la asociación de variables, correlacionando los resultados del poder de compactación y granulometría graficados frente a valores de humedad y actividad de agua.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Según Saltos (1993), del mismo modo que para el éxito de una empresa se requiere aplicar una buena estrategia de financiamiento y mercadeo, la ejecución de una investigación científica o tecnológica eficiente necesitará de un adecuado diseño experimental.

Por lo tanto, para el cumplimiento eficaz de los objetivos propuestos en el estudio de investigación, se consideró el diseño experimental que abarque las condiciones de almacenamiento adecuadas, para las muestras de panela granulada obtenidas a través de Camari desde dos unidades paneleras: Planta Ingapi y Unidad Artesanal El Paraíso, ubicadas en la parroquia Pacto al noroccidente de Quito.

Se utilizó un diseño completamente aleatorio en arreglo factorial A×B (3×2), de seis tratamientos, con tres repeticiones (3 evaluaciones de cada indicador de deterioro). Se utilizó el programa estadístico de computación STATGRAPHICS PLUS, versión 5.1 para los análisis de regresión, análisis de varianza, y correlaciones.

En donde se consideraron los siguientes factores y niveles:

Factor A: Muestras de panela

a₀: Unidad productiva 1: Panela granulada Ingapi

a₁: Unidad productiva 2: Panela granulada El Paraíso

Factor B: Condiciones de almacenamiento

b₀: Condiciones normales: 26°C / 50%HR

b₁: Condiciones aceleradas: 32°C / 75%HR

b₂: Condiciones extremas: 38°C / 100%HR

3.3.1 UNIDAD EXPERIMENTAL

Lotes de 5[kg] para pesado de muestras, mismos que se empacaron en fundas de polipropileno con 170[g] de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso y se identificaron de acuerdo con los tratamientos establecidos.

3.3.2 TRATAMIENTOS

Se detallan los tratamientos planteados:

Tabla 19. Tratamientos producto de la combinación de los factores A y B

N°	Tratamiento	Descripción
1	$a_0 b_0$	Panela granulada Ingapi Condiciones normales: 26°C / 50%HR
2	$a_0 b_1$	Panela granulada Ingapi Condiciones aceleradas: 32°C / 75%HR
3	$a_0 b_2$	Panela granulada Ingapi Condiciones extremas: 38°C / 100%HR
4	$a_1 b_0$	Panela granulada El Paraíso Condiciones normales: 26°C / 50%HR
5	$a_1 b_1$	Panela granulada El Paraíso Condiciones aceleradas: 32°C / 75%HR
6	$a_1 b_2$	Panela granulada El Paraíso Condiciones extremas: 38°C / 100%HR

Elaborado por: Acurio Arcos Liliana Patricia

3.3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se presenta un esquema del análisis estadístico que se ejecutó:

Tabla 20. Esquema de análisis de varianza (ANOVA)

Fuente de	Grados de libertad	
Total	$(a \times b \times r) - 1$	17
Factor A	$a - 1$	1
Factor B	$b - 1$	2
Interacción A*B	$(a - 1) \times (b - 1)$	2
Réplicas	$r - 1$	2
Error	$(a \times b)(r - 1)$	12

Fuente: Diseño propuesto por la autora

3.3.4 ANÁLISIS FUNCIONAL

Se realizó análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de Tukey (5% significancia) para las fuentes de variación que resultaron significativas, del análisis planteado.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Variación en humedad, actividad de agua, granulometría, compactación, azúcares invertidos

Tabla 21. Operacionalización de variable independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La variación de valores nutricionales, cambios de color debido al pardeamiento u otras reacciones de oxidación, rancidez o una reducción significativa de la calidad sensorial, definen con criterio científico la vida de estante o tiempo de vida útil.	Humedad: contenido de agua que se encuentra libre.			Método de la AOAC 925.45 (1996).
	Actividad del agua: agua ligada químicamente o estructuralmente.	Variación del tiempo de vida de anaquel de panela granulada	¿Son indicadores representativos del tiempo de vida de anaquel de panela granulada: la humedad, la actividad del agua, la granulometría, el poder de compactación, la fuerza de corte y el contenido de azúcares invertidos?	Equipo Pawkit – Medidor de actividad de agua (2001).
	Granulometría: determinación de tamaño de partícula por tamizado.	basándose en los indicadores como son: la humedad, la actividad del agua, la granulometría, el poder de compactación, la fuerza de corte y el contenido de azúcares invertidos.		Adaptación de la norma INEN (2002).
	Poder de compactación: apisonamiento, fuerza y energía necesaria para compactar un taco de panela granulada.			Domínguez (2008). Escuela Politécnica Nacional.
	Fuerza de corte: Fuerza y energía necesaria para cortar una pastilla de panela.			Internacional Journal of Pharmaceutics. Listiohadi <i>et al.</i> (2007).
Azúcares invertidos: miligramos de glucosa y fructosa al final de hidrólisis sacarosa, por cien mililitros de solución.				AOAC Official Method 923.09 (1996). Lane-Eynon

Elaborado por: Liliana Patricia Acurio Arcos

3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Tiempo de vida de anaquel de panela granulada.

Tabla 22. Operacionalización de variable dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMES BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>El tiempo de vida de anaquel se define como el intervalo de tiempo en el cual el producto alimenticio mantiene su aceptabilidad por parte del consumidor, utilizando como criterios determinados indicadores de calidad como alteraciones de color, sabor, textura o pérdida de valores nutricionales.</p>	<p>Panela granulada Ingapi</p> <p>Panela granulada el Paraíso</p> <p>Condición normal 26°C/50%HR: Con adición de solución saturada de sal de carbonato de potasio.</p>	<p>Influencia de la procedencia de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso en los indicadores planteados.</p>	<p>¿La procedencia de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso afecta directamente al tiempo de vida de anaquel?</p>	<p>Fundas de 170g para pesado de muestras de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso.</p>
<p>Las condiciones de almacenamiento deben tomar en cuenta que la panela es un producto higroscópico, el riesgo de absorber agua del ambiente es alto. Se pueden evaluar condiciones normales, aceleradas y extremas, variando temperatura y humedad relativa.</p>	<p>Condición acelerada 32°C/75%HR: Con adición de solución saturada de sal de carbonato de sodio.</p> <p>Condición extrema 38 °C/100%HR: Con adición de agua.</p>	<p>Influencia de las condiciones de almacenamiento; normal, acelerada y extrema en los indicadores planteados.</p>	<p>¿Las condiciones de almacenamiento; normal, acelerada y extrema influyen de forma significativa en el tiempo de vida de anaquel de panela granulada?</p>	<p>Se verificó la temperatura y humedad relativa de las cámaras de almacenamiento, mediante el uso de un equipo denominado OAKLON RH/TempLog.</p>

Elaborado por: Liliana Patricia Acurio Arcos

3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La técnica utilizada para la recolección de la información fue observación directa, puesto que existió contacto con el objeto de estudio; y de laboratorio, porque los ensayos se realizaron en ambientes debidamente equipados para realizar la comprobación de las hipótesis. La recolección de datos se realizó mediante tablas, y posteriormente los cálculos se observaron simplificadaamente mediante gráficos.

3.5.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Por repetición, se pesó muestras de 170 [g], se empacó en fundas de polipropileno y se identificó de acuerdo con los tratamientos establecidos (Figuras K1 y K2).

3.5.2 PREPARACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO EN ESTUDIO

3.5.2.1 CONDICIONES NORMALES: 26°C/50%HR: Se utilizó una incubadora con control de temperatura. Para mantener la humedad relativa de la incubadora al 50%, en la base se colocó una bandeja con una solución saturada de sal de carbonato de potasio (Figuras K3 y K4).

3.5.2.2 CONDICIONES ACELERADAS: 32°C/75%HR: Se utilizó una segunda incubadora con control de temperatura. Para alcanzar 75% de humedad relativa, se ubicó una bandeja con una solución saturada de sal de carbonato de sodio (Figuras K5 y K6).

3.5.2.3 CONDICIONES EXTREMAS: 38°C/100%HR: Se utilizó una tercera incubadora con control de temperatura. El 100% de humedad relativa se consiguió al colocar en la base una bandeja llena de agua (Figuras K7 y K8).

3.5.3 PRUEBAS DE ALMACENAMIENTO

En cada una de las incubadoras acondicionadas para las pruebas de almacenamiento se ubicaron las muestras de los tratamientos a evaluar. El tiempo de almacenamiento fue 90 [días] (Figuras K9 y K10). Durante este período se realizaron muestreos cada 15 [días], completando siete muestreos, incluidas las muestras iniciales o tiempo cero. Las muestras extraídas fueron analizadas de acuerdo a los métodos planteados para este estudio.

3.5.4 MÉTODOS DE EVALUACIÓN

3.5.4.1 MÉTODO 925.45 PARA MEDICIÓN DE LA HUMEDAD SEGÚN LA AOAC (1996)

a) Equipo

Se usó una estufa Memmert, desecadores, y latas de aluminio.

b) Método

El método para la determinación de humedad fue con base a la AOAC (1996). Se pesó aproximadamente 2 [g] de muestra, en latas de aluminio previamente taradas. Se colocó en una estufa a $105^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 12 horas. Después del secado se dejó enfriar la muestra en un desecador por 15 minutos. Finalmente por diferencia de pesos se obtuvo el porcentaje de humedad de la muestra (Figuras K11 y K12).

c) Ecuación

$$\%H = \left(\frac{P_h - P_s}{P_h - P_r} \right) \times 100$$

Donde:

%H = porcentaje de humedad

P_r = peso del recipiente

P_h = peso del recipiente más muestra húmeda

P_s = peso del recipiente más muestra seca

3.5.4.2 MÉTODO PARA MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD DEL AGUA (a_w)

a) Equipo

Se utilizó el equipo Pawkit – water activity meter (Figuras K13 y K14).

b) Método

Se colocó aproximadamente 2 [g] de muestra homogénea cubriendo la base de la caja plástica proporcionada por el fabricante; se introdujo en la cámara del equipo con cuidado, encajando de forma correcta. Se cerró la cámara del equipo y se presionó el botón I indicado en el instrumento, mismo que desplegó la última lectura de actividad del agua determinada. Se presionó nuevamente el botón I para iniciar la nueva lectura, en este paso el lector del equipo indicó $0,00a_w$. Después de cinco minutos el instrumento desplegó el valor de actividad del agua de la muestra (Pawkit, 2001).

3.5.4.3 MÉTODO PARA MEDICIÓN DE LA GRANULOMETRÍA

El tamaño de gránulo se lo efectuó mediante la adaptación de la norma INEN, 2002.

a) Equipos:

Para el pesado de las muestras se usó una balanza analítica y para lograr la separación de los diferentes tamaños de gránulos de panela se empleó una plancha de agitación con un juego de tamices metálicos de las siguientes aberturas: 18 (1000 μ m), 30 (600 μ m) y 40 (425 μ m) (Figuras K15).

b) Método:

Se pesó 100 [g] de muestra de panela granulada y se colocó en el primer tamiz del sistema; se armó en orden descendente el juego de tamices, de acuerdo a la abertura y se colocó en la plancha de agitación. Después de aproximadamente 90 segundos la plancha de agitación se detuvo y se retiró la columna de tamices.

Se vació detenidamente el contenido de cada tamiz en papel con ayuda de brochas, para posteriormente pesar las fracciones de panela granulada retenidas y expresar los resultados en porcentajes de fracciones retenidas, comprendidos entre los rangos:

- $> 1000 \mu\text{m}$
- $600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$
- $425 \mu\text{m} < x \leq 600 \mu\text{m}$
- $\leq 425 \mu\text{m}$.

3.5.4.4 MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL PODER DE COMPACTACIÓN

Se utilizó una adaptación del método descrito por Listiohadi *et al.* (2008), para la compactación de lactosa en polvo.

a) Equipo:

Se usó el analizador de textura TA-XT2i con el accesorio cilíndrico P/25P de material perspex (2,50cm de diámetro).

b) Método

Complementariamente se destinó un envase tubular plástico plano, provisto de escala graduada (2,70 cm de diámetro y 5,50 cm de altura) en donde se colocó cuidadosamente la muestra (aproximadamente 8 g) hasta una altura de 2 [cm].

Se fijó en el software del analizador de textura los parámetros que permitieron ejecutar los análisis, así como, la macro correspondiente para convertir la información de los gráficos en valores de fuerza de compactación, ampliados claramente en el anexo A. La muestra del tubo plástico fue uniformemente compactada (5mm) bajo la presión ejercida por el brazo del texturómetro con una fuerza de carga de 25 [kg] ó 245 [N] (Figuras K16 y K17).

3.5.4.5 MÉTODO UTILIZADO PARA MEDIR FUERZA DE CORTE

El método para la determinación de fuerza estuvo basado en el estudio reportado por Domínguez (2008).

a) Equipo

Se usó una prensa hidráulica CARVER y un analizador de textura TA-XT2i

b) Método

Se pesó en una balanza analítica aproximadamente dos gramos de muestra para la elaboración de pastillas de panela, la muestra se depositó en el dispositivo adaptado de la prensa (Figuras K18 y K19).

Se compactó en la prensa hidráulica CARVER, sometiendo el dispositivo a una fuerza de compresión de 6000 [lb]. Las pastillas de panela granulada debieron poseer un peso de $1,83 \pm 0,13$ [g]; y una altura comprendida entre $7,00 \pm 0,50$ [mm].

c) Determinación de fuerza de corte

Se fijaron los parámetros y la macro para operar con el accesorio A/CKB, conocido como cuchillo Craft, detallados en el anexo A. Posteriormente, se evaluó la fuerza y la energía promedio de corte en el texturómetro TA-XT2i, con una fuerza de carga de 25 [kg] sobre las pastillas de panela.

3.5.4.6 MÉTODO OFICIAL 923.09 (44.1.15) PARA LA MEDICIÓN DE AZÚCARES INVERTIDOS EN AZÚCARES Y JARABES (AOAC, 1995).

a) Preparación de solución de azúcares invertidos

Se pesó la cantidad de muestra necesaria para trabajar con soluciones de sólidos solubles del 1% (°Brix de la muestra) y se diluyó con 50 [ml] de agua destilada. A esta solución se añadió 0,50 [g] de ácido clorhídrico; y se dejó reposar a temperatura ambiente durante 7 [días] en un balón de aforo de 100 [ml], con el fin de lograr la hidrólisis de la sacarosa a azúcares invertidos.

b) Determinación del contenido de azúcares invertidos

De la solución hidrolizada se tomó 25 [ml] y se aforó a 100 [ml] con agua destilada, para seguidamente ajustar a pH 3 con la utilización de soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) en concentraciones 1N ó 0,01N.

Se agregó 5 [ml] de muestra neutralizada en un matraz erlenmeyer que previamente contenía núcleos de ebullición y la solución de Fehling, compuesta de 5 [ml] de solución alcalina de tartrato y 5 [ml] de solución de sulfato de cobre. En la solución de 15 [ml] se añadió, 1 [ml] de azul de metileno al 0,20%; y se sometió a ebullición en una plancha de agitación y calentamiento. Desde el inicio de la ebullición, la solución se tituló con los 95 [ml] restantes de la solución neutralizada. Finalizó la titulación con el viraje de color azul a púrpura con el gasto de solución titulable entre 15 y 50 [ml]. Los mililitros gastados se utilizaron para los cálculos correspondientes (Figuras K20 a K31).

3.5.5 CARACTERIZACIÓN DE PANELA GRANULADA

3.5.5.1 DENSIDAD DE BULTO FLOJA

El método para la determinación de densidad de bulto floja se basó en la publicación reportada por Alvarado (1996), para caracterizar granos y harinas. Se pesó una probeta graduada de 25 [ml] en una balanza analítica, se llenó con una muestra de panela granulada retenida entre el rango $600 [\mu\text{m}] < x \leq 1000 [\mu\text{m}]$, hasta la marca y se volvió a pesar. La variación de peso se utilizó para los cálculos correspondientes.

3.5.5.2 DIÁMETRO MEDIO

Para llevar a cabo el ensayo microscópico del tamaño de partícula de panela granulada, se tomo una muestra representativa de la fracción retenida entre el rango $600 [\mu\text{m}] < x \leq 1000 [\mu\text{m}]$; distribuyéndola uniformemente sobre un porta objetos con una varilla de vidrio de punta aguda. Se hace la observación en el microscopio, y con la ayuda de un micrómetro se establece el diámetro de Feret de 100 partículas por replica.

El diámetro de Feret según Alvarado y Aguilera (2001), define la distancia de dos planos paralelos tangentes en dirección vertical o la distancia entre tangentes paralelas al área proyectada de la partícula.

3.5.5.3 SUPERFICIE ESPECÍFICA

El diámetro de Feret de cien partícula de panela granulada valorados por microscopía óptica, de tamaño medio de rechazo ($600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$) valorados para el cálculo de diámetro medio; contribuye a la determinación de la superficie específica (A_w) mediante el programa MatLab 7.0.

3.5.5.4 NÚMERO DE PARTÍCULAS

El diámetro de Feret valorado para el cálculo del diámetro medio de cien partícula de panela granulada valorados por microscopía óptica, de tamaño medio de rechazo ($600 \mu\text{m} < x \leq 1000 \mu\text{m}$); contribuye a la determinación de la número de partículas (N_w) mediante el programa MatLab 7.0.

3.5.6 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Las muestras de panela granulada se espolvorearon sobre una cinta conductora de cobre de doble adhesión, la cual se fijó previamente en un soporte de aluminio del microscopio electrónico de barrido JEOL (modelo JSM 5310, Japón).

Las muestras se cubrieron con una capa de carbón de 30 [nm] de espesor depositada al vacío (10^{-5} Torr) en una evaporadora JEOL. La evaporadora estaba dotada de un adaptador rotatorio de ángulo variable con objeto de asegurar una capa uniforme en toda la superficie de la muestra.

Las muestras recubiertas con carbón se colocaron en el ionizador de metales JEOL, y se recubrieron con una capa de oro de 60 [nm]. Las muestras fueron observadas en el microscopio electrónico de barrido a un voltaje de 10 [KV] y se tomaron las fotografías.

3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

En el proyecto se trabajó con análisis estadísticos y matemáticos, entre los que constan:

- Ajuste de curvas experimentales
- Análisis de varianza en arreglo factorial A×B para las razones de variación de las variables dependientes
- Comparación múltiple de Tukey
- Evaluación de la vida de anaquel a temperatura constante
- Correlaciones entre variables dependientes
- Aplicación de la ecuación de Arrhenius
- Caracterización de panela granulada, en términos de los valores de densidad de bulto floja y diámetros de las partículas.
- Cálculo del área específica y el número de partículas en la panela granulada en función al tiempo de almacenamiento en condiciones normal, acelerada y extrema.

3.6.1 CÁLCULO DE PRESIÓN DE COMPACTACIÓN

Alvarenga B. y Ribeiro M. (1983), explican que para aclarar el concepto de presión se considera una superficie de área A en la cual actúa una fuerza \vec{F} , inclinada en relación con la superficie. A pesar de que \vec{F} está representada por un vector único, aplicado en cierto punto de la superficie, debemos suponer que la fuerza se distribuye en el área A . Se define entonces la presión como la fuerza F sobre la superficie del área A , expresada mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F}{A}$$

Para la determinación de poder de compactación en los tratamientos experimentados se usó el analizador de textura TA-XT2i con el accesorio cilíndrico P/25P de material perspex, con una dimensión de 2,50[cm] de diámetro.

Basados en que el área de un círculo, es la medida de la superficie limitada por la circunferencia perimetral del círculo dado.

$$A = \pi \times r^2$$

Calculamos el área de panela granulada sobre la que el analizador de textura TA-XT2i ejerce la fuerza, así:

$$A = \pi \times (2,5 \text{ cm})^2$$

$$A = 19,6350 [\text{cm}^2]$$

Para el caso de la panela granulada de la unidad productiva Ingapi, en condiciones normales (26°C/50%HR) a tiempo cero días, se obtiene:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{2,1084 [\text{Kgf}]}{19,6350 [\text{cm}^2]} = 0,1074 [\text{Kgf} / \text{cm}^2]$$

$$P = 10530,7770 [\text{Pa}]$$

Cálculos similares realizados para los tratamientos restantes se reportan en las Tablas B14, B15 y B16.

3.6.2 CÁLCULO DEL TIEMPO DE VIDA DE ANAQUEL A TEMPERATURA CONSTANTE

3.6.2.1 HUMEDAD

Se fijó como condición estándar límite un porcentaje de humedad de 3%, basada en la norma INEN (2002), valor hasta el cual la panela granulada mantiene sus condiciones adecuadas para la comercialización. Para el caso de la panela granulada de la unidad productiva Ingapi, en condiciones normales (26°C/50%HR), la ecuación utilizada es la reportada en la Tabla D1:

$$H = 2,54 + 0,0080 \times t$$

$$t = (3,00 - 2,54) / 0,0080$$

$$t = 57,5 [\text{días}]$$

$$t = 57 [\text{días}] 12 [\text{horas}]$$

Cálculos similares realizados para los otros tratamientos se reportan en la Tabla F1. Los datos permiten elaborar la Figura P1.

3.6.2.2 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

La razón incremental (k) de los indicadores: humedad, actividad del agua, poder de compactación, fuerza de corte y concentración de azúcares invertidos, obtenidas respectivamente, desde las curvas de datos experimentales en función del tiempo, fueron graficadas frente a la temperatura, correspondientes a las tres condiciones de almacenamiento.

La E_a se determinó desde el gráfico logaritmo natural de k en función del inverso de la temperatura absoluta, el cual proporcionó una línea recta con pendiente $-E_a/R$. Las Figuras R1 a R5 presentan la tendencia de los datos, y valores calculados se reportan en las Tablas J1 a J10.

3.6.3 CARACTERIZACIÓN DE PANELA GRANULADA

3.6.3.1 DENSIDAD DE BULTO FLOJA

Se realizaron los cálculos numéricos según los datos obtenidos para todos los tratamientos, aplicando la ecuación # para el caso de la panela granulada de la unidad productiva Ingapi, en condiciones normales (26°C/50%HR), se obtiene:

$$(DBF) = \frac{M}{V} = \frac{13,50[gr]}{25[ml]} = 540,00[Kg / m^3]$$

Los valores de densidad de bulto floja para todos los tratamientos a los tiempos de almacenamiento establecidos, se reportan en la Tabla B29 los que gráficamente se analizan en la Figura L15.

3.6.3.2 DIÁMETRO MEDIO

Según las mediciones realizadas al microscopio con panela granulada Ingapi almacenada a 26°C/50%HR a tiempo 0 días, los valores de los diversos tipos de diámetros medios son:

a) Diámetro medio lineal o aritmético

$$X_l = \Sigma(XN) / N$$

$$X_l = [(200 \times 0) + (400 \times 6) + (600 \times 46) + (800 \times 73) + (1000 \times 83) + (1200 \times 58) + (1400 \times 27) + (1600 \times 5) + (1800 \times 1) + (2000 \times 1)] / 300$$

$$X_l = 969 [\mu m]$$

b) Diámetro medio por superficie

$$X_s = \Sigma(X^2 N) / N$$

$$X_s = [((200^2) \times 0) + ((400^2) \times 6) + ((600^2) \times 46) + ((800^2) \times 73) + ((1000^2) \times 83) + ((1200^2) \times 58) + ((1400^2) \times 27) + ((1600^2) \times 5) + ((1800^2) \times 1) + ((2000^2) \times 1)] / 300$$

$$X_s = 1067 \text{ } [\mu m]$$

c) Diámetro medio por volumen

$$X_v = \Sigma(X^3 N) / N$$

$$X_v = [((200^3) \times 0) + ((400^3) \times 6) + ((600^3) \times 46) + ((800^3) \times 73) + (1000^3) \times 83) + ((1200^3) \times 58) + ((1400^3) \times 27) + ((1600^3) \times 5) + ((1800^3) \times 1) + ((2000^3) \times 1)] / 300$$

$$X_v = 1012400 \text{ } [\mu m]$$

d) Diámetro medio para masa

$$X_m = \Sigma(X^3 N) / N$$

$$X_m = [((200^3) \times 0) + ((400^3) \times 6) + ((600^3) \times 46) + ((800^3) \times 73) + (1000^3) \times 83) + ((1200^3) \times 58) + ((1400^3) \times 27) + ((1600^3) \times 5) + ((1800^3) \times 1) + ((2000^3) \times 1)] / 300$$

$$X_m = 1012400 \text{ } [\mu m]$$

e) Diámetro medio por la relación superficie y diámetro

$$X_{sd} = \Sigma(X^2 N) / \Sigma(XN)$$

$$X_{sd} = [((200^2) \times 0) + ((400^2) \times 6) + ((600^2) \times 46) + ((800^2) \times 73) + ((1000^2) \times 83) + ((1200^2) \times 58) + ((1400^2) \times 27) + ((1600^2) \times 5) + ((1800^2) \times 1) + ((2000^2) \times 1)] /$$

$$[(0 \times 0) + (200 \times 0) + (400 \times 6) + (600 \times 46) + (800 \times 73) + (1000 \times 83) +$$

$$(1200 \times 58) + (1400 \times 27) + (1600 \times 5) + (1800 \times 1) + (2000 \times 1) + (2200 \times 0)]$$

$$X_{sd} = 1045 \text{ } [\mu m]$$

f) Diámetro medio por la relación volumen y diámetro

$$X_{vd} = \Sigma(X^3 N) / \Sigma(XN)$$

$$X_{vd} = [((200^3) \times 0) + ((400^3) \times 6) + ((600^3) \times 46) + ((800^3) \times 73) + (1000^3) \times 83) + ((1200^3) \times 58) + ((1400^3) \times 27) + ((1600^3) \times 5) + ((1800^3) \times 1) + ((2000^3) \times 1)] /$$

$$[(0 \times 0) + (200 \times 0) + (400 \times 6) + (600 \times 46) + (800 \times 73) + (1000 \times 83) +$$

$$(1200 \times 58) + (1400 \times 27) + (1600 \times 5) + (1800 \times 1) + (2000 \times 1) + (2200 \times 0)]$$

$$X_{vd} = 1167653 \text{ } [\mu m]$$

g) Diámetro medio por la relación volumen y superficie

$$X_{vs} = \Sigma(X^3 N) / \Sigma(X^2 N)$$

$$X_{vs} = [((200^3) \times 0) + ((400^3) \times 6) + ((600^3) \times 46) + ((800^3) \times 73) + (1000^3) \times 83) + ((1200^3) \times 58) + ((1400^3) \times 27) + ((1600^3) \times 5) + ((1800^3) \times 1) + ((2000^3) \times 1)] / [((200^2) \times 0) + ((400^2) \times 6) + ((600^2) \times 46) + ((800^2) \times 73) + ((1000^2) \times 83) + ((1200^2) \times 58) + ((1400^2) \times 27) + ((1600^2) \times 5) + ((1800^2) \times 1) + ((2000^2) \times 1)]$$

$$X_{vs} = 1117 [\mu m]$$

h) Diámetro medio por la relación masa y superficie

$$X_{ms} = \Sigma(X^4 N) / \Sigma(X^3 N)$$

$$X_{ms} = [((200^4) \times 0) + ((400^4) \times 6) + ((600^4) \times 46) + ((800^4) \times 73) + (1000^4) \times 83) + ((1200^4) \times 58) + ((1400^4) \times 27) + ((1600^4) \times 5) + ((1800^4) \times 1) + ((2000^4) \times 1)] / [((200^3) \times 0) + ((400^3) \times 6) + ((600^3) \times 46) + ((800^3) \times 73) + (1000^3) \times 83) + ((1200^3) \times 58) + ((1400^3) \times 27) + ((1600^3) \times 5) + ((1800^3) \times 1) + ((2000^3) \times 1)]$$

$$X_{ms} = 1186 [\mu m]$$

Los valores de diámetros medios de los restantes tratamientos se presentan en las Tablas I1 a I7.

3.6.4 CÁLCULO DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA (A_w)

Para calcular A_w se emplea la ecuación teórica:

$$A_w = \frac{6}{\lambda \rho} \int_0^1 \frac{d\phi}{D_p}$$

Donde:

λ = factor que depende de la forma de las partículas.

ρ = densidad de bulto floja de la panela granulada.

ϕ = fracción de producto retenido acumulado en cada tamiz (valor de los rechazos acumulados/cantidad total de producto ó R_a/M).

D_p = diámetro de cien partícula de panela granulada valorados por microscopía óptica, que coincide con tamaño medio de rechazo (L).

El factor λ da una relación entre la superficie/volumen de las distintas formas de partículas, en el caso de estudio se asume como partículas esféricas, $\lambda = 1$.

El valor de la integral y la superficie específica en $[m^2/Kg]$ se calculó numéricamente, mediante el programa MatLab 7.0, con el comando:

```
Dp=xlsread('Dp.xls');
```

```
Dp
```

```
X=1./Dp;
```

```
la=1;
```

```
rho=546;
```

```
Y=6/(la*rho)*X;
```

```
Z = trapz(X,Y)
```

```
Y
```

Los valores de superficie específica en $[m^2/Kg]$ de los tratamientos se presentan en las Tablas B30 a B32; y la tendencia gráfica en la Figura L16.

3.6.5 CÁLCULO DEL NÚMERO DE PARTÍCULAS (N_w)

Por análisis acumulativo N_w se calcula según:

$$N_w = \frac{1}{a\rho} \int_0^1 \frac{d\phi}{D_p^3}$$

En la que a es el factor geométrico que relaciona el volumen (V_p) de una partícula cualquiera con D_p :

$$V_p = a D_p^3$$

Asumiendo que las partículas de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso son esféricas:

$$a = \frac{\pi}{6} = \frac{3,1416}{6} = 0,5236$$

El valor de la integral y el número de partículas se calculó numéricamente, mediante el programa MatLab 7.0, con el comando:

```
Dp=xlsread('Dp.xls');
```

```
Dp
```

```
X=1./(Dp^3);
```

```
a=0,5236;
```

```
rho=546;
```

```
Y=1/(a*rho)*X;
```

```
Z = trapz(X,Y)
```

```
Y
```

Los valores de número de partículas de los tratamientos se presentan en las Tablas B33 a B35; y la tendencia gráfica en la Figura L17.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1 INDICADORES FÍSICOS Y QUÍMICOS

4.1.1.1 HUMEDAD

La respuesta experimental del indicador humedad, determinado por el método de la AOAC (1996), en muestras de panela granulada de dos unidades productivas (Ingapi y El Paraíso) se presenta en las Tablas B1, B2 y B3.

Gráficamente los datos experimentales con la media y desviación estándar de dos determinaciones por réplica ($n=3$) (Figura L1), aporta a la comprensión de la tendencia lineal ascendente que los tratamientos presentan durante el periodo de almacenamiento.

Los tratamientos en condiciones normales a_0b_0 (Ingapi – 26°C/50%HR) y a_1b_0 (El Paraíso – 26°C/50%HR) alcanzan una humedad máxima de $3,20\pm 0,23\%$ y $3,09\pm 0,15\%$ respectivamente a los 91 [días] de almacenamiento.

Mientras que los tratamientos en condiciones extremas a_0b_2 (Ingapi – 38°C/100%HR) y a_1b_2 (El Paraíso – 38°C/100%HR) alcanzan valores de $4,94\pm 0,39\%$ y $4,76\pm 0,23\%$ respectivamente; superando todos los tratamientos el valor máximo de 3,00% de humedad establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria (2002).

Para la Norma Referencial Colombiana, establecida por el Ministerio de Protección Social de Colombia (2006), el porcentaje máximo de humedad es de 5% para panela granulada o en polvo, los tratamientos experimentados en condiciones extremas a_0b_2 (Ingapi – 38°C/100%HR) y a_1b_2 (El Paraíso – 38°C/100%HR) con valores de humedad de $4,94\pm 0,39\%$ y $4,76\pm 0,23\%$ respectivamente, cumplen sanitariamente la producción y comercialización óptima para consumo humano.

De las relaciones entre la humedad (%) y el tiempo de almacenamiento [días] obtenidas en el Figura L1, se reportan ecuaciones lineales ($y = a + b \times x$); la confiabilidad del modelo se confirma con los coeficientes de correlación que presentan las ecuaciones con valores desde 0,94 a 0,99.

Las ecuaciones lineales contribuyen al cálculo del tiempo de vida de anaquel de panela granulada de dos unidades productivas (Ingapi y El Paraíso) a tres condiciones de almacenamiento (26°C/50%HR; 32°C/75%HR y 38°C/100%HR) en función de la humedad [%] en un intervalo de 0 a 91 [días].

Se fija como condición estándar límite el valor máximo de 3,00% de humedad establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria (INEN N°2332:2002), con el que la panela granulada mantiene sus condiciones adecuadas para la comercialización.

Para el caso de la panela granulada de la unidad productiva Ingapi, en condiciones normales de almacenamiento (26°C/50%HR), el tiempo de vida de anaquel es de 57,5 [días]. Cálculos similares realizados a otras condiciones de almacenamiento conducen a los resultados siguientes: 34,1 [días] a 32°C/75%HR y 21,7 [días] a 38°C/100%HR.

Cálculos hechos para panela granulada de la unidad productiva El Paraíso, conducen a establecer los siguientes tiempos de vida de anaquel: 79,7 [días] a 26°C/50%HR; 42,6 [días] a 32°C/75%HR y 15,8 [días] a 38°C/100%HR. Resultados son reportados en la Tabla F1.

Según Cecil y Woodroof (1962), la sacarosa pura no es susceptible a la deterioración microbiana o química. Sin embargo productos, como el azúcar, puede ponerse inaceptable al consumidor si existe contaminación por los insectos o los roedores.

El incremento de humedad excesiva en muestras de azúcar, lleva al endurecimiento y por ende a la inaceptabilidad; siendo estos indicadores de un almacenamiento y empaquetando deficientes. Bajo las condiciones del almacenamiento apropiadas, el azúcar debe ser estable en el anaquel.

El Manual Técnico para el Almacenamiento y Manejo de Material para el Department of the army (1971), reporta azúcar almacenado en una bolsa, lata o sobre como indefinidamente estable a 40°F, 70°F y 90°F (4,44°C; 21,11°C y 32,22°C).

En el Figura P1, se representa el efecto de la temperatura sobre las muestras de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, marcando una notable relación con el tiempo de vida de anaquel; así a mayor temperatura la panela granulada llegará a características inaceptables a menor tiempo de conservación.

Alvarenga y Ribeiro (1983), aclaran que cuando dos magnitudes son directamente proporcionales, el cociente entre ellas permanece invariable y recibe el nombre de constante de proporcionalidad entre las dos magnitudes consideradas (pendiente o tendencia); siendo un indicativo de la tendencia de los datos experimentales.

Evidentemente el análisis de varianza del indicador humedad [%], se coteja con las constantes de proporcionalidad para cada tratamiento. Los resultados que se reportan en la Tabla E1, muestran el efecto estadístico significativo de las condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema) con un nivel de confianza del 95%. Si bien las condiciones de almacenamiento afectan la humedad [%] de la panela granulada, la muestra de cada unidad productiva (Ingapi y El Paraíso) así como el efecto combinado no son estadísticamente significativos.

La prueba de diferenciación Tukey reportada en la Tabla E2, determina que las condiciones extremas de almacenamiento (32°C/75%HR) presentan valores que son significativamente diferentes de la media general presentada por los datos experimentales obtenidos en condiciones normales (26°C/50%HR) y aceleradas (32°C/75%HR), en cuanto a la humedad [%] al 95% de confianza, con una diferencia significativa en razón a la media de $2,4594 \times 10^{-2} \%$.

Spencer (1967), demuestra que la humedad relativa crítica es de aproximadamente 65%, es decir, que si la humedad relativa está cerca de ese punto, el azúcar no absorberá humedad ni se secará en el almacén.

Además sugiere que si el ambiente del almacén es demasiado seco (inferior a 60%) el azúcar crudo se aterronará y endurecerá en magnitudes innecesarias. Por lo tanto, no es recomendable usar calefacción.

La panela granulada que contiene del 2 al 5% de humedad tiene que mantenerse en un ambiente fresco, para que no pierda humedad y se endurezca y se aterrone debido al aumento de la viscosidad del jarabe que rodea a los cristales. Además, recomienda humedades del 60 al 70% y temperaturas aproximadas a 24°C.

4.1.1.2 ACTIVIDAD DEL AGUA

La determinación de actividad del agua se realizó con el equipo Pawkit – water activity meter, en muestras de panela granulada de las dos unidades productivas (Ingapi y El Paraíso) los resultados se presenta en la Tablas B4, B5 y B6.

La respuesta experimental expresada gráficamente (Figura L2), con valores de una determinación por réplica ($n=3$), aportan a la comprensión de la tendencia lineal ascendente que los tratamientos presentan durante el periodo establecido de almacenamiento

El almacenamiento en condiciones normales a_0b_0 (Ingapi – 26°C/50%HR) y a_1b_0 (El Paraíso – 26°C/50%HR) alcanzan una actividad del agua de $0,59\pm 0,02$ y $0,61\pm 0,01$ respectivamente a los 91 [días] de almacenamiento; mientras que los tratamientos en condiciones extremas a_0b_2 (Ingapi – 38°C/100%HR) y a_1b_2 (El Paraíso – 38°C/100%HR) alcanzan valores de $0,75\pm 0,02$ y $0,72\pm 0,01$ respectivamente.

Para Alvarado y Aguilera (2001), conocer la actividad acuosa es de gran utilidad en alimentos, ya que se relaciona con aspectos como la ganancia o la pérdida de humedad, el crecimiento de microorganismos, cinética de reacciones deteriorativas de los nutrientes, cambios en sabor, aroma y textura, funciones fisiológicas, estabilidad y conservación en general.

De la relación entre la actividad del agua (a_w) y el tiempo de almacenamiento (días) obtenidas en el Figura L2, se reportan ecuaciones lineales ($y = a + b \times x$) en las Tablas C2 y D2.

Siempre que se representen gráficamente los valores de dos variables y se obtenga una gráfica rectilínea que no pase por el origen, se dice que las variables están relacionadas por una variación lineal (Alvarenga y Ribeiro, 1983). La confiabilidad del modelo lineal se confirma con los coeficientes de correlación que presentan las ecuaciones con valores desde 0,94 a 0,99.

Las constantes de proporcionalidad de la relación actividad del agua frente al tiempo de almacenamiento de los tratamientos, contribuyen al análisis de varianza del indicador actividad del agua (a_w), reportado en la Tabla E3. Se nota el efecto estadístico significativo de las condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema), de cada unidad productiva (Ingapi y El Paraíso) así como el efecto combinado, con un nivel de confianza del 95%.

La prueba de diferenciación Tukey reportada en la Tabla E4, determina la diferencia media significativa para las unidades productivas Ingapi y El Paraíso con valores de $7,0194 \times 10^{-4}$ y $1,1542 \times 10^{-3}$, respectivamente.

Las condiciones extremas de almacenamiento (normal, acelerada y extrema) presentan valores significativamente diferentes entre sí en razón a la media. En condiciones normales (26°C/50%HR) la diferencia es $3,3862 \times 10^{-4}$; en condiciones aceleradas (32°C/75%HR) $5,9551 \times 10^{-4}$ y en condiciones extremas (38°C/100%HR) $1,8500 \times 10^{-3}$.

Para Alvarado y Aguilera (2001), la efectividad de la a_w considerada como una variable de control en la conservación de los alimentos depende de otros factores existentes, tales como: la composición, el pH, la presencia de antimicrobianos, la presión osmótica, así como los tratamientos físicos de temperatura y presión que se apliquen o hayan aplicado previamente a los productos en su proceso de elaboración.

4.1.1.3 GRANULOMETRÍA

Se realizó una distribución granulométrica de las muestras en base al tamaño de partícula para los tratamientos de estudio, logrando una división en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus componentes.

Las partículas de cada fracción se caracterizaron de acuerdo a su tamaño comprendido entre un valor máximo y un valor mínimo, en forma correlativa para las distintas fracciones de tal modo que el máximo de una fracción es el mínimo de la que le sigue en correlación. Los datos experimentales se reportan en las Tablas B7 a B13.

Los valores de una determinación por réplica ($n=3$), graficados en barras de granulometría para los tratamientos (Figuras L3 a L9), en los muestreos realizados durante la experimentación, presentan claras diferencias entre las panelas granuladas de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso.

En condiciones iniciales, la panela granulada de la unidad productiva Ingapi determina como fracción representativa la comprendida entre partículas menores o iguales a 1000 $[\mu\text{m}]$ a mayores a 600 $[\mu\text{m}]$, mientras que la fracción de menor consideración es la de partículas de tamaño menor o igual a 425 $[\mu\text{m}]$.

La panela granulada de la unidad productiva El Paraíso, posee distribución proporcional en las fracciones consideradas, siendo la fracción de menor consideración la de partículas de tamaño inferior o igual a 425 $[\mu\text{m}]$.

Cambios imponentes se observan en los tratamientos de panela granulada de la unidad productiva Ingapi a los 42 [días] de ser sometidos a condiciones extremas de almacenamiento ($38^{\circ}\text{C}/100\%\text{HR}$), donde las fracciones de las muestras de panela granulada varían su tendencia inicial.

Las fracciones predominantes son: la comprendida entre partículas menores o iguales a 1000 $[\mu\text{m}]$ a partículas mayores a 600 $[\mu\text{m}]$ y la fracción de partículas mayores a 1000 $[\mu\text{m}]$.

Al evaluar los tratamientos de panela granulada de la unidad productiva El Paraíso, los cambios representativos se observan a los 70 [días] de almacenamiento en condiciones extremas ($38^{\circ}\text{C}/100\%\text{HR}$), las fracciones predominantes son: la comprendida entre partículas mayores a 425 $[\mu\text{m}]$ y menores o iguales a 600 $[\mu\text{m}]$ así como la de partículas mayores a 600 $[\mu\text{m}]$ a menores o iguales a 1000 $[\mu\text{m}]$.

La humedad del producto repercute en la asociación de partículas formando conglomerados entre partículas de menor tamaño que inicialmente comprenden fracciones de partículas menores a 600 [µm], constituyendo un problema operacional de los tamices con la obturación de las aberturas y la aglomeración de partículas blandas.

Según Labuza (1982), en la industria el azúcar tiene un problema con la ganancia de humedad que lleva a endurecerse, con el fin de combatir esto se incluye maicena como un agente anti-endurecimiento. Una de las razones que han contribuido a la difusión de las técnicas granulométricas es que, en cierto sentido, la distribución granulométrica proporciona un criterio de clasificación.

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) (2002), clasifica la panela granulada de acuerdo a la cantidad de sólidos sedimentables y granulometría. Inicialmente las panelas granuladas de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso son de clase extra, debido a que las partículas atraviesan al 100% por un tamiz 14 (1400 µm). Sin embargo transcurridos los 91 [días] de almacenamiento en condiciones extremas (38°C/100%HR), los aglomerados contribuirán a que la panela granulada sea clasificada como de primera o segunda por pasar al 100% por tamices 12 (1700 µm) y 10 (2000 µm) respectivamente.

4.1.1.4 PODER DE COMPACTACIÓN

La determinación del poder de compactación mediante una adaptación del método descrito por Listiohadi *et al.* (2008), para la compactación de lactosa en polvo; presenta la respuesta experimental reportada en las Tablas B14, B15 y B16; en muestras de panela granulada de dos unidades productivas (Ingapi y El Paraíso).

La respuesta experimental expresada gráficamente (Figura L10), con la media y desviación estándar de tres determinaciones por réplica (n=3), aporta a la comprensión de la tendencia descendente inversa en el indicador poder de compactación [$y = 1 / (a + b \times x)$], que los tratamientos presentan durante el periodo de almacenamiento. Los tratamientos inicialmente presentan valores de poder de compactación para panela granulada Ingapi y El Paraíso de 10530,78±1923,65 [Pa] y 57080,33±2260,36 [Pa] respectivamente.

En condiciones normales de almacenamiento los tratamientos a_0b_0 (Ingapi – 26°C/50%HR) y a_1b_0 (El Paraíso – 26°C/50%HR) alcanzan un poder de compactación de $3808,37 \pm 628,57$ [Pa] y $27020,57 \pm 1188,42$ [Pa] respectivamente a los 91 [días] de almacenamiento; mientras que los tratamientos en condiciones extremas a_0b_2 (Ingapi – 38°C/100%HR) y a_1b_2 (El Paraíso – 38°C/100%HR) alcanzan valores de $832,32 \pm 129,54$ [Pa] y $4486,90 \pm 828,72$ [Pa] respectivamente.

El valor de la presión depende no solo del valor de la fuerza ejercida, sino también del área en la cual esta fuerza se distribuye. Aún una gran fuerza podrá ocasionar una presión pequeña si el área de contacto difiere entre las muestras evaluadas.

De la relación entre el poder de compactación en [Pa] y el tiempo de almacenamiento [días] obtenidas en el Figura L10, se reportan ecuaciones recíproco para la variable dependiente [$y = 1 / (a + b \times x)$] en las Tablas C3 y D3. La confiabilidad del modelo se confirma con los coeficientes de correlación que presentan las ecuaciones con valores desde 0,95 a 0,99.

El análisis de varianza del indicador poder de compactación (P_{com}) en [Pa], reportado en la Tabla E5, estudiado con las constantes de proporcionalidad, denota el efecto estadístico significativo de las condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema) y de las unidades productivas (Ingapi y El Paraíso) con un nivel de confianza del 95%.

Representando que la presión ejercida por el texturómetro para compactar la muestra está influenciada por la temperatura y humedad relativa de las cámaras de almacenamiento así como de las muestras provenientes de las unidades productivas de panela granulada. Complementariamente se demuestra el efecto estadístico significativo combinado entre los factores de variación (unidad productiva y condiciones de almacenamiento), con un nivel de confianza del 95%.

Con la prueba de diferenciación Tukey reportada en la Tabla E6, se establecen las diferencias significativas en razón a la media del poder de compactación. El factor unidad productiva (Ingapi y El Paraíso) influye representativamente en el poder de compactación, siendo mayor la presión necesaria para compactar la panela granulada El Paraíso con un valor de $5,6976 \times 10^{-6}$ [Pa].

En el caso del factor condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema), la diferencia estadísticamente significativa en relación a la media se observa en condiciones extremas de almacenamiento ejerciendo un efecto mayor en la variable respuesta con un valor de $6,8760 \times 10^{-6}$ [Pa].

Spencer (1967), describe que la compactación a presión produce una tendencia hacia el aterronamiento, debido a que los cristales se aprietan más entre sí y logran que la viscosidad constituya un adhesivo más efectivo para unir cristales.

La magnitud del aterronamiento son aumentados por cualquier cambio que ocurra en la superficie del cristal, ya sea directamente, debido a la temperatura o indirectamente, como resultado de la migración de humedad dentro del empaque.

4.1.1.5 VARIACIÓN EN LA ALTURA DE COMPACTACIÓN

Conjuntamente con la determinación del poder de compactación mediante una adaptación del método descrito por Listiohadi *et al.* (2008) para la compactación de lactosa en polvo; se evalúa la variación en la altura de compactación (h_{com}) presentada en las Tablas B17, B18 y B19, en muestras de panela granulada de dos unidades productivas (Ingapi y El Paraíso).

La respuesta experimental expresada gráficamente (Figura L11), con la media y desviación estándar de tres determinaciones por réplica ($n=3$), aporta a la comprensión de la tendencia lineal ascendente ($y = a + b \times x$), que los tratamientos presentan durante el periodo de almacenamiento.

Inicialmente presentan valores de altura de compactación (h_{com}) para panela granulada Ingapi y El Paraíso de $4,67 \pm 0,88$ [mm] y $3,56 \pm 0,51$ [mm] respectivamente.

A los 91 [días] de almacenamiento en condiciones normales de almacenamiento los tratamientos a_0b_0 (Ingapi – $26^\circ\text{C}/50\%\text{HR}$) y a_1b_0 (El Paraíso – $26^\circ\text{C}/50\%\text{HR}$) amplían la altura de compactación a $5,00 \pm 0,00$ [mm] y $5,44 \pm 0,51$ [mm] respectivamente; mientras que los tratamientos en condiciones extremas a_0b_2 (Ingapi – $38^\circ\text{C}/100\%\text{HR}$) y a_1b_2 (El Paraíso – $38^\circ\text{C}/100\%\text{HR}$) incrementan los valores a $7,67 \pm 0,58$ [mm] y $6,67 \pm 1,86$ [mm].

De la relación entre la altura de compactación (h_{com}) en [mm] y el tiempo de almacenamiento [días] obtenidas en el Figura L11, se reportan ecuaciones lineales ($y = a + b \times x$) en las Tablas C4 y D4; la confiabilidad del modelo se confirma con los coeficientes de correlación que presentan las ecuaciones con valores desde 0,92 a 0,96. En la conservación en bodegas se evita apilonar empaques de panela granulada, pues la presión ejercida compacta y provoca el apelmazamiento.

El análisis de varianza de la variación de la altura de compactación [mm], reportado en la Tabla E7, manifiesta el efecto estadístico significativo de las condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema) con un nivel de confianza del 95%.

Con ausencia de efecto combinado significativo de los factores unidad productiva (Ingapi y El Paraíso) y condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema), es decir que el cambio de niveles de las variables no inciden significativamente sobre la variación de la altura de compactación.

Con la prueba de diferenciación Tukey reportada en la Tabla E8, se establecen las diferencias significativas en razón a la media de la variación de la altura de compactación en cuanto al factor condiciones de almacenamiento: normal, acelerada y extrema, presentando valores de diferencia en relación a la media de $1,2432 \times 10^{-2}$ [mm], $2,2723 \times 10^{-2}$ [mm] y $2,5926 \times 10^{-2}$ [mm] respectivamente.

Según Spencer (1967), la compactación del azúcar en una pila experimental que contenía 2000 toneladas y 10 [m] de alto demostró que, a 6 [m] de profundidad, tenía una densidad de 995 [kg/m³]. Un experimento en el cual se oprimió, golpeó y compactó el mismo azúcar bajo presión de 65 [lbs/pulg²] produjo una densidad máxima de 970 [kg/m³], lo que demostró la efectividad del movimiento de cristales para lograr contacto entre las caras.

Esta condición se corregiría si la panela granulada se deposita en silos por medio de lanzadoras (una banda que se mueve a alta velocidad sobre dos poleas grandes que giran a 2000 rpm), que hacen que los cristales se distribuyan en forma de chorro, lo que produce pocos aterronamientos.

4.1.1.6 FUERZA DE CORTE

La respuesta experimental de la determinación de la fuerza de corte, basado en el método reportado por Domínguez (2008), en muestras de panela granulada de dos unidades productivas (Ingapi y El Paraíso) a tres condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema), se presenta en las Tablas B20, B21 y B22.

Los datos experimentales expresados gráficamente (Figura L12), con la media y desviación estándar de cinco determinaciones por réplica ($n=3$), aporta a la comprensión de la tendencia descendente inversa para el indicador fuerza de corte [$y = 1 / (a + b \times x)$], que los tratamientos presentan en el almacenamiento.

Inicialmente los valores de fuerza de corte para panela granulada Ingapi y El Paraíso son de $9647,82 \pm 1656,87$ [gf] y $6930,75 \pm 431,90$ [gf] respectivamente.

A los 91 [días] de almacenamiento en condiciones normales de almacenamiento los tratamientos a_0b_0 (Ingapi – $26^\circ\text{C}/50\%\text{HR}$) y a_1b_0 (El Paraíso – $26^\circ\text{C}/50\%\text{HR}$) suministran una fuerza de corte de $2853,68 \pm 481,10$ [gf] y $5102,39 \pm 152,10$ [gf] respectivamente; mientras que los tratamientos en condiciones extremas a_0b_2 (Ingapi – $38^\circ\text{C}/100\%\text{HR}$) y a_1b_2 (El Paraíso – $38^\circ\text{C}/100\%\text{HR}$) alcanzan valores de $427,53 \pm 48,90$ [gf] y $806,65 \pm 209,75$ [gf].

La fuerza de corte está influenciada por la humedad de la panela granulada que incrementa en el proceso de almacenamiento por ser un producto con higroscópico, es decir que absorbe o pierde humedad, de acuerdo con las condiciones del medio ambiente.

Para Fundación Eroski (2005), la higroscopicidad depende de la humedad de la panela y de la temperatura y humedad relativa del medio ambiente. La panela granulada o pulverizada tiene un contenido de humedad (cerca de 2%), más bajo que la de bloque (6 a 8%) y por esto tiene mayor capacidad de absorción de agua y debe ser protegida.

De la relación entre la fuerza de corte (F_{cor}) en [gf] y el tiempo de almacenamiento [días] obtenidas en el Figura L12, se reportan ecuaciones utilizando el modelo recíproco en la variable dependiente [$y = 1 / (a + b \times x)$] en las Tablas C5 y D5.

El modelo recíproco sustituye la variable F_{cor} por su recíproco previa a la estimación de la ecuación de regresión, con el fin de correlacionar estadísticamente la fuerza de corte con el tiempo de almacenamiento.

La confiabilidad del modelo se confirma con los coeficientes de correlación que presentan las ecuaciones con valores desde 0,91 a 0,99.

El análisis de varianza del indicador fuerza de corte (F_{cor}) en [gf], reportado en la Tabla E9, indica el efecto estadístico significativo de las unidades productivas (Ingapi y El Paraíso) y de las condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema) con un nivel de confianza del 95%.

El efecto combinado significativo de los factores determina que el cambio de nivel en el factor unidades productivas incide en el comportamiento del factor condiciones de almacenamiento sobre la fuerza necesaria para cortar pastillas de panela granulada y viceversa.

Con la prueba de diferenciación Tukey reportada en la Tabla E10, se establecen las diferencias significativas en razón a la media de la fuerza de corte. El factor unidad productiva (Ingapi y El Paraíso) influye representativamente en la fuerza de corte, siendo mayor la fuerza necesaria para cortar las pastillas de panela granulada El Paraíso con un valor de $1,1658 \times 10^{-5}$ [gf].

El procedimiento de comparación múltiple para el factor condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema) determina que los niveles son significativamente diferentes entre ellos al 95% de confianza. La mayor diferencia significativa en razón a la media presenta la condición de almacenamiento extrema (38°C/100%HR) con un valor de $1,8914 \times 10^{-5}$ [gf].

4.1.1.7 ENERGÍA DE CORTE

La determinación de la energía necesaria para cortar una pastilla de panela granulada, basado en el estudio reportado por Domínguez (2008), presenta la respuesta experimental reportada en las Tablas B23, B24 y B25, en muestras de panela granulada de dos unidades productivas (Ingapi y El Paraíso) a tres condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema).

La variabilidad de la respuesta experimental expresada gráficamente (Figura L13), con la media y desviación estándar de cinco determinaciones por réplica (n=3), indica la ausencia de una tendencia lógica entre los datos experimentales obtenidos.

4.1.1.8 AZÚCARES INVERTIDOS

La valoración de los azúcares invertidos por el método oficial 923.09 (44.1.15) para la medición de azúcares invertidos en azúcares y jarabes de la AOAC (1995), se reporta en las Tablas B26, B27 y B28, en muestras de panela granulada de dos unidades productivas (Ingapi y El Paraíso) a tres condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema).

La sacarosa se hidrolizó con facilidad en la solución ácida a velocidades que aumentaron notablemente según el incremento de la temperatura y la disminución del pH, con la liberación de los monosacáridos constituyentes.

La respuesta experimental expresada gráficamente (Figura L14), con la media y desviación estándar de dos determinaciones por réplica (n=3), aporta a la comprensión de la tendencia lineal ascendente ($y = a + b \times x$), que los tratamientos presentan en los 91 [días] de almacenamiento.

Inicialmente los valores de azúcares invertidos para panela granulada Ingapi y El Paraíso en condiciones normales de almacenamiento (26°C/50%HR) son de 249,15±56,07 [mg/100ml] y 244,09±27,81 [mg/100ml], respectivamente. Transcurridos los 91 [días] de almacenamiento los valores se incrementan a 301,52±9,06 [mg/100ml] y 316,15±1,12 [mg/100ml], de acuerdo a la mención anterior.

La variación es escasamente apreciable entre los tratamientos en condiciones extremas de almacenamiento (38°C/100%HR) donde los valores iniciales de azúcares invertidos para panela granulada Ingapi y El Paraíso son de 218,18±2,47 [mg/100ml] y 220,53±41,79 [mg/100ml], respectivamente. Transcurridos los 91 [días] de almacenamiento los valores se extienden a 308,20±7,60 [mg/100ml] y 308,80±4,67 [mg/100ml], de acuerdo a la mención anterior.

Cole y Bugbee (1976), mostraron la dependencia respecto al pH del incremento de azúcares invertidos durante el almacenamiento. 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.

De la relación entre los azúcares invertidos (AI) en [mg/100ml] y el tiempo de almacenamiento [días] obtenidas en el Figura L14, se reportan ecuaciones lineales ($y = a + b \times x$) en las Tablas C6 y D6.

Según Miranda (2003), para el caso de panela granulada, las reacciones de pardeamiento no enzimático causantes de la coloración 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, por reacciones como la de inversión de azúcares, 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.

El análisis de varianza del indicador azúcares invertidos (AI) en [mg/100ml], reportado en la Tabla E11, indica el efecto estadístico significativo de las unidades productivas (Ingapi y El Paraíso) con un nivel de confianza del 95%.

La ausencia de efecto combinado significativo de los factores, indica que el cambio de nivel en el factor unidades productivas (Ingapi y El Paraíso) no incide en el comportamiento del factor condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema) sobre los azúcares invertidos y viceversa.

Según Sensidoni et al., (1999), en el estudio sobre la reacción de Maillard en sistemas relacionados al proceso térmico de pasta, destaca que el aumento general de actividad de agua lleva a mayores tasa de reacción (inversión de azúcares), debida a una mayor movilidad de los reactivos.

Con la prueba de diferenciación Tukey reportada en la Tabla E12, se establecen las diferencias significativas en razón a la media de los azúcares invertidos.

El factor unidad productiva (Ingapi y El Paraíso) influye representativamente en los azúcares invertidos, siendo apreciable la diferencia de panela granulada Ingapi con la de El Paraíso con valores de $5,7081 \times 10^{-1}$ [mg/100ml] y $9,2524 \times 10^{-1}$ [mg/100ml].

La reacción de inversión de la sacarosa es sumamente importante en la fabricación de azúcar, ya que se pierde sacarosa cuando los guarapos o jugos se mantienen a un pH de 7, o ligeramente superior, especialmente durante las múltiples operaciones críticas de procesamiento para las cuales se requieren altas temperaturas.

Según Spencer (1967), la inversión produce cantidades precisamente iguales de los monosacáridos glucosa y fructosa, pero las melazas finales contienen más fructosa que glucosa.

Esto es debido a que durante varias etapas de fabricación la glucosa es destruida más rápidamente que la fructosa, especialmente en reacciones con otros constituyentes del jugo.

4.1.2 ENERGÍA DE INTERACCIÓN

4.1.2.1 HUMEDAD

La Figura R1, corresponde a la representación gráfica de la ecuación tipo Arrhenius del indicador Humedad, para la panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso. Los coeficientes de correlación de 0,98 y 0,99 comprueba la validez del modelo.

El nivel de energía requerido para las dos unidades productivas fue similar. Un valor 8,79 [J/g.mol] y 10,86 [J/g.mol] correspondieron al aumento de la humedad en panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El paraíso, respectivamente.

4.1.2.2 ACTIVIDAD DEL AGUA

La representación gráfica de la ecuación de Arrhenius del indicador Actividad del agua (Figura R2).

La gráfica proporciona un coeficiente de correlación de 0,99 que comprueba la validez del modelo, en la panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso.

El nivel de energía para las dos unidades productivas fue similar. Valores de 15,71 [J/g.mol] y 14,12 [J/g.mol] correspondieron al incremento de actividad del agua en panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, respectivamente.

Aparentemente, el cambio de energía por aumento de la humedad y actividad del agua, fue relevante, debido al efecto de las características propias de las muestras en experimentación.

4.1.2.3 PODER DE COMPACTACIÓN

La representación gráfica de la ecuación tipo Arrhenius del indicador poder de compactación (Figura R3), proporciona coeficientes de correlación de 0,90 y 0,87; comprobando la validez del modelo para panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, respectivamente.

El nivel de energía para las dos unidades productivas fue similar. Valores de 14,03 [J/g.mol] y 18,65 [J/g.mol] correspondieron al incremento de la fuerza necesaria para compactar la panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, respectivamente.

El cambio de energía por aumento del poder de compactación, es irrelevante al efecto de las características propias de las muestras.

4.1.2.4 FUERZA DE CORTE

La representación gráfica de la ecuación tipo Arrhenius del indicador fuerza de corte (Figura R4), proporciona coeficientes de correlación de 0,99; comprobando la validez del modelo. Valores de 17,60 [J/g.mol] y 24,18 [J/g.mol] correspondieron al incremento de la fuerza necesaria para cortar pastillas de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, respectivamente.

El nivel de energía para las dos unidades productivas analizadas fue diferente. De carácter relevante la energía por aumento de la fuerza de corte, es afectada por las características propias de las muestras.

4.1.2.5 AZÚCARES INVERTIDOS

La representación gráfica de la ecuación tipo Arrhenius del indicador azúcares invertidos (Figura R5), proporciona coeficientes de correlación de 0,19 y 0,21; lo que indica que el modelo no es adecuado para describir la variabilidad de los azúcares invertidos, en la panela granulada de las unidades productivas experimentadas.

El nivel de energía requerido para las dos unidades productivas en experimentación presenta valores de 3,12 [J/g.mol] y 0,99 [J/g.mol] correspondieron al incremento de azúcares invertidos en panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El paraíso, respectivamente. Nótese que la energía por incremento de los azúcares invertidos, es afectada por las características propias de las muestras.

4.1.3 CORRELACIONES ENTRE INDICADORES

4.1.3.1 PODER DE COMPACTACIÓN FRENTE A HUMEDAD

De las relaciones entre el poder de compactación (P_{com}) [Pa] y la humedad, obtenidas en las Figuras O1 a O6, se reportan ecuaciones inversas para el indicador poder de compactación [$y = 1 / (a + b \times x)$] en la Tabla D10.

Así el poder de compactación tiene un efecto estadísticamente significativo en la humedad de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, al 95% de confianza. La confiabilidad del modelo se confirma con los coeficientes de correlación, que dan una medida de la covariación entre ambas variables que presentan las ecuaciones, con valores desde 0,91 a 0,99.

Las correlaciones dan una analogía de causalidad entre el poder de compactación (P_{com}) en [Pa] y la humedad, afirmando que las variables son causante de los efectos entre sí, mediante el modelo recíproco para el poder de compactación.

4.1.3.2 PODER DE COMPACTACIÓN FRENTE A ACTIVIDAD DE AGUA

Las Figuras O7 a O12 detallan las correlaciones entre el poder de compactación (P_{com}) en [Pa] y la actividad del agua, obteniendo ecuaciones inversas para el indicador poder de compactación [$y = 1 / (a + b \times x)$] que se puntualizan en la Tabla D10.

El poder de compactación tiene un efecto estadísticamente significativo en la actividad del agua de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, al 95% de confianza. Los coeficientes de correlación dan una medida de la covarianza entre ambas variables con valores desde 0,87 a 0,99.

Las correlaciones dan una analogía de causalidad entre el poder de compactación (P_{com}) en [Pa] y la actividad del agua, de ahí que el aumento de agua en la panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, causa un considerable efecto en el poder de compactación.

4.1.3.3 FUERZA DE CORTE FRENTE A HUMEDAD

Las correlaciones entre la fuerza de corte (F_{cor}) en [gf] y la humedad se detallan en las Figuras O13 a O18, obteniendo ecuaciones inversas para el indicador fuerza de corte [$y = 1 / (a + b \times x)$], las que se detallan claramente en la Tabla D12.

La fuerza de corte tiene un efecto estadísticamente significativo en la humedad de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, al 95% de confianza. Los coeficientes de correlación dan una medida de la covarianza entre ambas variables con valores desde 0,96 a 0,99.

Las variables fuerza de corte (F_{cor}) en [gf] y humedad no son independientes, se encuentran correlacionadas en cierto grado. La correlación es apreciable para los datos que encuentran tendencia a lo largo de la línea de regresión.

4.1.3.4 FUERZA DE CORTE FRENTE A ACTIVIDAD DEL AGUA

Las correlaciones entre la fuerza de corte (F_{cor}) en [gf] y la actividad del agua se detallan en las Figuras O19 a O24, obteniendo ecuaciones inversas para el indicador fuerza de corte [$y = 1 / (a + b \times x)$], detalladas en la Tabla D13.

El modelo inverso de la variable dependiente que presenta la correlación, ajusta una ecuación de regresión lineal [$1/y = a + b \times x$]. Así la fuerza de corte tiene un efecto estadísticamente significativo en la humedad de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, al 95% de confianza.

Los coeficientes de correlación dan una medida de la covarianza entre ambas variables con valores desde 0,95 a 0,99.

Las variables fuerza de corte (F_{cor}) en [gf] y la actividad del agua no son independientes, se encuentran correlacionadas en cierto grado. La correlación es apreciable para los datos que encuentran tendencia a lo largo de la línea de regresión.

4.1.3.5 GRANULOMETRÍA FRENTE A HUMEDAD

De la sustitución de la granulometría (G) en [%], por el recíproco previo a la estimación de la ecuación de regresión frente a la humedad, se presentan las Figuras O25 a O29.

Complementando el análisis se detallan ecuaciones inversas para el indicador granulometría [$y = 1/ (a + b \times x)$] en la Tabla D14. Se describe la ausencia de efecto estadísticamente significativo entre los indicadores granulometría y humedad para panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, al 95% de confianza.

El análisis de la panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condiciones extremas de almacenamiento (38°C/100%HR) detalla disconformidades al correlacionar los indicadores.

4.1.3.6 GRANULOMETRÍA FRENTE A ACTIVIDAD DEL AGUA

De la sustitución de la granulometría (G) en [%], por el recíproco previo a la estimación de la ecuación de regresión frente a la actividad del agua, se presentan las Figuras O30 a O34.

Complementariamente se detallan ecuaciones inversas para el indicador granulometría frente a la actividad del agua [$y = 1/ (a + b \times x)$] en la Tabla D15.

Se describe la ausencia de efecto estadísticamente significativo entre los indicadores para panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, al 95% de confianza.

El análisis de la panela granulada de la unidad productiva Ingapi a condiciones extremas de almacenamiento (38°C/100%HR) detalla disconformidades al correlacionar los indicadores.

4.1.4 CARACTERIZACIÓN DE PANELA GRANULADA

4.1.4.1 DENSIDAD DE BULTO FLOJA

La Tabla B29, presenta los datos experimentales obtenidos de la determinación de densidad de bulto floja (DBF) en [kg/m³], para muestras de panela granulada de dos unidades productivas (Ingapi y El Paraíso) a tres condiciones de almacenamiento (normal, acelerada y extrema); basado en el método indicado por Alvarado (1996), para caracterizar granos y harinas.

La respuesta experimental expresada gráficamente (Figura L15), con una determinaciones por réplica (n=3), aporta a la comprensión de la tendencia lineal ascendente ($y = a + b \times x$), que los tratamientos presentan en los 91 [días] de almacenamiento.

La variación es escasamente apreciable entre los tratamientos, en condiciones extremas de almacenamiento (38°C/100%HR) los valores incrementan transcurridos los 91 [días] de almacenamiento; de 490,00 [kg/m³] a 552,93[kg/m³] y de 528,53 [kg/m³] a 655,47 [kg/m³] para panela granulada Ingapi y El Paraíso, respectivamente.

En condiciones normales de almacenamiento (26°C/50%HR) los valores se incrementan considerablemente a los 91 [días] de almacenamiento; de 540,00[kg/m³] a 643,20 [kg/m³] y de 648,40 [kg/m³] a 716,00 [kg/m³] para panela granulada Ingapi y El Paraíso, respectivamente. Spencer (1967), aclara que si las partículas de panela granulada son irregulares y pequeñas, es decir, existen más cristales por unidad de peso unitario, más puntos de contacto y mayor área superficial habrá; así aumentará la tendencia a aterronarse.

De la relación entre la densidad de bulto floja (DBF) [kg/m^3] y el tiempo de almacenamiento [días] obtenidas en el Figura L15, se reportan ecuaciones lineales ($y = a + b \times x$) en las Tablas D7. Así la densidad de bulto floja tiene un efecto estadísticamente significativo en el tiempo de vida de anaquel al 95% de confianza. La confiabilidad del modelo se confirma con los coeficientes de correlación que presentan las ecuaciones con valores desde 0,95 a 0,99.

4.1.4.2 DIÁMETROS MEDIOS

Mediante microfotografías se midieron los diámetros de Feret de 100 partículas de panela granulada de la unidad productiva Ingapi y El Paraíso por réplica siendo evidentes las diferencias en las formas y apariencias de las partículas al ser observadas en el microscopio óptico.

Los valores de los diámetros medios son definidos en las Tablas I1 a I7, para los muestreos realizados durante los 91 días de almacenamiento.

Para Alvarado (1996), estos valores son útiles como índices de control de molinos o tamices, en cálculos de ingeniería relacionados con el transporte neumático, y como índices de calidad para detectar mezclas.

En las muestras analizadas se destaca que las partículas de panela granulada presentan dimensiones similares en condiciones iniciales. Las formas son aproximadamente irregulares, poligonales en el plano y se asume poliédricas irregulares en el espacio. Lo anterior permite tener una idea del grado de molienda que es factible obtener por los procedimientos normales de molturación.

Sin embargo a 91 días de almacenamiento en condiciones extremas ($38^\circ\text{C}/100\%\text{HR}$), los diámetros de la panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, varían considerablemente debido a que las partículas de panela granulada absorben humedad formando conglomerados o agrupaciones de granos.

Según Heldman y Singh (1981), una propiedad importante para alimentos granulares y polvos es el tamaño de partícula y la distribución del tamaño.

4.1.4.3 HISTOGRAMAS

Mediante una distribución de frecuencias se clasificaron los datos de diámetros de Feret de las partículas de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso. Las clases se concretaron por orden de magnitud y se escogieron de modo que un mismo dato no caiga en dos clases diferentes.

Las distribuciones de frecuencias se detallan en las Tablas H1 a H7, denotando los datos divididos en 12 intervalos claramente especificados con el límite inferior y superior para cada caso, representados por una fila de la tabla. Con ausencia de datos fuera de los intervalos establecidos. En forma complementaria se detallan los valores medios y la desviación estándar de las 100 partículas medidas por réplica ($n=3$).

Apoyando el estudio en lo reportado por González y Mancill (1962), se construyeron polígonos rectangular de frecuencias o histogramas resumiendo los datos de los tratamientos (Figuras Q1 a Q7) usando como anchura de los rectángulos la amplitud de los intervalos de clase y áreas proporcionales a las frecuencias correspondientes.

Inicialmente los tratamientos en condiciones normales presentan mayor número de partículas en los intervalos de 800 [μm] a 1000 [μm] y de 600 [μm] a 800 [μm].

Así para el tratamiento a_0b_0 (Ingapi – 26°C/50%HR) los valores son 83 y 73 partículas, respectivamente y para el tratamiento de a_1b_0 (El Paraíso – 26°C/50%HR) los valores son 99 y 65 partículas, respectivamente.

Transcurridos los 91 [días] de almacenamiento, la variación es apreciable en las muestras de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso mantenidas en condiciones extremas, donde presentan mayor número de partículas en los intervalos de 400 [μm] a 600 [μm] y de 600 [μm] a 800 [μm].

Así para el tratamiento a_0b_0 (Ingapi – 38°C/100%HR) los valores son 72 y 92 partículas, y para el tratamiento de a_1b_0 (El Paraíso – 38°C/100%HR) los valores son 80 y 79 partículas, respectivamente.

4.1.4.4 SUPERFICIE ESPECÍFICA

La respuesta experimental, fijada con el programa MatLab 7.0 en los tratamientos durante 91 [días] de almacenamiento, se expresa gráficamente (Figura L16). La media y desviación estándar de 100 determinaciones por réplica (n=3) muestran la tendencia exponencial ascendente [$y = \exp(a + b \times x)$].

La Tabla D8, detalla las ecuaciones que relacionan el número de partículas frente al tiempo de almacenamiento [días]. El estadístico r de 0,76 a 0,99 explica la correlación relativamente fuerte entre las variables.

Y el error normal de la estimación muestra la desviación de los residuos. Los valores de error de 0,09 a 0,33 explican estadísticamente el valor de la desviación normal de los residuos que contribuye en la construcción de los límites de la predicción para nuevas observaciones.

Debido a que la distribución granulométrica es una de las magnitudes que más interesa en el sector productivo, se afirma que la relación existente entre la masa de la muestra y la distribución de la superficie específica de las partículas en esta masa, son un indicativo de calidad.

4.1.4.5 NÚMERO DE PARTÍCULAS

Los datos experimentales de la media y desviación estándar de 100 determinaciones por réplica (n=3), obtenidos en la investigación con el programa MatLab 7.0, permiten elaborar gráficas (Figura L17) que aportan a la comprensión de la tendencia exponencial ascendente [$y = \exp(a + b \times x)$] que los tratamientos presentan en los 91 [días] de almacenamiento.

La Tabla D9, detalla las ecuaciones que relacionan el número de partículas frente al tiempo de almacenamiento [días]. El estadístico r de 0,83 a 0,97 explica la correlación relativamente fuerte entre las variables.

El error normal de la estimación muestra la desviación de los residuos. Este valor puede usarse al determinar los límites de predicción de estructura para las nuevas observaciones seleccionando el modelo exponencial.

4.1.4.6 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

La forma del gránulo de panela así como su tamaño, pudo ser observado mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM).

Las Figuras S1 a S12, muestran las fotomicrograffías de las partículas de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso a condiciones iniciales (0 días) y finales de almacenamiento (91 días).

La panela granulada Ingapi exhibió partículas pequeñas ovoides largas y esféricas sin ser sometidas a almacenamiento.

Durante la conservación se producen cambios considerables, especialmente a condiciones extremas de almacenamiento (38°C/100%HR). El almacenamiento afecta a las propiedades del alimento, deformando su estructura interna esencialmente por el incremento de humedad.

De forma similar se consideran los cambios en las partículas de panela granulada de la unidad productiva El Paraíso; inicialmente pueden ser observadas las estructuras ovoides definidas.

Con el transcurso del almacenamiento se identifica la fragmentación de las partículas, debido al incremento de la actividad del agua y su interacción con los componentes de la muestra; siendo considerables los cambios de las partículas sometidas a condiciones extremas de almacenamiento (38°C/100%HR); obsérvese las Figuras S11 y S12.

Las Figuras S13 y S14, presentan la separación de cristales de las dos muestras analizadas (Ingapi y El Paraíso) almacenadas en condiciones extremas (38°C/100%HR) a 91 días de conservación.

Spencer (1967), detalla que el interior del cristal de sacarosa contiene imperfecciones e inclusiones muy complejas. Bajo gran aumento (3000 a 20000 aumentos) la superficie del cristal muestra un cuadro complejo de capas, en la superficie una capa de jarabe y el espesor de la partícula variará según la dureza del cristal.

4.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

4.2.1 HUMEDAD

Al someter la respuesta empírica a la comprobación del razonamiento y a la crítica experimental se rechaza la hipótesis nula (H_0) verificando que la humedad es un indicador del tiempo de vida de anaquel de panela granulada almacenada a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, procedente de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso.

4.2.2 ACTIVIDAD DEL AGUA

Previa a la observación y acumulación de datos relacionados con actividad del agua y la comparación de los resultados pertinentes, se rechaza la hipótesis nula (H_0) identificando que la actividad del agua por su interacción con los componentes de la panela granulada, es un indicador del tiempo de vida de anaquel al ser almacenada a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, procedente de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso.

4.2.3 GRANULOMETRÍA

La exploración extensa y profunda sobre distribución granulométrica, así como la ausencia de una tendencia descriptiva, contribuye a la aceptación de la hipótesis nula (H_0); identificando que la granulometría no es indicador del tiempo de vida de anaquel de panela granulada almacenada a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, procedente de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso.

4.2.4 PODER DE COMPACTACIÓN

La evaluación del indicador poder de compactación, y el control por medio de la conceptualización y operacionalización adecuada, permiten rechazar la hipótesis nula (H_0) planteada con anterioridad; relacionando que es un parámetro determinante del tiempo de vida de anaquel de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso, almacenada a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa.

4.2.5 FUERZA DE CORTE

Se observó y midió la fuerza de corte en pastillas de panela granulada almacenada a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, procedente de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso. Lo que permitió aceptar la hipótesis alternativa (H_i), relacionando que la fuerza de corte, es un indicador del tiempo de vida de anaquel.

4.2.6 AZÚCARES INVERTIDOS

Tomando como referencia los resultados reales de la investigación y apoyándolos en sustentos teóricos. Se acepta la hipótesis nula (H_0), afirmando que los azúcares invertidos no presentan una relación con las diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, siendo poco representativos en la determinación del tiempo de vida de anaquel.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- 5.1.1 El modelo lineal explica la variabilidad del tiempo de vida de anaquel en función de la humedad, actividad de agua y contenido de azúcares invertidos. Sin embargo, un modelo con el recíproco de la variable dependiente revela la tendencia de los datos inversa para los indicadores poder de compactación y fuerza de corte.

Con el propósito de controlar el almacenamiento de panela granulada previa a la comercialización, el uso de técnicas de cálculo de tiempos de vida útil con respuestas experimentales simples, como es el porcentaje de humedad, conduce a obtener resultados satisfactorios en el caso de mantenerse a temperatura y humedad relativa constante.

Fenómenos como el aumento de agua en la composición de la panela granulada, provocan la ocurrencia de reacciones químicas que son las que producen los cambios en las propiedades del producto.

Se afirma que al elevarse el contenido de humedad, los gránulos de panela se aglomeran, cambian de color, aumenta la concentración de azúcares invertidos y disminuye el contenido de sacarosa.

- 5.1.2 El análisis estadístico revela que las condiciones de almacenamiento tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la razón de la humedad, actividad del agua, poder de compactación y fuerza de corte a un nivel de confianza del 95%.

A 26°C y 50% de humedad relativa, fijados en la condición normal, el almacenamiento mantiene estable la panela granulada por tiempo prolongado; sin embargo, es importante considerar niveles óptimos de humedad y actividad del agua en la panela granulada que se almacena por tiempos extensos, para limitar el crecimiento de mohos y levaduras.

- 5.1.3 La utilización de técnicas de cálculo con respuestas experimentales simples, como es la humedad, con el propósito de controlar la vida de anaquel de panela granulada, conduce a obtener resultados satisfactorios en el caso de mantenerse a temperatura y humedad relativa constantes. Para panela granulada, la humedad de equilibrio es inferior al 50% y temperatura ambiente; se debe empaquetar en materiales con características físicas que no permitan su interacción con el ambiente para alcanzar una prolongada vida de anaquel, resultando una técnica económicamente más rentable que acondicionar el aire de la bodega.
- 5.1.4 La panela granulada almacenada no se deteriora durante el tiempo, si fue fabricada bajo procedimientos controlados y condiciones sanitarias, posee partículas duras, uniformes y de buen tamaño, posee un contenido de humedad de 2,00% a 3,50%, se conserva a temperaturas de 26 a 32°C y sus cristales poseen las características originales debido a una correcta manipulación y distribución.
- 5.1.5 La energía de activación por la razón de la humedad, actividad del agua, poder de compactación y fuerza de corte posee valores de escasa consideración, por lo que no representan parámetros de control en las pruebas de tiempo de vida de anaquel para panela granulada. Se aclara que el aumento de la humedad de la panela granulada tiene relación estrecha con la humedad relativa y la temperatura.
- 5.1.6 La apariencia granular de la panela granulada varía entre las unidades productivas, lo que ocasiona que las propiedades funcionales difieran. Se lograron establecer distribuciones de acuerdo al tamaño de las partículas. Este estudio microscópico de forma y tamaño, relacionado con otras propiedades, puede sentar base a la comparación y afirmación de selección de panela granulada para el almacenamiento.
- 5.1.7 Las partículas de panela granulada de mayor tamaño poseen relativamente menor superficie, por lo que absorberán menos humedad en condiciones de almacenamiento extremas, mientras que los conglomerados o agrupaciones de granos contendrán melaza diluida, que podrá servir de incubador para el desarrollo de organismos microbiológicos.

5.1.8 El empleo del estudio en el almacenamiento incentivará al desarrollo comercial de las unidades productivas hacia el mercado norteamericano. Se plantea que los almacenes deben ser secos, grandes y casi herméticos. El procedimiento más seguro es el de mantenerlos siempre cerrados, especialmente en los trópicos y en climas húmedos, para que entre en ellos la menor cantidad posible de aire húmedo. La atmósfera del almacén se equilibrará. La temperatura debe ser igual o inferior a 26°C. Bajo estas condiciones la humedad relativa se mantiene en una atmósfera secante sin presentar endurecimiento.

5.2 RECOMENDACIONES

- 5.2.1 La panela granulada al finalizar el proceso debe empacarse eficientemente, debido al incremento de humedad en forma acelerada en las condiciones de trapiche.
- 5.2.2 Medir el tamaño de partícula por atenuación y disipación de luz (scattering), basado en la interacción de un haz de luz al pasar a través de una suspensión de partículas, mediante el Malvern Mastersizer, un equipo basado en tecnología láser; con el fin de determinar continuamente el tamaño de partícula en los procesos de molienda.
- 5.2.3 Evaluar el número de partículas por centímetro cúbico mediante el contador Coulter, para partículas de 1 a 1200 [μm] de diámetro, con el fundamento de suspender la muestra en un electrolito y forzarla a pasar por un orificio, midiendo el voltaje entre dos electrodos ubicados en la abertura, siendo el tamaño de la partícula proporcional a esta diferencia de voltaje.
- 5.2.4 Debido a la dificultad y falta de precisión que presentan los métodos manuales de caracterización de partículas, es fundamental desarrollar un software de análisis de imágenes capaz de procesar información como: longitud de partícula, curvatura, distancia media entre partículas, centro de masas, rugosidad de superficie, diámetros de Feret, factores de forma, esfericidades; con el enfoque de proporcionar mayor precisión a la caracterización de partículas disminuyendo gastos en tiempo y dificultad.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos informativos

- **Título:** “Aplicación de las condiciones de almacenamiento adecuadas para mantener las condiciones características de la panela granulada durante el tiempo de vida de anaquel”
- **Institución ejecutora:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) - Estación Experimental Santa Catalina - Departamento de Nutrición y Calidad (DCN) y Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.
- **Beneficiarios:** Sector de la Investigación científica, ONG’s (Organizaciones no Gubernamentales), Camari-FEPP (Federación Ecuatoriana de Productores Paneleros) con sus unidades productivas asociadas, como: Ingapi y El Paraíso, y MCCH (Maquita Cushunchic Comercializando como Hermanos).
- **Ubicación:** Pichincha – Ecuador
- **Tiempo estimado para la ejecución:** 12 meses
 - Inicio:** Mayo del 2010
 - Final:** Mayo del 2011
- **Equipo técnico responsable:** Egda. Liliana P. Acurio A., Ing. Juan de Dios Alvarado, Ing. Nelly Lara Valdez y Analistas del laboratorio de control de calidad de las unidades productivas asociadas a Camari-FEPP.
- **Costo:** \$ 6215,18

6.2 Antecedentes de la propuesta

Según Álvarez (2004), la panela es un edulcorante de uso tradicional elaborado a base de caña de azúcar, es la base del sustento de miles de familias campesinas a nivel mundial, quienes producen en unidades de pequeña escala, con mano de obra familiar y afrontan muchas dificultades para modernizar su producción y expandir sus mercados.

Según Espinal *et al.* (2009), sólo un pequeño segmento de la producción de panela a nivel mundial se desarrolla de forma industrial y el resto se realiza en establecimientos pequeños, sin tecnificación, con capacidades de producción inferiores a los 300 kilogramos de panela por hora.

Según Rodríguez y Gottret (2009) y Sandoval (2004^a), la producción de panela ha sido tradicionalmente una de las principales actividades económicas en diferentes regiones de la ladera de los Andes como estrategia productiva y de generación de ingresos para más de 70.000 familias de productores de caña de azúcar, en su mayoría de mediana y pequeña escala, que responden a una significativa demanda nacional de panela y a un consumo arraigado en los sectores rurales y urbanos, de todos los estratos socioeconómicos. La alternativa más estable y práctica para la comercialización de la panela es en forma granular, presentando ventajas de manipulación, transporte, almacenaje y consumo.

En Ecuador, la panela granulada es producida a escala artesanal especialmente en el sector rural. El proceso de elaboración de panela, se ha transmitido de forma tradicional, sin considerar criterios de manufactura, calidad y oportunidades de mercado. La producción de caña de azúcar a nivel ecuatoriano, según estadísticas del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), en el año 2000 existían 79.913 hectáreas [ha], de caña de azúcar destinada para la producción azucarera, y una producción bruta de 5'618.045 toneladas métricas [Tm], con un rendimiento promedio de 70,30 [Tm/ha]. La región andina tiene la mayor superficie de producción de caña de azúcar llegando a 53.249 [ha] con una producción de 3'106.192 [Tm] (ASOCAP, 2009).

La demanda tanto para el mercado nacional como internacional es todavía limitada, principalmente, debido a aspectos de calidad normalizados para los consumidores de estos mercados (Villacís, 2005).

La propuesta del presente estudio se fundamenta en aplicar los principales indicadores en el tiempo de vida de anaquel de panela granulada de las unidades productivas Ingapi y El Paraíso con fines de exportación al mercado norteamericano.

6.3 Justificación

Las condiciones de almacenamiento adecuadas contribuyen al interés por aplicar las condiciones apropiadas de almacenamiento para la prolongación del tiempo de vida de anaquel de panela granulada, se fundamenta en la contribución a las unidades productivas artesanales que obtienen bajos rendimientos económicos debido a las condiciones tradicionales de almacenamiento, transporte y comercialización así como, la escasa tecnología innovadora utilizada.

La importancia teórico práctica se estipula al considerar los indicadores humedad y actividad del agua como influyentes en el deterioro de panela granulada. Los mismos que están en relación con la composición nutritiva y las condiciones del medio ambiente, tanto durante el almacenamiento así como en el transporte. Los datos experimentales a ser obtenidos tendrán un impacto directo en la comercialización internacional de este edulcorante natural, fuente de sustento económico de muchas familias ecuatorianas vinculadas a la actividad panelera.

Por ende, la disponibilidad de esta información permitirá, a los productores y distribuidores, establecer las condiciones de almacenamiento adecuadas para que la panela granulada mantenga sus condiciones características durante el tiempo requerido hasta llegar al consumidor.

La investigación proporciona información técnica de importancia para el proceso de almacenamiento, comercialización y distribución de panela granulada en sistemas abiertos a presión atmosférica, con el propósito de apoyar a las ONG's (Organizaciones no Gubernamentales), Camari-FEPP (Federación Ecuatoriana de Productores Paneleros) y MCCH (Maquita Cushunchic Comercializando como Hermanos) y en las iniciativas de revalorización de los procesos artesanales a nivel de las unidades productivas proveedoras de panela orgánica.

6.4 Objetivos

Objetivo general

- Proponer las condiciones de almacenamiento adecuadas para que la panela granulada mantenga sus condiciones características durante el tiempo requerido hasta llegar al consumidor.

Objetivos específicos

- Calcular el tiempo de vida de anaquel de panela granulada a temperatura constante mediante los indicadores humedad y actividad del agua.
- Comparar los principales indicadores del tiempo de vida de anaquel, con los que exponen investigaciones anteriores.
- Evaluar la aceptabilidad en función de sabor, consistencia y apariencia.

6.5 Análisis de factibilidad

El proyecto de investigación contribuye a la comercialización, ya que con ello se puede desarrollar una nueva alternativa en la conservación de panela granulada, para que mantenga sus condiciones características durante el tiempo requerido hasta llegar al consumidor. El análisis de factibilidad además es de carácter socio-económico, en vista que se podrá fomentar el mercadeo de la panela granulada elaborada por unidades productivas proveedoras de panela orgánica, de esta manera se incrementarán los recursos económicos de familias ecuatorianas; por otro lado abarca el aspecto ambiental ya que contribuye a la elaboración de productos orgánicos, sin el aporte de químicos contaminantes.

Tabla 23. Valores económicos de la propuesta

Recursos Humanos	Universidad	Graduando
Tutor	\$ 704,00	
Graduando		\$ 1686,00
Recursos Físicos		
Materiales, equipos y reactivos	\$ 2492,18	
Recursos económicos		
Transporte		\$ 500,00
Imprevistos		\$ 500,00
Publicaciones		\$ 333,00
Suman	\$ 3196,18	\$ 3019,00
Total	\$ 6215,18	

Elaborado por: Liliana P. Acurio A.

- **Costo total estimado:** \$ 6215,18
- **Aporte de Universidad (FCIAL):** \$ 3196,18
- **Aporte otros:** \$ 3019,00

6.6 Fundamentación

Según Terranova (1995), por ser la panela un producto higroscópico, el riesgo de absorber agua del ambiente es alto. A más de los empaques con buena barrera contra la humedad, es necesario que las bodegas estén especialmente acondicionadas y cuenten con buena circulación de aire de tal manera que, la humedad de equilibrio en almacenamiento sea menor o igual al 7% en el producto.

Para Reynel y Van (2003), los bultos de panela deben estar dispuestos uno sobre otro, en tarimas de madera para separarlos del piso, pero es importante considerar la excesiva acumulación de bultos, para evitar el apelmazamiento de la panela granulada.

2.1.3 VARIABLES DE CALIDAD DE LA PANELA GRANULADA

2.1.3.1 HUMEDAD

Según Kirk et al. (1999), el agua en los alimentos se encuentra en dos formas, como agua enlazada y como agua disponible o libre; el agua enlazada incluye moléculas de agua unidas en forma química, a través de puentes de hidrógeno a grupos iónicos o polares, mientras que el agua libre es la que no está físicamente unida a la matriz del alimento y se puede congelar o perder por evaporación o secado. El contenido de humedad es la totalidad de agua que está retenida en un alimento dado, y es de gran importancia por razones científicas, técnicas y económicas.

Labuza (1982), si el agua está separada de un alimento, es decir una cantidad menor está disponible como solvente no se encontrará utilizable para las reacciones de degradación. Así, la mayoría de las reacciones química disminuyen proporcionalmente como disminuye el contenido de agua.

Además define que los efectos de contenido de agua son representativos críticos de la estabilidad del almacenamiento de comidas secas y semi-húmedas. Básicamente, los rangos de degradación son una función de disponibilidad de agua o actividad de agua.

2.1.3.2 ACTIVIDAD DEL AGUA

Según Pawkit (2001) y Kirk *et al.* (1999), la actividad de agua (a_w) es un indicador de cuan estrechamente está ligada el agua, estructuralmente o químicamente a una sustancia. Es un parámetro intrínseco, estrechamente ligado a la humedad del alimento y es el mejor indicador de la perecibilidad.

Además define claramente a la actividad del agua, como la relación que existe entre la presión parcial de vapor de agua en equilibrio contenida en el alimento (P) y la presión de vapor del agua pura en equilibrio (P_o) a la misma temperatura; siendo por esta razón un número sin unidades y con un valor que varía entre cero y uno.

La a_w influye en: la composición química o nutricional, color, olor, sabor, textura, apariencia y vida útil de muchos productos, predice la seguridad o estabilidad con respecto al crecimiento microbiano, es el mejor indicador de la perecibilidad de un alimento.

La evaluación de la humedad relativa de equilibrio (HRE) es importante para productos de confitería, ya que predice su comportamiento y su vida útil. (Alvarado, 1996; Curiel, 2005).

6.7 Metodología - Modelo operativo

Para el almacenamiento y conservación de panela granulada se pesará muestras exactas de 1 [kg], por repetición, se empacará en fundas de polipropileno y se identificarán claramente composición nutricional, número de lote y tiempo de almacenamiento.

Condiciones normales: 26°C/50%HR

Se utilizará una cámara de almacenamiento con control de temperatura y registro constante de la humedad relativa con el objetivo de mantener las condiciones a 50% de humedad relativa; la condición de almacenamiento se conseguirá con sistemas de ventilación y recirculación apropiados o por medio del acondicionamiento con una solución saturada de sal de carbonato de potasio.

Tabla 24. Modelo operativo (Plan de acción)

Fases	Metas	Actividades	Responsable	Recursos	Presupuesto	Tiempo
1. Formulación de la propuesta	Almacenar panela granulada a condiciones adecuadas	Revisión bibliográfica	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$ 2390,00	3 meses
2. Desarrollo preliminar de la propuesta	Cronograma de la propuesta	Pruebas preliminares sobre conservación de panela granulada	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$ 492,18	3 meses
3. Implementación de la propuesta	Ejecución de la propuesta	Aplicación de la conservación adecuada de panela granulada	Investigador Analista	Humanos Técnicos Económicos	\$ 2000,00	3 meses
4. Evaluación de la propuesta	Comprobación del proceso de la implementación	Encuestas a productores	Investigador Analista	Humanos Técnicos Económicos	\$ 1333,00	3 meses

Elaborado por: Liliana P. Acurio A.

6.8 Administración

Tabla 25. Administración de la propuesta

Indicadores a mejorar	Situación actual	Resultados esperados	Actividades	Responsables
Tiempo de vida de anaquel		Tiempo de vida de anaquel de panela granulada prolongado.	<ul style="list-style-type: none"> • Calcular el tiempo de vida de anaquel de panela granulada a temperatura constante mediante la humedad y actividad del agua. 	
Indicadores del tiempo de vida de anaquel	Almacenamiento de panela granulada a condiciones ambientales.	Indicadores del tiempo de vida de anaquel, representativos.	<ul style="list-style-type: none"> • Comparar los indicadores del tiempo de vida de anaquel, con los que exponen investigaciones anteriores. 	Analista de Control de Calidad de las Unidades Productivas
Aceptabilidad en función de sabor, consistencia y apariencia.		Producto aceptable.	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la aceptabilidad en función de sabor, consistencia y apariencia. 	

Elaborado por: Liliana P. Acurio A.

6.9 Previsión de la evaluación

Tabla 26. Previsión de la evaluación

Preguntas básicas	Explicación
¿Quiénes solicitan evaluar?	ONG's (Organizaciones no Gubernamentales), Camari-FEPP (Federación Ecuatoriana de Productores Paneleros) y MCCH (Maquita Cushunchic Comercializando como Hermanos).
¿Por qué evaluar?	Proporciona información técnica de importancia para el proceso de almacenamiento, comercialización y distribución de panela granulada en sistemas abiertos a presión atmosférica.
¿Para qué evaluar?	Prolongar el tiempo de vida de anaquel de panela granulada
¿Qué evaluar?	Tiempo de vida de anaquel de panela granulada. Indicadores del tiempo de vida de anaquel, representativos. Aceptabilidad del producto.
¿Quién evalúa?	Investigador Laboratorio de control de calidad de las unidades productivas
¿Cuándo evaluar?	Durante el almacenamiento y conservación. Comercialización y consumo
¿Cómo evaluar?	Indicadores: humedad y actividad del agua Evaluación sensorial
¿Con qué evaluar?	Experimentación Degustación de consumidores

Elaborado por: Liliana P. Acurio A.

MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, J. de D., 1996. Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos. OEA-PRDCT. Quito, Ecuador. Radio Comunicaciones. División de Artes Gráficas. Pp: 63-68.
- Alvarado, J. de D. y Aguilera, J., 2001. Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. Zaragoza, España. Editorial Acribia S. A. Pp: 29-48, 237-239.
- Alvarenga, B. y Ribeiro, A., 1983. Física General con experimentos sencillos. Tercera Edición. D.F. - México, Editorial Harla S. A. Pp: 21-29.
- Álvarez, F., 2004. Panela en Estados Unidos. (en línea). Editorial Corporación Colombiana Internacional. Disponible en http://www.agronet.gov.com/www/docs_agronet/2005113152450_perfil_producto_Panela.pdf. Consultado, 02 Feb. 2009.
- AOAC Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 1996. Décima sexta edición. Editorial AOAC International. Maryland – Estados Unidos. Volumen II. Método para determinación de humedad 925.45 y Método para determinación de azúcares invertidos 923.09
- ASOCAP (Agroindustria Panelera En La Provincia De Pastaza - Ecuador), 2009. Agroindustria panelera en la provincia de Pastaza- Ecuador. Asociación de cañicultores de Pastaza. Disponible en: <http://www.infoagro.net/shared/docs/a5/dair23.ppt>. Consultado, 10 Feb. 2009.
- Banco Central del Ecuador (BCE), 2008. Exportaciones de panela. Base de datos de la biblioteca. Disponible en: <http://www.portal.bce.fin.ec/vtobueno/ComercioExterior.jsp>. Consultado, 05 Jul. 2008.
- Cabral ACD, 1980. Aspectos gerais sobre a vida de peletaria de productos alimementicios. Boletín ITAL. Campiñas – Brasil.
- Castedo, J., 2002. Azúcar ecológica: Panela granulada. (en línea). El grupo CBOL. Disponible en: <http://www.geocities.com/quinua2002.html>. Consultado, 30 Sep. 2007).
- Castillo J., 2009. CiberCrazy5000@yahoo.com.mx. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/compactacion/compactacion.shtm> l. Consultado, 25 Feb. 2009.
- CCI (Corporación Colombiana Internacional), 2002. Mercado Mundial de Ecológicos con Énfasis en Cacao, Panela, Banano y Frutas promisorias.

Observatorio de Competitividad. Bogotá D.C. – Colombia. Disponible en: http://www.agrocadenas.gov.co/inteligencia/documentos/Perfil_mercado_Ecologicos.pdf. Consultado, 24 Nov. 2008)

- Cecil, S.R. and Woodroof, J.G. 1962. Long term storage of military rations. G. Agric. Exp. Stn. Tech. Bull. 25.
- CENDES, 1968. Mejoramiento de la producción de panela. Centro de desarrollo. Quito – Ecuador. Pp: 6 – 26.
- Chen, J., 1991. Manual de Azúcar de Caña. Editorial LIMUSA. Noriega. Primera edición. México – DF. Pp: 849
- Chicaiza, G. y Martínez J., 1996. Tiempo de vida útil en carne de bovino refrigerada mínimamente procesada y empaquetada al vacío. Tesis, Ing. en Alimentos. Ambato – Ecuador. Universidad Técnica de Ambato.
- Clavijo A., 2008. Estudio del efecto del uso de jugo de dos genotipos de caña de azúcar previamente descortezada y de la temperatura de la fuente de calentamiento sobre el proceso en la elaboración de panela granulada. Tesis, Ing. Agroindustrial. Quito – Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.
- Cole, D.F, y Bugbee, W.M., 1976. Changes in resident bacteria, pH, sucrose, and invert sugar levels in sugarbeet roots during storage. Applied and environment microbiology. American Society for Microbiology, 31(5):754-757, USA.
- Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2005. Monografía del Piloncillo. Gobierno del estado de Veracruz. Disponible en:<http://www.google.com.ec/search?hl=es&q=usos%2Bpanela+o+piloncillo&meta>. Consultado, 14 Ene. 2009
- CORANTIOQUIA (Corporación autónoma regional del centro de Antioquia), 2008. Criterios básicos para la elaboración de panela de buena calidad. (en línea). Disponible en: http://www.corantioquia.gov.co/site/index.php?option=com_wrapper&itemid=195. Consultado, Jun. 2008.
- Curiel, J., 2005. La actividad acuosa y los efectos del agua de confitería. (en línea).. Disponible en: <http://www.alfaeditores.com/alimentaria/Julio%20-%20La%20Actividad%20Acuosa.htm>. Consultado, 20 Abr. 2008
- Department of the Army. 1971. Storage and Materials Handling. Technical Manual TM 743-200
- Diccionario de la lengua española, 2005. WordReference.com Espasa-Calpe S.A., Madrid. Disponible en:<http://www.wordreference.com/definicion/compactar>. Consultado, 25 Feb. 2009.

- Domínguez A. 2008. Evaluación del efecto de tres condiciones de almacenamiento sobre la estabilidad y tiempo de vida anaquel de panela granulada producida por las unidades artesanales en Ingapi y Pacto. Tesis, Ing. Agroindustrial. Quito – Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.
- El Liceo Digital, 2009. Filosofía. El Liceo Virtual Disponible en: <http://www.liceodigital.com/filosofia/logica.htm#concepto>. Consultado, 11 de Feb. 2009
- Espinal C., Martínez H., Ortiz L. Acevedo X., 2005. Cadena Agroindustrial De La Panela En Colombia - Una Mirada Global De Su Estructura Y Dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca. Observatorio Agrocadenas Colombia. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2005112163343_caracterizacion_panela.pdf. Consultado, 10 Feb. 2009
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 2006. Panela granulada. (en línea). Disponible en: <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/AE20s/Procesados/PDV2.htm>. Consultado, 21 Sep. 2008
- Fundación Eroski, 2005. La panela, el azúcar más puro. Disponible en http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/aprender_a_comer_bien/curiosidades/2005/01/11/115024.php. Consultado, 25 Feb. 2009.
- Fundación Brethren y Unida, 2009. Programa voluntario. Disponible en: http://www.fbu.com.ec/spanish/productos_agricolas_campesinos.htm. Consultado, 15 Nov. 2009.
- González, M. y Mancill, J., 1962. Álgebra elemental moderna. Volumen II. Buenos Aires - Argentina, Editorial Kapelusz S. A. Pp: 399-435.
- Grupo de Comunicación La Cerca, 2009. Comercio justo vía países en desarrollo. Disponible en: <http://www.lacerca.com/noticias/reportajes.html> Consultado, 15 Nov. 2009.
- Heldman D. y Singh R., 1981. “Food Process Engineering”. Segunda edición. Westport, Connecticut, AVI Pub. Co. Inc. Pp: 65 – 69.
- Hough G., Garitta L., Gómez G., Langohr K., y Serrat C., 2003. Survival analysis applied to sensory shelf life of foods. Journal of Food Science. Vol. 68 (2003); p. 359–362.
- Ibarz A., Barbosa G., Garza S. y Gimeno U., 2000. Métodos experimentales en la Ingeniería de Alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza – España. Pp: 225 a 232.
- ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas técnicas y Certificación), 2006. Anteproyecto de norma técnica colombiana NTC 1311-3. (en línea). Disponible en: <http://www.icontec.org>. Consultado, 23 May. 2008

- Iesmat S.A. Copyright, 2007. (ISO13320-1 de 1999). All Rights Reserved. Iesmat, S.A. Disponible en: <http://www2.iesmat.com/Tecnologias-Granulometria.htm>. Consultado, 25 Feb. 2009.
- Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia, 1994. Durabilidad de los alimentos. Métodos de estimación. Ciudad de la Habana – Cuba.
- Instituto de Investigaciones Tecnológicas de Colombia. 1964. La industria Panelera en Colombia: Estudio sobre su mejoramiento”. Bogotá – Colombia.
- INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), 2002. Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2332:2002 Panela Granulada. Requisitos. Primera edición. Fecha de publicación: 2002 – 04 – 15. Fecha de aprobación: 2001 – 12 – 20. Acuerdo ministerial: #02093. Fecha acuerdo ministerial: 2002-03-18. Quito – Ecuador. Pp: 1–3.
- Inversancarlos S. A., 2009. Disponible en: <http://www.sancarlos.com.ec/inversancarlos.php>. Consultado, 15 Nov. 2009.
- James, M., 1973. Microbiología de los Alimentos. Editorial Acribia – Zaragoza.
- Kirk, R., Sawyer, R., y Egan, H., 1999. Composición y Análisis de alimentos de Person. Novena edición. D.F. – México. Editorial Compañía editorial Continental S.A. Pp: 10 -14.
- Kremer A., 1997. El Positivismo. (en línea). Editorial Cruz O., S.A. D.F. – México. Disponible en: http://books.google.com.ec/books?id=1Npj6qQyhx0C&printsec=frontcover&dq=positivismo&hl=es&ei=mIsETIPWJ4O0IQe5o8TXBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCcQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false. Consultado, 31 May. 2010.
- Labuza, T., 1982. Shelf Life Dating of Foods. Food y Nutrition Press Inc. Westport United States of America. Pp: 30, 66
- Lambe W. y Whitman R., 1997. Mecánica de suelos. Editora Limusa. Mexico. 1997. ISBN 968-18-1894-6 Massachusetts. Editora Limusa. Meico. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Granulometr%C3%ADa>. Consultado, 25 Feb. 2009.
- Listiohadi Y., Hourigan J.A., Sleigh R.W., Steele R.J. 2008. Moisture sorption, compressibility and caking of lactose polymorphs. International Journal of Pharmaceutics. (Australia), Número 359. Pp: 123 – 134.

- Man D., 2002. Shelf life. Food Industry Briefing Series. London, UK: Offices (edición), 2002. Pp: 112
- Mathlouthi, M., 2001. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. Food Control. Pp: 12 (7), 409.
- Ministerio de Comercio, 1975. Recomendaciones para tratamientos conservación y transporte por el frío de alimentos perecederos. Madrid – España. Diciembre.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca. 2002^a. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria PRONATTA CO., 2002. Capacitación en la obtención de nuevos productos derivados de la caña y el manejo adecuado de la agroindustria panelera municipio de Mocoa (en línea). Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docssi2/2006102416333_Guia%20elaboracion%20de%20panela.pdf. Consultado, 14 Ene. 2009
- Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca. 2002^b. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria PRONATTA CO., Proyecto de desarrollo tecnológico. Capacitación en la obtención de nuevos productos derivados de la caña y el manejo adecuado de la agroindustria panelera Municipio de Mocoa. Diversificación de productos derivados de la caña panelera Mocoa 2002. (en línea). Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/20061024155054_diversificacion%20de%20productos%20derivados%20cana%20panelera.pdf. Consultado, 02 Mar. 2009.
- Ministerio de la Protección Social. República de Colombia. Norma Técnica para Panela 2006. (en línea). Disponible en: <http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/home.asp>. Consultado, 02 Mar. 2009.
- Miranda, G., 2003. Influencia de la temperatura, el envase y la atmósfera en la conservación de uvas pasas y de albaricoques deshidratados. Tesis, Dra. en Ciencias Químicas. Valencia – España. Universidad de Valencia.
- Moreano, N. y Villacís C., 1998. Determinación de vida útil de Salchichas Frankfurt. Tesis, Ing. en Alimentos. Ambato – Ecuador. Universidad Técnica de Ambato.
- Mosquera, S., Carrera, J., y Villada H., 2007. Variables que afectan la calidad de la panela procesada en el departamento del Cauca. (en línea). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cauca, Popayán – Colombia. Disponible en: <http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol5/2Vol5.pdf>. Consultado, 14 Ene. 2009)

- Mugele K. y Evans H., 1951. Droplet size distributions in sprays. *Ind. Eng. Chem.*, 43:1317.
- Osorio, G., 2007. Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas – BPA – y Buenas prácticas de Manufactura – BPM – en la Producción de Caña y Panela. (en línea). Primera edición. Medellín – Colombia. Disponible en <http://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1525s/a1525s00.pdf>. Consultado, 02 Feb. 2009.
- Patiño V., 2009. “Esbozo Histórico sobre la Caña de Azúcar”. Disponible en: www.fedepanela.org.co/historia_panela. Consultado, 25 de Feb. 2009.
- Pawkit, 2001. Operator’s Manual water activity meter, version 1.3. Editorial Decagon Devices Inc. Pp: 38 – 47.
- Pesantes, E., 2002. Taller internacional: Experiencias en Agro procesamiento orgánico en la región Andina. (en línea). Disponible en: <http://www.itacab.org>. Consultado, 02 Feb. 2009.
- Poaquiza, D., 2008. Determinación de Isotermas y Calor de Sorción de Humedad de Panela Granulada Producida por las Organizaciones paneleras de Ingapi y Pacto. Tesis, Ing. Agroindustrial. Quito – Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.
- Rao, M. A. 1997. Rheology of liquid foods. A review. *J. Texture Studies*, 8: 135-168.
- Restrepo C., 2007. Historia de la panela colombiana, su elaboración y propiedades. Disponible en: <http://www.historiacocina.com/paises/articulos/colombia/panela.htm>. Consultado 25 Feb. 2009.
- Reynel, H. y Van, C., 2003. Elaboración manual de panela granulada. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca. Corporación Colombiana de Investigación agropecuaria. Colombia. Disponible en: <http://www.corpoica.org.co/Archivos/Publicaciones/panelagarnulada.pdf>. Consultado, 14 Ene. 2009
- Roberson, G.L., 1993. *Food Packagin, Principles and Practice*. Marcel Dekker. New York. Pp: 550-587.
- Rodríguez G., Hugo Garcia H., Roa Z. y Santacoloma P., 2004. Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina. Servicio de Gestión, Comercialización y Finanzas Agrícolas (AGSF) - Dirección de Sistemas de Apoyo a la Agricultura - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/AG/ags/subjects/en/agribusiness/Panela.pdf>. Consultado, 25 Feb. 2009.

- Rodríguez G., Gottret M., 2009. Correspondencia entre el desarrollo de tecnología para la Agroindustria de la panela con el alivio de la pobreza y la Protección del ambiente y los recursos naturales: el caso de la hoyo del río Suárez (Colombia). Proyecto de Desarrollo de Agroempresas Rurales. CIAT. Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/paper_pobreza/073.pdf. Consultado, 10 Feb. 2009
- Rosales F., 2002. Método para medir sólidos solubles (°Brix) en frutos de Musa. (en línea). Consultado, 21 Jun. 2008. Editorial Pocasangre L.E. INIBAP. Disponible en http://musalit.inibap.org/pdf/IN020381_es.pdf
- Saltos A., 1993. Diseño experimental. Ambato – Ecuador. Pp: 43 - 49
- Sandoval, G., 2004^a. Producción mecánica de panela granulada. (en línea). Consultado, 29 Sep. 2008. Disponible en: <http://fcial.uta.edu.ec/archivos/ProduMecanicaPanelaG.pgf>
- Sandoval, G., 2004^b. Manejo de jugos, limpieza, clarificación, evaporación y concentración. CORPOICA-CIMPA II Encuentro Internacional Sobre la Agroindustria Panelera. Puyo – Ecuador.
- 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. Revista número 79. Páginas 317 – 322.
- SICA, 2007. Censo agropecuario. (en línea). Consultado, 02 Feb. 2009. Disponible en <http://www.sica.gov.ec/censo/docs/nacionales/tabla14.htm>
- SINTESIS, 2002. Componentes de los alimentos y procesos. Madrid – España. Editorial SINTESIS S.A. Volumen I. Pp: 78-91.
- Solís H. Conformación De Asociaciones De Productores, De Forma Participativa, Caso Productores De Panela En Guayabal, Chiriquí, Panamá. Observatorio de la Economía Latinoamericana, N° 106, diciembre 2008. Revista académica de economía con el Número Internacional Normalizado de Publicaciones Seriadas ISSN 1696-8352. Disponible en: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/pa/2008/hs.htm>. Consultado, 10 Feb. 2009
- Spiegel, A., 1989. Shelf life testing. Pp: 358-396.
- Spencer M., 1967. Manual del Azúcar de Caña. Barcelona – España. Editorial Montaner y Simon S.A. pp: 29,
- Terranova, 1995. Ingeniería y Agroindustria. Enciclopedia Agropecuaria. Editorial Terranova. Bogotá – Colombia. Volumen cinco. Pp: 238 – 244
- Universidad Católica del Norte, 2009. Departamento De Construcción Civil Laboratorios Docentes Del Área Materiales. Disponible en:

<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/generalM6.htm>.
Consultado, 25 Feb. 2009.

- Vaclavik, V., 2002. Fundamentos de la Ciencia de los Alimentos. Zaragoza – España. Editorial ACRIBIA. Pp: 31-42 y 293-309
- Valencia F., Millán L. y Jaramillo Y., 2008. Estimación de la vida útil fisicoquímica, sensorial e instrumental de queso crema bajo en calorías. INNOVA, Grupo de Investigación GRIAL. Investigación financiada con apoyo del Fondo de Fomento a la investigación de la Corporación Universitaria Lasallista. Revista Lasallista De Investigación - Vol. 5 No. 1. Disponible en: francia.valencia@gmail.com. Consultado, 25 Feb. 2009.
- Villacís M., 2005. Adición de panela granulada en la elaboración de bocaditos de manzana (*Emilia*). Tesis, Ing. en Alimentos. Ambato – Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. Pp: 10
- Yasuji A., 2004. Introducción a la microscopía electrónica Principios y Aplicaciones. Instituto Nacional de Higiene y Medicina tropical “Leopoldo Izquieta Perez”. Guayaquil – Ecuador. Pp: 52 a 55