



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO Y DESINTEGRACIÓN
DE CONGLOMERADOS EN LA OBTENCIÓN DE AZÚCAR NATURAL,
EN LA AGROINDUSTRIA PANELERA GARDENIA DEL
CANTÓN ATUNTAQUI”**

**Tesis previa a la obtención del Título de:
Ingeniero Agroindustrial**

**AUTORES: Darwin Miguel Colcha Conlago
Roberto Fernando Ponce Martínez**

DIRECTOR: Ing. Milton Núñez

Ibarra – Ecuador

2013

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO Y DESINTEGRACIÓN
DE CONGLOMERADOS EN LA OBTENCIÓN DE AZÚCAR NATURAL,
EN LA AGROINDUSTRIA PANELERA GARDENIA DEL
CANTÓN ATUNTAQUI”**

Tesis revisada por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como
requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA:

Ing. Milton Núñez
Director

Ing. Jimmy Cuarán
Asesor

Ing. Jorge Granja
Asesor

Ing. Franklin Hernández
Asesor

Ibarra – Ecuador

2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO 1			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172197175-0		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Colcha Conlago Darwin Miguel		
DIRECCIÓN	Cayambe - Ayora		
EMAIL:	dcolcha@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0995793470

DATOS DE CONTACTO 2			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100249753-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ponce Martínez Roberto Fernando		
DIRECCIÓN	Atuntaqui		
EMAIL:	robert-pon@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2908942	TELÉFONO MÓVIL:	0988937442

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Optimización del proceso de secado y desintegración de conglomerados en la obtención de azúcar natural, en la Agroindustria Panelera Gardenia del Cantón Atuntaqui”
AUTORES:	Colcha Conlago Darwin Miguel Ponce Martínez Roberto Fernando
FECHA:	12 de Septiembre del 2013
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería Agroindustrial
DIRECTOR:	Ing. Milton Núñez

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Nosotros, COLCHA CONLAGO DARWIN MIGUEL, con cédula de identidad Nro. 172197175-0 y PONCE MARTÍNEZ ROBERTO FERNANDO con cédula de identidad Nro. 100249753-3; en calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hacemos entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizamos a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días del mes de Septiembre de 2013

LOS AUTORES:

Darwin Colcha
172197175-0

Roberto Ponce
100249753-3

Ing. Betty Chávez
JEFE DE BIBLIOTECA



**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

COLCHA CONLAGO, DARWIN MIGUEL y PONCE MARTÍNEZ, ROBERTO
FERNANDO, QUITANDO EL DERECHO DE DECISIÓN Y REPRESENTACIÓN DE

Nosotros, COLCHA CONLAGO DARWIN MIGUEL, con cédula de identidad Nro. 172197175-0 y PONCE MARTÍNEZ ROBERTO FERNANDO con cédula de identidad Nro. 100249753-3; manifestamos la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autores de la obra o trabajo de grado denominada "OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO Y DESINTEGRACIÓN DE CONGLOMERADOS EN LA OBTENCIÓN DE AZÚCAR NATURAL, EN LA AGROINDUSTRIA PANELERA GARDENIA DEL CANTÓN ATUNTAQUI", que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte

Darwin Colcha
172197175-0

Roberto Ponce
100249753-3

Ibarra, a los 27 días del mes de septiembre de 2013

Aux:

Roberto Ponce

Autor

Registro Bibliográfico

COLCHA CONLAGO, DARWIN MIGUEL y PONCE MARTÍNEZ, ROBERTO FERNANDO. Optimización del proceso de secado y desintegración de conglomerados en la obtención de azúcar natural, en la Agroindustria Panelera Gardenia del Cantón Atuntaqui / TRABAJO DE GRADO. Ingeniero Agroindustrial Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agroindustrial Ibarra. ECUADOR. Septiembre 2013. 175 p.

DIRECTOR: *Ing. Núñez Zamora, Milton A.*

El propósito de la investigación fue determinar parámetros óptimos de temperatura (factor A), espesor de la camada (factor B) y humedad final de los conglomerados (factor C) en el proceso de secado a fin de reducir la formación de conglomerados, facilitar su desintegración, incrementar los rendimientos y establecer sensorialmente el tipo de azúcar natural más aceptable para consumo humano, contribuyendo de esta manera al mejoramiento de la calidad del producto y su posicionamiento empresarial dentro de la región norte del país.

12 de Septiembre de 2013

Ing. Milton Núñez

.....

Director

Darwin Colcha

.....

Autor

Roberto Ponce

.....

Autor



Los comentarios, ideas, conceptos, cuadros, figuras, resultados y más información que se encuentran en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Darwin Miguel Colcha Conlago

Roberto Fernando Ponce Martínez

AGRADECIMIENTO:

A la Universidad Técnica del Norte, pilar fundamental del desarrollo intelectual, moral y ético donde nos vio formar como hombres de bien, así como a todos los señores catedráticos que forman y preparan jóvenes profesionales para integrarles a la sociedad.

De manera muy especial al Ingeniero Milton Núñez, Director de la Tesis quien compartió y brindó sus conocimientos para culminar exitosamente esta investigación.

A la Agroindustria Panelera Gardenia de Atuntaqui por brindarnos la oportunidad de llevar a cabo esta investigación en sus instalaciones, así como también al Ingeniero Washintong Sarzosa por compartir sus valiosos conocimientos que guiaron este proyecto.

A todos nuestros catedráticos, familiares, amigos y demás personas que de una u otra manera brindaron su apoyo para la finalización de esta investigación.

Darwin y Roberto

DEDICATORIA:

*A mi madre quien estuvo en todo momento apoyándome y a mi hijo quien fue la inspiración
para culminar este trabajo de investigación*

DARWIN

*A mi familia y a todos aquellos que hicieron posible la realización de este trabajo
investigativo.*

ROBERTO

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
RESUMEN.....	1
SUMMARY	3

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 EL PROBLEMA	5
1.2 JUSTIFICACIÓN	7
1.3 OBJETIVOS	9
1.3.1. General	9
1.3.2 Específicos	9
1.4 HIPÓTESIS.....	10
1.4.1 Hipótesis Alternativa.....	10
1.4.2 Hipótesis nula.....	10

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 AGROINDUSTRIA PANELERA	11
2.1.1 Definición.....	11
2.1.2 Productos obtenidos en la agroindustria panelera.....	11
2.1.2.1 Panela	12
2.1.2.2 Miel hidrolizada	12
2.1.2.3 Azúcar natural	12
2.1.2.4 Importancia del azúcar natural	13
2.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE AZÚCAR NATURAL	14
Corte de la caña.....	16
Transporte de la caña	16
Molienda	16
Limpieza.....	16
Clarificación.....	16

Descachazada 1 y Descachazada 2	17
Concentración	17
Batido...	18
Cristalización.....	18
Tamizado.....	18
Envasado y almacenamiento	19
2.3 CONGLOMERADOS DE AZÚCAR NATURAL.....	19
2.3.1 Definición.....	19
2.3.2 Características	19
2.3.3 Usos.....	20
2.4 REQUISITOS PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE AZÚCAR.....	20
NATURAL.....	20
2.4.1 Requisitos en el mercado local.....	20
2.5 SECADO.....	21
2.5.1 Definición.....	21
2.5.2 Humedad	22
2.5.2.1 Introducción	22
2.5.3 Contenido de humedad de un producto.....	23
2.5.3.1 Humedad de azúcar natural	23
2.5.3.2 Humedad de equilibrio.....	23
2.5.3.3 Humedad relativa	24
2.5.4 Actividad de agua.....	25
2.5.4.1 Concepto	25
2.5.4.2 Influencia de la actividad de agua en el deterioro de alimentos	25
2.5.5 Teoría del secado.....	26
2.5.5.1 Estática del secado	27
2.5.5.2 Cinética del secado.....	29
2.5.5.3 Períodos de secado	30
2.5.5.4 Proceso de secado	33
2.5.6 Selección de la temperatura de secado.....	35
2.5.6.1 Características del material a secar	35

2.5.6.2	Condiciones óptimas de secado	36
2.5.6.3	Factores que intervienen en el secado	37
2.5.7	Aparatos de secado.....	37
2.5.7.1	Secadores de Bandejas	38
2.5.8	Secado de sólidos	38
2.5.8.1	Secado del azúcar natural.....	39
2.5.8.2	Precauciones y recomendaciones para el secado de azúcar natural	39
2.5.8.3	Efectos del calor sobre los azúcares.....	40
2.5.8.4	Desnaturalización de las proteínas en los azúcares	41
2.6	MOLIENDA	41
2.6.1	Definición.....	41
2.6.2	Molienda de conglomerados de azúcar natural	43
2.6.3	Importancia de la humedad en la molienda.....	43
2.6.4	Requerimientos de potencia	43
2.6.5	Molinos	44
2.6.5.1	Definición.....	44
2.6.5.2	Modelos de molinos	44
2.6.5.3	Molino de bolas.....	44
2.6.5.4	Molino de barras	44
2.6.5.5	Molinos de chorro	44
2.6.5.6	Molino de martillos	44
2.6.5.7	Molino de discos	45
2.6.5.8	Molino desintegrador	45
2.7	TAMIZADO	46
2.7.1	Definición.....	46
2.7.2	Tamizado de azúcar natural	46
2.7.3	Granulometría	47
2.7.3.1	Definición.....	47

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	MATERIALES	48
3.1.1	Materia prima e insumos.....	48
3.1.2	Materiales y equipos de laboratorio	48
3.1	MÉTODOS	48
3.2.1	Ubicación	48
3.2.1.1	Características climáticas	49
3.3	Factores en estudio.....	49
3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	50
3.4.1	Diseño experimental.....	50
3.4.2	Tratamientos.....	51
3.4.3	Características del experimento	52
3.4.4	Análisis de varianza	52
3.4.5	Análisis funcional.....	52
3.4.6	Unidad experimental	53
3.4.7	VARIABLES EVALUADAS.....	53
3.4.7.1	VARIABLES CUANTITATIVAS EN EL PROCESO DE SECADO	53
3.4.7.2	VARIABLES CUANTITATIVAS EN EL PROCESO DE MOLIENDA	53
3.4.7.3	VARIABLES CUALITATIVAS (ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO).....	53
3.4.7.4	Pruebas adicionales	54
3.5	MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO	54
3.5.1	Descripción del proceso	54
3.5.1.1	Tamizado 1.....	54
3.5.1.2	Recepción y pesado.....	55
3.5.1.3	Secado	55
3.5.1.4	Molienda	56
3.5.1.5	Tamizado 2.....	56
3.5.1.6	Envasado	57

3.6	DIAGRAMA DE FLUJO EN LA OBTENCIÓN DE AZÚCAR NATURAL MEDIANTE EL PROCESO DE SECADO Y DESINTEGRACIÓN DE CONGLOMERADOS	58
-----	---	----

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1	VARIABLES CUANTITATIVAS EN EL PROCESO DE SECADO.....	59
4.1.1	Análisis de la variable evaporación de agua en el proceso de secado	59
4.1.2	Análisis de la variable tiempo de secado	72
4.1.3	Curvas de humedad vs tiempo y velocidad de secado vs humedad, para los conglomerados de azúcar natural.....	85
4.2	VARIABLES CUANTITATIVAS EN EL PROCESO DE MOLIENDA	88
4.2.1	Análisis de la variable retención de masa en el proceso de molienda	88
4.2.2	Análisis de la variable tiempo de molienda	99
4.2.3	Análisis de la variable rendimiento en el secado y molienda	110
4.3	Características organolépticas.....	114
4.3.1	Análisis proximal	114
4.3.2	Pruebas no paramétricas.....	117

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES	120
5.2	RECOMENDACIONES	122
	BIBLIOGRAFÍA	123
	ANEXOS	126

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1: Contenido nutricional y algunas características físico químicas de la panela y el azúcar natural	13
Cuadro 2: Requisitos mínimos de azúcar natural	20
Cuadro 3: Velocidades de evaporación de agua sobre varios materiales en condiciones medias	34
Cuadro 4: Tamaños estándares de apertura de tamices serie fina	46
Cuadro 5: Ubicación geográfica	49
Cuadro 6: Condiciones ambientales	49
Cuadro 7: Tratamientos	51
Cuadro 8: Esquema del ADEVA.....	52
Cuadro 9: Evaporación de agua en el proceso de secado expresado en gramos	60
Cuadro 10: ADEVA de la variable evaporación de agua en el proceso de secado	61
Cuadro 11: Prueba TUKEY al 5% para tratamientos de la variable evaporación de agua en el proceso de secado expresado en gramos	63
Cuadro 12: Prueba de significación DMS para el factor T (temperatura del aire de secado).....	65
Cuadro 13: Prueba de significación DMS para el factor E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas)....	66
Cuadro 14: Prueba de significación DMS para el factor H (humedad final del conglomerado de azúcar natural)	67
Cuadro 15: Tiempo de secado expresado en horas	73
Cuadro 16: ADEVA de la variable tiempo de secado	74
Cuadro 17: Prueba TUKEY al 5 % para tratamientos de la variable tiempo de secado expresado en horas	75
Cuadro 18: Prueba de significación DMS para el factor T (temperatura	

del aire de secado).....	78
Cuadro 19: Prueba de significación DMS para el factor E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas)....	79
Cuadro 20: Prueba de significación DMS para el factor H (humedad final del conglomerado de azúcar natural).....	80
Cuadro 21: Tiempo, Humedad y velocidad de secado de los conglomerados de azúcar natural para la unidad experimental de 1 cm de espesor	86
Cuadro 22: Retención de masa en el proceso de molienda expresado en gramos	89
Cuadro 23: ADEVA de la variable retención de masa en el proceso de molienda	90
Cuadro 24: Prueba TUKEY al 5 % para tratamientos de la variable retención de masa en el proceso de molienda expresado en gramos	91
Cuadro 25: Prueba de significación DMS para el factor T (temperatura del aire de secado).....	92
Cuadro 26: Prueba de significación DMS para el factor E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas)....	93
Cuadro 27: Prueba de significación DMS para el factor H (humedad final del conglomerado de azúcar natural para molienda).....	94
Cuadro 28: Tiempo de molienda expresado en minutos	100
Cuadro 29: ADEVA de la variable tiempo de molienda.....	101
Cuadro 30: Prueba TUKEY al 5 % para tratamientos de la variable tiempo de molienda expresado en minutos	102
Cuadro 31: Prueba de significación DMS para el factor T (temperatura del aire de secado).....	104
Cuadro 32: Prueba de significación DMS para el factor E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas)..	105
Cuadro 33: Prueba de significación DMS para el factor H (humedad final del conglomerado de azúcar natural)	105
Cuadro 34: Rendimientos en el proceso de secado para 1, 2 y 3 cm de espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural.....	112

Cuadro 35: Valores promedios para el rendimiento por cada tipo de azúcar natural	113
Cuadro 36: Análisis proximal de sólidos sedimentables a los tres mejores tratamientos	115
Cuadro 37: Análisis proximal de mohos y levaduras a los tres mejores tratamientos	115
Cuadro 38: Análisis de proteína a los 16, 40 y 60 °C en el azúcar natural	116
Cuadro 39: Mejores tratamientos en la prueba de Friedman.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1: Diagrama de proceso para la producción de azúcar natural.....	15
Figura 2: Curva de equilibrio de humedad en el diagrama de fases	28
Figura 3: Curva de secado típica.....	30
Figura 4: Curva de secado en condiciones constantes	31
Figura 5: Curva de velocidad de secado en condiciones constantes.....	32
Figura 6: Molino desintegrador tipo ciclón	45
Figura 7: Nave industrial proceso físico	54
Figura 8: Secador de bandejas:	54
Figura 9: Tamizado de azúcar natural.....	55
Figura 10: Humedímetro.....	56
Figura 11: Molienda de conglomerados de azúcar natural	56
Figura 12: Tamizado de azúcar natural molida	57
Figura 13: Envasado de azúcar natural	57
Figura 14: Interacción de los factores: T (temperatura del aire secado) y E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) para la variable evaporación de agua en el proceso de secado.....	68
Figura 15: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable evaporación de agua en el proceso de secado	69
Figura 16: Interacción de los factores: E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) y H (humedad final del conglomerado del azúcar natural para la variable evaporación de agua en el proceso de secado	70
Figura 17: Representación gráfica de la evaporación de agua en el proceso de secado.....	71
Figura 18: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar	

natural en las bandejas) para la variable tiempo de secado.....	81
Figura 19: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable tiempo de secado	82
Figura 20: Interacción de los factores: E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable tiempo de secado	83
Figura 21: Representación gráfica del tiempo de secado	84
Figura 22: Curva de secado: Humedad de conglomerados de azúcar natural vs tiempo a 60 °C	87
Figura 23: Curva de velocidad de secado de conglomerados de azúcar natural	87
Figura 24: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) para la variable retención de masa en el proceso de molienda.....	95
Figura 25: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable retención de masa en el proceso de molienda	96
Figura 26: Interacción de los factores: E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable retención de masa en la molienda	97
Figura 27: Representación gráfica de la retención de masa durante la molienda de conglomerados de azúcar natural	98
Figura 28: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) para la variable tiempo de molienda.....	106
Figura 29: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable tiempo de molienda	107

Figura 30: Interacción de los factores: E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable tiempo de molienda	108
Figura 31: Representación gráfica del tiempo de destrucción de los conglomerado de azúcar natural para los diferentes tratamientos....	109

ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido	Página
ANEXO 1: Análisis de proteína	126
ANEXO 2: Análisis de sólidos sedimentables, mohos y levaduras	127
ANEXO 3: Aumento de temperatura durante el proceso de molienda de conglomerados de azúcar natural, a partir de una temperatura inicial promedio para todos los tratamientos	128
ANEXO 4: Norma INEN para panela granulada; requisitos.....	129
ANEXO 5: Test de degustación	136
ANEXO 6: Cuadros de valoración y ranqueo de Color	140
ANEXO 7: Cuadros de valoración y ranqueo de Aroma	142
ANEXO 8: Cuadros de valoración y ranqueo de Sabor	144
ANEXO 9: Cuadros de valoración y ranqueo de Granulometría	146
ANEXO 10: Color del azúcar natural según el panel de degustadores.....	148
ANEXO 11: Aroma del azúcar natural según el panel de degustadores	148
ANEXO 12: Sabor del azúcar natural según el panel de degustadores.....	149
ANEXO 13: Granulometría del azúcar natural según el panel de degustadores	149
ANEXO 14: Fotografías de las degustaciones	150
ANEXO 15: Registro de producción mes de Septiembre 2012 de panela granulada “Gardenia”	151
ANEXO 16: Escala de colores para azúcar natural.....	153

RESUMEN

La Empresa Panelera Gardenia, se encuentra ubicada en el cantón Antonio Ante de la provincia de Imbabura, dedicada a la industrialización de la caña de azúcar en una infraestructura conformada por dos naves que cubren un área de 1100 m² para la obtención de 900 kilogramos diarios de azúcar natural, la que es comercializada en los mercados de la localidad, desde el año 2003. La falta de conocimiento en el control de los procesos de elaboración del azúcar natural como el secado y trituración de conglomerados, hace que su producción, calidad y productividad diaria, a más de la polución generada, se vea mermada su capacidad, su competitividad y su volumen de ventas, afectando directamente a su economía. El propósito de la investigación fue determinar parámetros óptimos de temperatura (factor A), espesor de la camada (factor B) y humedad final de los conglomerados (factor C) en el proceso de secado a fin de reducir la formación de conglomerados, facilitar su desintegración, incrementar los rendimientos y establecer sensorialmente el tipo de azúcar natural más aceptable para consumo humano, contribuyendo de esta manera al mejoramiento de la calidad del producto y su posicionamiento empresarial dentro de la región norte del país. Para el estudio se utilizó el diseño experimental de bloques completamente al azar con arreglo factorial AxBxC con tres repeticiones, dando un total de 27 tratamientos; la investigación se realizó en las instalaciones de la misma empresa, teniendo su punto de partida en la obtención de conglomerados con tamaños superiores a 2 mm en el tamizado 1 provenientes del proceso de batido, seguido del secado, molienda, tamizado 2 y envasado del azúcar tipos: A, B y C. Las variables a evaluar fueron: evaporación de agua, tiempo, velocidad y rendimiento en el proceso de secado; en cambio, en el proceso de molienda se consideraron: retención de masa, tiempo y rendimiento. Los resultados de la investigación fueron evidentes en sostener que las temperaturas del aire de secado deben oscilar entre 58 a 60°C, el espesor de camada en valores de 2 a 2,5 cm y la humedad final en el secado de 1 a 1,5%; con estos valores, los rendimientos en los procesos de secado y molienda llegaron al 97,6% y 99,5%, respectivamente. Es pertinente

indicar que los conglomerados no deben superar la temperatura de 60°C para evitar la reacción de los carbohidratos a la acción del calor, sobretodo conservando sus características organolépticas y nutricionales, manteniendo la concordancia con el espesor de camada y su humedad final que no sea mayor a la de equilibrio para evitar la polución en dicha área. Finalmente, a los 6 mejores tratamientos se los validó con análisis microbiológicos para su degustación organoléptica, determinándose que los atributos aroma y sabor tuvieron la misma aceptabilidad; pero referente al color se determinó que el azúcar natural, se encuentra dentro de la escala colorimétrica RGB en valores de: 227-108-10; 209-99-9; 196-93-8, mientras que la granulometría con mayor preferencia fue por el rango de diámetro 1,168-1,651 mm, que corresponde al azúcar tipo B.

SUMMARY

The Gardenia brown sugar loaf Factory is located in the Antonio Ante Town, in the Northern Imbabura Province of Ecuador. This company works on the sugar cane industrialization, composed of an infrastructure that encompasses two main production plants that cover a 1,100 m² area. This production plant produces 900 kilograms of natural sugar a day, which is commercialized among local businesses since 2003. The lack of knowledge pertains to the control of natural sugar production systems, including and not limited to the drying procedure and conglomerate shredding, decreases its production capability, competitiveness, and overall turn over. This forms an increasing problem that affects the environment by generating industrial pollution and affects the regional economy. The purpose of this investigation was to determine optimum temperature parameters (the A factor) thickness of the produced batch (the B factor) and the formation of a conglomerate final humidity process (the C factor). This change will produce reduced conglomerates while facilitating its disintegration process. As a result there will be higher performance yields and the type of natural sugar to be produced will be more acceptable for human consuming; thus contributing to product quality improvement and to the company's brand positioning on the northern region of the country. In order to conduct this study, the experimental design was used completely at random, with a setting factor AxBxC, composed of 3 repetitions, resulting in a total of 27 treatments. The investigation took place on the grounds of this production plant. At the starting point, conglomerates were obtained in a bigger than 2 mm sieving, part of it from the beating or blending process, followed by drying, grinding and sieving. To finalize the production line, the conglomerates are packed in 3 categories A, B and C. The variables that were evaluated were: water evaporation processing, time, speed and efficiency during the drying stage. However, during the grinding process the considered agents were mass retention, time and output. The accomplishment of this study was evident to support that the air temperatures used in the drying process should fluctuate between 58 and 60 degrees Celsius and the mass thickness should range from 2 to 2,5 cm. Additionally, the final drying humidity is to be set at 1 to 1,5%.

Considering these values, production of the drying method and grinding, yielded to 97,6% to 99,5% respectively. It is important to point out that conglomerates must not get over a temperature of 60 degrees Celsius to avoid a carbohydrate reaction to heat, especially to help preserve the conglomerate's organoleptic and nutritional characteristics. If mass thickness and its final temperature are not higher than the balance, pollution in the area would be avoided. To conclude, it is important to tell that the 6 best treatments were validated through microbiological analyses that were tested for its organoleptic composition. It was also established that aroma and flavor attributes had the same acceptability; however, in reference to its color, it was determined that natural brown sugar is situated within a color-matching scale RGB in the following values: 227-108-10; 209-99-9; 196-93-8 while grading was preferred by a diameter range of 1,168-1,651 mm, which agrees to the type B sugar.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 EL PROBLEMA

La provincia de Imbabura se caracteriza por condiciones climáticas favorables para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*); sin embargo la mala calidad de los productos derivados de la agroindustria panelera (panela y azúcar natural), se debe a las técnicas y procesos de elaboración rudimentarios de manera artesanal. La no aplicación de control de procesos en la elaboración de productos derivados de la caña, especialmente en el secado del azúcar natural, envasado y almacenamiento afectan la calidad del producto, dentro de la cadena productiva de azúcar natural, en la mayoría de las agroindustrias paneleras ubicadas en la provincia.

En la Agroindustria Panelera Gardenia ubicada en el Cantón Atuntaqui de la provincia de Imbabura, existe el problema de formación de conglomerados en el azúcar natural, debido al tiempo y ritmo de batido los cuales presentan un tamaño mayor a 2 mm, con un contenido entre un 30 y 40 % del producto, condición que genera bajos rendimientos y pérdidas en general.

El producto formado por conglomerados (terrones de azúcar) se comercializa a bajo costo para ser utilizado en alimentación animal, y también es disuelto para reprocesar y obtener azúcar o panela, afectando las características organolépticas del producto final, especialmente al color.

De continuar con este problema “El desconocimiento en el manejo de parámetros temperatura del aire de secado y espesor de material en las bandejas, durante el proceso de secado así como la humedad final óptima requerida para el proceso de

molienda, de conglomerados de azúcar natural” afectará la calidad del producto final elaborado en la Agroindustria Panelera Gardenia.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La determinación de parámetros óptimos de proceso dentro de una empresa con llevan a lograr alta productividad y eficiencia; sin embargo, el desconocimiento de aspectos técnicos y tecnológicos dentro del proceso de secado, han causado falencias en la producción de este alimento debido a la formación de conglomerados. En tal sentido la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Técnica del Norte dentro de su misión plantea la investigación “Optimización del proceso de secado y desintegración de conglomerados en la obtención de azúcar natural”.

La aplicación del estudio de esta investigación en la Agroindustria Panelera Gardenia, empresa que tiene dificultades en su producción, productividad y desperdicios de recursos por las situaciones anotadas anteriormente, es pertinente realizar un plan de mejoras a fin de producir derivados de calidad que permitan competir en el mercado y posicionarse económicamente en un nivel empresarial adecuado.

Otro sector importante que se verá beneficiado al mejorar la calidad de estos derivados serán los consumidores de azúcar natural quienes contarán con un producto altamente nutritivo apto para una dieta alimentaria como lo menciona la Organización Mundial de la Salud (06 de Diciembre 2012) en su archivo de publicación AZÚCAR, “el consumo de azúcar natural mejora la salud, debido a que presenta en su composición contenidos significativos de glucosa, fructosa, proteínas, minerales (Ca, Fe, Cu y P)” OMS (2012).

Con ello la Universidad Técnica del Norte con su Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, y de manera particular la carrera de Ingeniería Agroindustrial, habrá aportado ciencia y técnica en un área muy importante donde la tecnología es fundamental; además, los resultados de esta investigación constituyen un aporte técnico y científico para futuras

investigaciones en el campo agroindustrial panelero y sobre todo a la Agroindustria Panelera Gardenia.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. General

- Optimizar el proceso de secado y desintegración de conglomerados en la obtención de azúcar natural, para mejorar el rendimiento en la Agroindustria Panelera Gardenia del Cantón Atuntaqui.

1.3.2 Específicos

- Determinar parámetros óptimos de temperatura y espesor del material durante el proceso de secado del azúcar natural, para facilitar la desintegración de conglomerados.
- Encontrar la humedad óptima del conglomerado de azúcar natural a la salida del secador.
- Establecer rendimientos del azúcar natural en el proceso de secado y en la molienda para los tres diferentes tipos de azúcar, mediante balance de materiales.
- Determinar en base al análisis sensorial y al tamaño del grano, cuál de los tres tipos de azúcar natural A, B o C es el más aceptado por el consumidor.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis Alternativa

- La temperatura del aire de secado, el espesor de la camada del material y la humedad final óptima requerida, inciden en la calidad y en el rendimiento después de la molienda del azúcar natural.

1.4.2 Hipótesis nula

- La temperatura del aire de secado, el espesor de la camada del material y la humedad final óptima requerida, no inciden en la calidad y en el rendimiento después de la molienda del azúcar natural.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 AGROINDUSTRIA PANELERA

2.1.1 Definición

La agroindustria panelera se extiende a lo largo y ancho del territorio ecuatoriano y está dirigida por cañicultores; se identifica por su producto tradicional la panela en bloque, así como también el azúcar natural, la cual se produce en forma artesanal y tiene un alto consumo en todos los estratos sociales del país. Siendo las provincias que sobresalen en esta actividad Imbabura, Bolívar, Pichincha, Pastaza, Manabí, Guayas, Napo y Morona Santiago.

Quezada, W. (2007) afirma que agroindustria panelera es “el lugar fijo e inteligente donde ocurren una serie de operaciones continuas de transformación de la caña para obtener panela y otros edulcorantes que se realizan desde actividades de cultivo, cosecha transporte, post-cosecha, procesamiento, empaque y comercialización” (p.18).

2.1.2 Productos obtenidos en la agroindustria panelera

Los productos que se pueden elaborar en una agroindustria panelera son la miel hidrolizada, la panela y la panela granulada o también conocido como azúcar natural. Sin embargo, en la mayoría de las fábricas, la producción se focaliza en la panela tanto en bloque como granulada y muy escasamente miel hidrolizada.

La agroindustria panelera en la provincia de Imbabura ha destinado sus volúmenes de producción en el siguiente orden: panela, azúcar y alcohol. Sin embargo, se están realizando estudios para obtener nuevos productos como miel hidrolizada y también dar valor agregado mediante la aromatización de los mismos.

2.1.2.1 Panela

Según Quezada, W. (2007) la panela es “un producto sólido moldeado, obtenido de la concentración de jugo de caña, nutritivo por sus azúcares y minerales, de color café claro y sabor dulce y aroma característico. La panela es un edulcorante altamente energético, compuesto en gran proporción por sacarosa y en pequeña cantidad por azúcares invertidos” (p.40).

2.1.2.2 Miel hidrolizada

Quezada, W. (2009) afirma que la miel hidrolizada es “un hidrato de carbono producto de la concentración de sustancias azucaradas de la caña, constituida casi en su totalidad por azúcares invertidos y sacarosa, es viscosa y de sabor dulce, translúcido soluble en agua y color café rojizo brillante. La calidad del producto depende de una buena clarificación expresado como turbidez en unidades NTU, concentración ($78^{\circ}\text{B}\pm 0,5$) y $\text{pH} = 4$ ” (p.23).

2.1.2.3 Azúcar natural

Quezada, W. (2007) afirma que el azúcar natural es “conocido como azúcar de panela, panela granulada o panela pulverizada, es un sólido granulado que fabricado cuidadosamente en las agroindustrias paneleras está constituido casi en su totalidad por sacarosa, de sabor dulce, soluble en agua y color amarillo pardo” (p.46).

Estudios realizados por Quezada, W. (2007) han demostrado la posibilidad de añadir aromatizantes y saborizantes a la miel hidrolizada, panela, y azúcar natural como una estrategia para dinamizar el sector panelero con productos nuevos, de calidad, bajo costo y aprovechamiento para el consumo.

Por otro lado existen diferencias notables entre la panela en bloque y el azúcar natural no solo en cuanto a su textura y presentación, sino también en cuanto a su contenido nutricional.

Cuadro 1: Contenido nutricional y algunas características físico químicas de la panela y el azúcar natural

Componente/valor	Panela	Azúcar natural
Carbohidratos, g/100g	88,3	97,0
Sacarosa, g/100g	79,4	89,5
Azúcar invertido, g/100g	8,5	7,5
N₂ total, g/100g	0,08	--
Proteína, g/100g	0,46	0,74
Grasa, g/100g	0,21	0,45
Fibra, g/100g	0,12	0,01
Ceniza, g/100g	1,29	1,8
Minerales en mg/100g		
Potasio	116,7	535,0
Calcio	172,8	170,0
Magnesio	61,7	29,0
Fósforo	60,4	133
Sodio	56,0	23
Hierro	5,3	2,5
Manganeso	1,2	--
Zinc	1,5	2,8
Flúor mg/100g	5,7	--
Cobre mg/100g	0,4	0,6
Energía en cal/100g	321,5	377,5
Humedad g/100g	7,0	1,9
pH	6,1	6

Fuente: (García, B & Zanten, C., 2007, p.58)

2.1.2.4 Importancia del azúcar natural

Quezada, W. (2007) afirma que “la importancia radica en que es un producto altamente aromático de sabor y aroma característicos. Está formado por cristales de azúcar, es higroscópico, por lo que es necesario envasarlo. Su consumo poco a poco se generaliza por la asepsia y facilidad de uso” (p.47).

2.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE AZÚCAR NATURAL

Según Romos, A.; Jiménez, A.; García, H. (2007) “el proceso de elaboración de la panela granulada requiere de las mismas operaciones de la panela en bloque, con la diferencia que la temperatura de punteo es más alta y el batido es tan intenso que las partículas se separan en pequeños gránulos, con menor contenido de humedad” (p.1).

Panela granulada es un producto obtenido por concentración de los jugos de la caña de azúcar, hasta la obtención de un jarabe espeso permitiendo a continuación que el jarabe se solidifique y se granule mediante el batido.

Según Quezada, W. (2007) el diagrama de proceso para la obtención del azúcar natural es el siguiente (p.48).

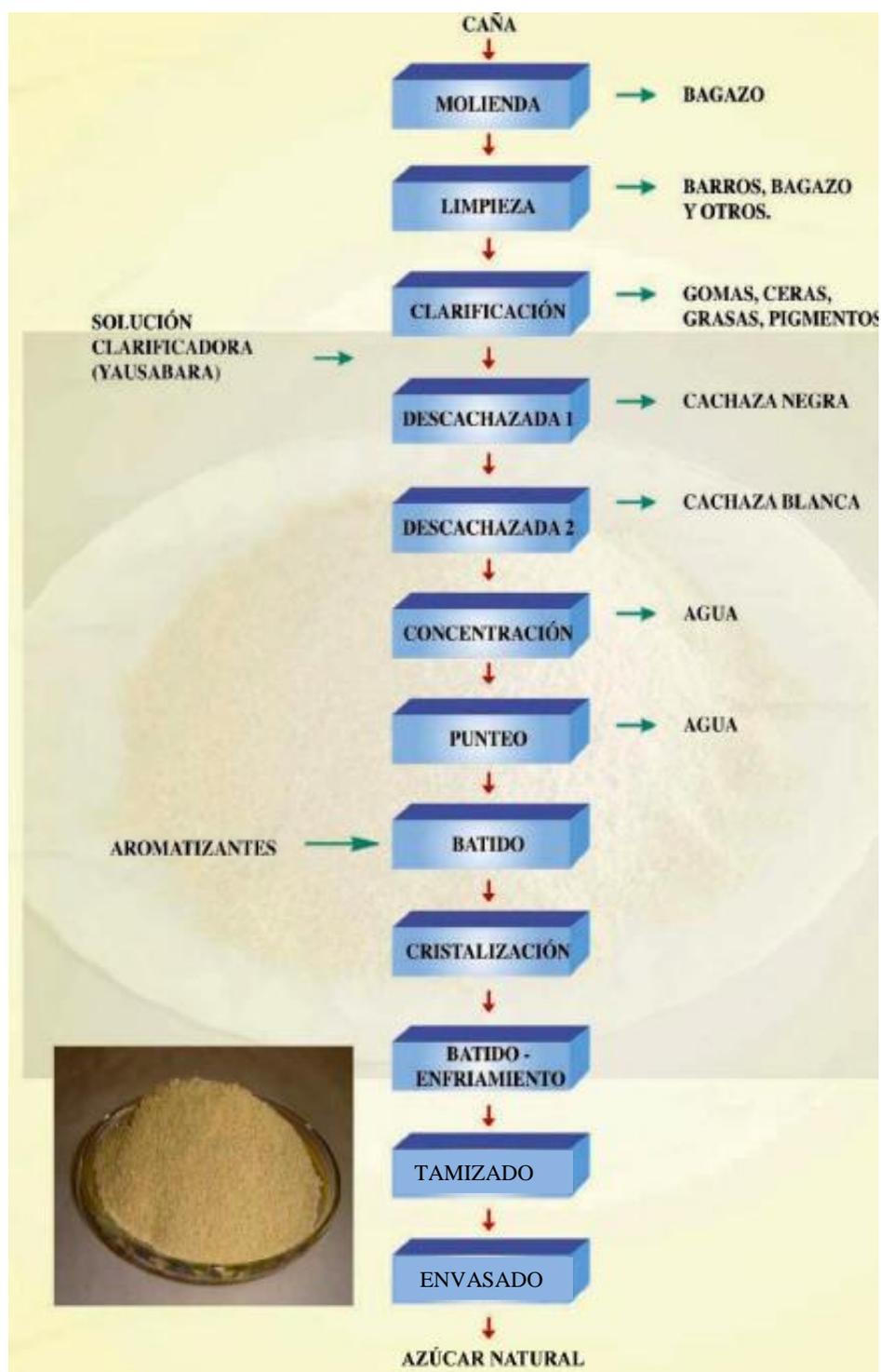


Figura 1: Diagrama de proceso para la producción de azúcar natural

Corte de la caña

Existen dos formas de determinar el corte de la caña: objetiva y subjetiva. La forma objetiva se determina a través del índice de madurez el cual indica si la caña es tierna, madura o sobre madura, se puede determinar a través del análisis de sacarosa, o índice de refracción (°Brix). Para elaborar panela lo ideal es: 22-24 °Brix. La forma subjetiva se realiza por características visibles como: color de las hojas, las variedades de tallo, tamaño, sabor, grosor, etc.

Transporte de la caña

La caña se transporta en vehículos hacia la zona de descargue, aquí se aconseja procesar máximo a las 24 horas después del corte; para de esta manera evitar la deshidratación, pérdidas de jugo que afecta el rendimiento, contaminación y fermentación.

Molienda

Es el proceso básico mediante el cual la caña es llevada a un trapiche (molino extractor de jugo) para separar el extracto líquido de la parte sólida o bagazo.

Limpieza

La limpieza de los jugos es indispensable para obtener azúcar natural libre de sólidos sedimentables e impurezas. El jugo obtenido en la extracción se somete a un proceso de limpieza física, por decantación en donde se separan las partículas pesadas (arena tierra, lodo,) y por flotación partículas livianas (insectos bagacillo, hojas, etc.).

Clarificación

Después del proceso de molienda, el jugo extraído presenta una consistencia turbia u opaca con un color verdoso como resultado de los ácidos orgánicos y componentes inorgánicos mezclados. La purificación de esta solución implica la

añadidura de mucílagos vegetales de (yausabara, cáscara de balso y el abrojo) para separar impurezas tales como: gomas, ceras, grasas, pigmentos, etc.

Descachazada 1 y Descachazada 2

Es un proceso que consiste en separar las impurezas que floculan por efecto del clarificador (solución de yausabara) y calentamiento del jugo al coagular las ceras, gomas y otros.

La solución de yausabara es colocada cuando el jugo de caña se encuentra a una temperatura de 70 °C, de esta manera los mucílagos actúan en caliente atrapando en coágulos a todos los no azúcares y por efecto de densidades los lleva a la superficie.

Antes que el jugo de caña comience a hervir (94 °C) se debe descachazar, separando la cachaza negra. Una vez efectuado este proceso la ebullición continua y se separa la cachaza de color amarilla blanquecina, con la ayuda de un colador.

Concentración

Consiste en el incremento de sólidos en el jugo para de esta manera disminuir su volumen final, a través de la evaporación del agua por efecto del calor.

Punteo

Significa establecer el punteo ideal para obtener el producto. Se lo puede realizar considerando la temperatura de ebullición del producto, este es un método preciso para establecer un producto homogéneo.

En este proceso se realiza la evaporación del agua o la concentración de los jugos a fuego directo y en paila abierta hasta alcanzar 92 °Brix, lo que corresponde aproximadamente 125-126°C, logrando un producto con humedad inferior de 5%.

Batido

Una vez que se logra el punto de azúcar, se bate para mejorar el color (blanqueo) del producto como también evitar que se quemé.

Al producirse una mayor exposición del producto al batido se aclara el azúcar; después se inicia el proceso de cristalización natural que se manifiesta por el hinchamiento del mismo.

Este proceso de batido e hinchamiento se puede repetir por una o dos veces más para conseguir mayor cantidad de cristales.

Es en esta etapa en donde se produce la formación de conglomerados (terrones de azúcar) cuyo volumen es considerable.

Cristalización

En industria azucarera o panelera, la cristalización es un proceso de formación de cristales de azúcar.

La formación de cristales de azúcar se realiza por el método natural a olla o paila abierta, a presión atmosférica. Este método se logra en una zona llamada lábil a sobresaturaciones entre 1,4 a 1,6. Es aquí donde se forman los cristales.

Tamizado

Una vez formados los cristales es conveniente enfriar a temperatura ambiente para facilitar el tamizado. Los tamices metálicos son los más convenientes para obtener un grano uniforme.

García, H.; Rodríguez, G.; Veldhuyzen, C. (2001) sostienen que “la panela es un producto con cualidades higroscópicas lo cual significa que absorbe o pierde humedad de acuerdo con las condiciones del medio ambiente. La panela

granulada tiene un contenido de humedad cerca del 2 % más baja que la de bloque que está entre 6 y 8 %” (p. 72).

Envasado

Se debe tener en cuenta que el producto antes del envase debe alcanzar la temperatura ambiente con la finalidad de no alterar las propiedades de conservación del envase.

Para un buen almacenamiento se debe tomar en cuenta aspectos tales como: baja humedad relativa de 50-60 % y ventilación adecuada en la bodega, la misma que no debe ser ocupada por otros productos especialmente si tienen olores fuertes, o si son productos químicos.

2.3 CONGLOMERADOS DE AZÚCAR NATURAL

2.3.1 Definición

Son formaciones irregulares de partículas de azúcar natural originadas durante el batido a elevadas temperaturas de concentración de la miel y que persisten en el azúcar una vez que se ha enfriado por la acumulación de humedad. La formación de conglomerados se evidencia por que el tamizado no se realiza inmediatamente.

2.3.2 Características

En una agroindustria panelera se estima que alrededor del 30 al 40 % de la producción total de azúcar natural forman conglomerados por las situaciones antes mencionadas. Los conglomerados de azúcar natural tienen una humedad próxima de 2 a 3 % la misma que se puede reducir mediante procesos de secado convectivo, y de esta manera aumentar el porcentaje de producción mediante la desintegración de los mismos.

García, B. y Zanten, C. (2007) dicen que: “hay diferencias entre el grano fino obtenido en el batido directamente y los conglomerados triturados. La última tiene

un mayor contenido de azúcares reductores y es más dulce que la primera. Por otro lado, la primera tiene una textura más suave” (p. 11).

2.3.3 Usos

Los conglomerados o terrones de azúcar natural según Quezada, W. (2007) “pueden ser aprovechados para desintegrarlos y envasarlos como azúcar natural. El uso de un molino desintegrador, ayuda a evitar los terrones (conglomerados) de azúcar en la fábrica para obtener mayor rendimiento de material por tonelada de caña” (p.85). Otros usos se consideran como materia prima para la elaboración de alimentos balanceados para animales.

2.4 REQUISITOS PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE AZÚCAR NATURAL

Para que un azúcar natural posea buenas características de calidad y aceptabilidad, debe reunir ciertos requisitos básicos tales como:

Cuadro 2: Requisitos mínimos de azúcar natural

Color según abanico colorimétrico para azúcar	Entre 5 a 7
Humedad	Máximo 2 %
Azúcares	Mínimo 95 %
Sacarosa	Mínimo 82 %
Impurezas	Máximo 0,4 %
Turbidez (% de trasmittancia a 620 nm)	Máximo 72 %
Tamaño de la partícula	Máximo 2 mm

Fuente: (Quezada, W., 2007, p.47)

2.4.1 Requisitos en el mercado local

En el Ecuador, los mercados mayoristas y cadenas de supermercados son los principales canales de distribución del azúcar natural. El requisito necesario para la comercialización de dicho producto es la obtención del registro sanitario, el mismo que se puede obtener llevando a cabo el cumplimiento de la norma técnica INEN (NTE INEN 2 332:2002) para panela granulada.

2.5 SECADO

2.5.1 Definición

El proceso de secado consiste en la remoción parcial o total de un líquido, de un material por la aplicación de calor. El secado se diferencia de la evaporación (que también puede definirse así) en los aspectos esenciales como: los aparatos, los métodos y los productos. En la evaporación, el líquido es eliminado por ebullición, mientras que en el secado, el líquido es arrastrado por el aire en forma de vapor, a una temperatura generalmente menor a la de ebullición.

Este proceso se logra por la transferencia de calor desde el aire al producto. El objetivo del proceso de secado es detener o disminuir el crecimiento de microorganismo así como las reacciones químicas (enzimáticas, reacción de Maillard). En alimentos se suele hablar de deshidratación.

Según Vollrath, H. (1984) “el proceso de secado varía según se trate de materias sólidas, líquidas o gaseosas. El secado de materias sólidas se realiza generalmente por vía térmica” (p.405).

El secado es una operación importante en muchas industrias químicas, alimentarias y de transformación. La razón por la que se aplica el secado puede ser alguna de las siguientes:

-  Facilitar el manejo posterior del producto.
-  Permitir el empleo satisfactorio del mismo.

- ✚ Reducir costes de transporte y embarque.
- ✚ Preservar los productos de fermentaciones indeseables durante el almacenamiento y el transporte.
- ✚ Aumentar el valor o utilidad de los productos residuales.

2.5.2 Humedad

2.5.2.1 Introducción

Sierra, I.; Morante, S.; Pérez, D. (2007) afirman que “la presencia de agua en los alimentos es el principal factor responsable de las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas que alteran la calidad de los mismos. El contenido en agua en un alimento (humedad) se define, convencionalmente, como la pérdida de masa que experimenta en condiciones determinadas. Todos los alimentos, cualquiera que sea el tipo de procesado al que hayan sido sometidos, contienen agua en mayor o menor proporción, oscilando entre 90-95 % en verduras y menos de un 5 % en alimentos como galletas y harinas” (p.41).

El agua que existe en los alimentos se encuentra en dos formas generales: agua libre y agua ligada.

De acuerdo a Sierra, I. et al. (2007) “el agua libre es la forma predominante, se libera con gran facilidad y es estimada con la mayor parte de los métodos usados para el cálculo de humedad. El agua ligada se encuentra en los alimentos como agua de cristalización (en los hidratos) o ligadas a las proteínas. Estas formas requieren para su eliminación, en forma de vapor, un calentamiento de distinta intensidad. Además parte del agua ligada permanece unida al alimento incluso a la temperatura de carbonización” (p.41).

2.5.3 Contenido de humedad de un producto

Albarracín, L. et al. (2007) afirman que: “en general, el contenido de humedad de un producto se expresa como la cantidad de agua contenida por unidad de peso de sólido. En base húmeda se expresa en relación con el peso del material húmedo y en base seca en relación con el peso del material seco. Se define como material seco cuando el producto ha alcanzado peso constante en el método de la estufa” (p.14).

2.5.3.1 Humedad de azúcar natural

En el azúcar natural el contenido de humedad se encuentra en un valor cercano al 2 %, esto dependerá del proceso de producción, del contenido de °Brix de la caña, del tiempo y del ritmo de batido, la temperatura de punteo, la humedad relativa del aire entre otros factores.

En el proceso de secado se podrá calcular la variación del contenido de humedad a medida que avanza el proceso, así como conocer cuál puede ser el contenido de humedad final del producto si se deja secar hasta cuando entre en equilibrio con las condiciones del aire de secado.

2.5.3.2 Humedad de equilibrio

García, B. y Zanten, C. (2007) afirman que: “para panela granulada, la humedad de equilibrio es inferior al 30 % y por eso sale más barato buscar empaques con muy baja transferencia de humedad al tratar de acondicionar el aire de la bodega, así mismo esta panela al finalizar el proceso debe empacarse lo más pronto posible, porque gana humedad en forma acelerada en las condiciones del trapiche” (p.72).

El concepto de humedad de equilibrio tiene aplicaciones en el secado, almacenamiento, procesamiento y manejo de productos.

El azúcar natural al poseer características higroscópicas, tiene la capacidad de absorber con facilidad la humedad que existe en el aire.

Ospina, J. (2002) dice lo siguiente “el contenido de humedad de equilibrio se define como el contenido de humedad (en base húmeda o base seca) que el producto alcanza cuando se expone por un determinado tiempo bajo condiciones constantes de temperatura y humedad relativa. El contenido de humedad en equilibrio es llamado también equilibrio higroscópico. Un producto que está en equilibrio higroscópico con el ambiente se encuentra, cuando la presión de vapor de agua que contiene el producto es igual a la presión de vapor de agua del aire ambiente que lo rodea” (p.117).

Una vez conocido los valores de humedad de equilibrio se podrá calcular el calor latente de vaporización (o entalpía) del agua en los productos de secado.

Ospina, J. (2002) afirma que “el contenido de humedad en equilibrio de un producto higroscópico, en determinadas condiciones de temperatura y humedad relativa de equilibrio, depende del camino que se siga para alcanzar el equilibrio. Así para una misma humedad relativa, puede haber dos isotermas, denominadas isotermas de adsorción y de desorción, obtenidas en función de las condiciones experimentales iniciales” (p.118).

2.5.3.3 Humedad relativa

La humedad relativa según Giancoli, D. (2006) es “la razón entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor saturado a una temperatura dada. Generalmente se expresa en porcentaje:

$$\text{Humedad relativa: } \frac{\text{presión parcial de agua}}{\text{presión de vapor saturado de agua}} \times 100 \%$$

En consecuencia, cuando la humedad es cercana a 100%, el aire retiene casi todo el vapor de agua que puede” (p.375).

2.5.4 Actividad de agua

2.5.4.1 Concepto

Bello, J. (2000) manifiesta que “en la práctica viene a significar una medida indirecta del agua que hay disponible en un determinado alimento para intervenir en posibles reacciones químicas, bioquímicas o microbiológicas. La actividad de agua es el cociente entre la presión parcial de vapor de agua contenida en un alimento y la presión parcial de vapor del agua pura a una temperatura determinada” (pp.47-48).

2.5.4.2 Influencia de la actividad de agua en el deterioro de alimentos

Según los microbiólogos (Mossel y Westerdijk, 1949; Bryce y Pearce, 1946; Scott, 1953, 1957) citados por Orrego, C. (2003) “la actividad de agua más que la humedad, era el parámetro que controla el crecimiento, la supervivencia, esporulación, muerte o producción de toxinas de los microorganismos” (p. 186).

Orrego, C. (2003) afirma que “la actividad de agua tiene efectos sobre las reacciones de deterioro de los alimentos, actuando bien como reactante (como en el caso de la hidrólisis de la sacarosa), o bien como solvente teniendo efecto de la dilución de los sustratos, reduciendo la velocidad de reacción” (p.186).

El mismo autor dice que “para el caso del pardeamiento enzimático, las energías de activación para la formación de los compuestos de Amadori decrecen con el incremento de actividad de agua y se vuelven muy independientes de la temperatura para valores de la actividad superiores a 0,5. Esta es la justificación para usar bajas temperaturas en las etapas finales del secado” (p.186).

Gil, A. (2010) afirma que “las bacterias, los mohos y las levaduras requieren en general actividad de agua elevada. Por lo tanto, actividad de agua inferior a 0,6 (alimentos desecados o deshidratados) originan productos muy estables” (p.675).

Camacho, D. et al. (2007) sostienen que “la reducción del contenido de humedad aumenta la vida útil de los productos ya que ocasiona un descenso de la actividad de agua, lo que inhibe el crecimiento microbiano y disminuye la velocidad de varias reacciones deteriorantes” (p.258).

Geankoplis, Ch. (1986) dice que “los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en los alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo de 10% en peso. Sin embargo, es necesario reducir este contenido por debajo del 5% en peso, para preservar el sabor y su valor nutritivo” (p.435).

Aguado, J. y Rodríguez, F. (2002) sostienen que “las alteraciones de la textura en un alimento pueden ser causadas por el secado convectivo a altas temperaturas y prolongados tiempos. Una baja actividad de agua por efectos del secado puede también ayudar a la desorción de las sustancias volátiles responsables del aroma de un determinado producto. En la actualidad uno de los campos de investigación de mayor auge en la industria alimentaria es aquel que se ocupa de establecer la influencia de la actividad de agua sobre las propiedades del alimento; se trata de relacionar las posibles alteraciones de alimentos de características comunes en función de su composición, procesado y almacenamiento” (pp. 168-169).

2.5.5 Teoría del secado

Al estudiar el secado de los sólidos, ya sea desde un punto de vista teórico o experimental, es preciso definir proporciones relativas de agua y sólido seco contenido en el mismo, es decir, determinar la humedad del sólido. Éstas se definen en dos formas diferentes: en base seca, refiriendo el contenido del líquido

con respecto al peso de sólido seco que se mantiene constante en la totalidad del proceso de secado, y en base húmeda, refiriéndose al contenido del líquido con respecto a la masa total de sólido seco más el agua = sólido húmedo.

2.5.5.1 Estática del secado

Vian, A. y Ocón, J. (1979) afirman que “en presencia de líquido volátil, los sólidos pueden comportarse como húmedos o bien como higroscópicos. Llamamos cuerpo húmedo a aquel cuya tensión de vapor de agua (o de líquido volátil) es igual a la del agua (o líquido volátil) a la misma temperatura; el cuerpo húmedo es totalmente inerte para el agua que lo acompaña. Por el contrario, el cuerpo higroscópico tiene una tensión de vapor menor que la del agua a la misma temperatura; el cuerpo higroscópico modifica la tensión de vapor del agua que esta ocluída en sus poros o entre las partículas del mismo” (p.479).

La tensión de vapor de agua sobre un cuerpo ligeramente higroscópico se encuentra influenciado por estos cuatro factores: temperatura, naturaleza del cuerpo, estado de su superficie y proporción de agua (humedad). A una temperatura constante, la tensión de vapor de agua aumenta continuamente con la humedad hasta alcanzar el mismo valor del agua pura a la misma temperatura. En este punto, el cuerpo empieza a comportarse como húmedo; cualquiera que sea la humedad, la tensión de vapor se mantendrá constante.

Vian, A. y Ocón, J. (1979) también indican: “si el cuerpo higroscópico está en contacto con aire en condiciones determinadas, su humedad tiende hacia un valor de equilibrio, que se alcanza cuando la tensión de vapor del cuerpo higroscópico es igual a la presión parcial del vapor de agua en el aire. En lugar de la presión parcial podemos tomar la humedad relativa (φ), directamente relacionada con ella, que es la relación entre las presiones parciales actuales y de saturación. A cada humedad del cuerpo le corresponde en el equilibrio una humedad relativa del aire” (pp. 480-481).

Tomando estas variables como coordenadas en un diagrama rectangular, se puede representar la curva de equilibrio en el diagrama de fases (figura 2).

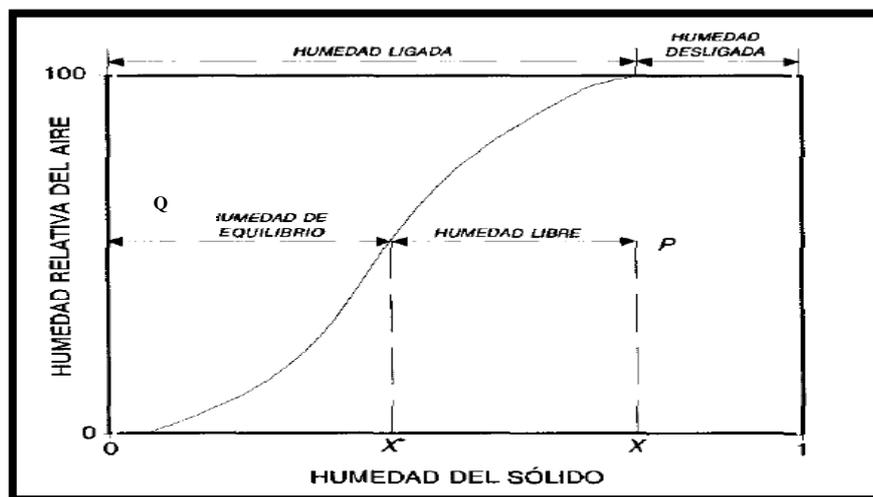


Figura 2: Curva de equilibrio de humedad en el diagrama de fases

Con la curva de equilibrio se puede conocer el sentido en que variará la humedad de un cuerpo puesto en contacto con aire húmedo. Si el punto representativo está a la derecha de la curva de equilibrio (punto P en la Figura 2) la humedad del sólido tenderá a disminuir, pues la humedad es superior al valor de la humedad de equilibrio del aire. Si el punto Q estuviera a la izquierda de la curva, la humedad del cuerpo tendería a aumentar a expensas del vapor del agua recibido del aire húmedo, en contacto con el sólido.

De acuerdo a Vian, A. y Ocón, J. (1979) “la humedad de equilibrio depende del estado de la superficie del cuerpo. La curva de la Figura 2 no tiene valor absoluto, sino que corresponde a un material específico. Aún para un mismo material se presenta a menudo fenómenos de histéresis de secado, de modo que la humedad de equilibrio con aire de condiciones determinadas depende de los cambios de humedad experimentados anteriormente” (p. 481).

En la curva de equilibrio, de la Figura 2, permite definir tres tipos de humedades:

- ✚ *Humedad libre*: La humedad que puede perder el sólido después de un contacto suficientemente prolongado con aire de condiciones constantes. Por consiguiente, la humedad libre será el resultado de la diferencia entre la humedad total y la humedad de equilibrio y depende tanto de la humedad del sólido como de la humedad relativa del aire.

- ✚ *Humedad ligada*: se la define como la humedad mínima necesaria para que el sólido deje de comportarse como higroscópico, también se puede decir que es la humedad mínima de equilibrio al estar en contacto con el aire saturado.

- ✚ *Humedad desligada*: es la que representa la humedad del sólido en contacto con aire saturado, es decir que, representa la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada. La cantidad de agua contenida en el sólido no está afectada por la presencia del sólido.

2.5.5.2 Cinética del secado

Maupoey, P.; Andrés, A.; Barat, J.; Albors, A. (2001) afirman que: “si en las experiencias de secado, se mantiene constante todas las variables y se determina periódicamente el contenido de humedad del sólido se obtiene una serie de datos que pueden graficarse en un sistema coordenado, en la forma X_w (contenido en humedad del material) frente a t (tiempo transcurrido desde que se inició la operación de secado), dando lugar a la curva de secado” (pp. 47-48).

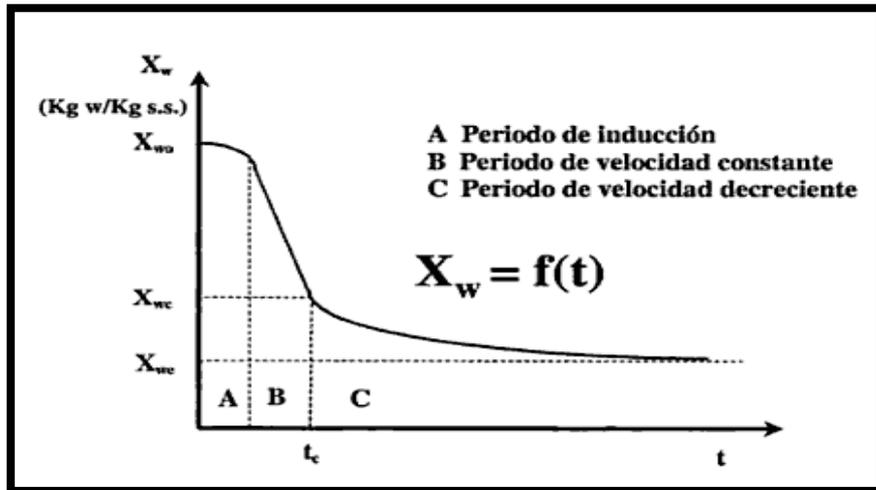


Figura 3: Curva de secado típica

Lo mismos autores describen que: “la figura 3 muestra una curva típica de materiales muy húmedos en la que se observan tres zonas características: Una primera zona A, en la cual la pendiente de la curva aumenta ligeramente con el tiempo y se denomina periodo de inducción. Otra B, de pendiente constante. Y una tercera zona C, en la cual la pendiente disminuye con el tiempo” (p.49).

2.5.5.3 Períodos de secado

Cualquiera que sea el tipo de instalación a emplear, para determinar la capacidad del aparato, o bien el tiempo de secado, es necesario efectuar ensayos de velocidad de secado del material realizados en condiciones constantes de secado, es decir, con las condiciones del aire (presión, temperatura, humedad y velocidad) constantes con el tiempo y varían muy poco desde la entrada hasta la salida del equipo. A intervalos regulares dependiendo del producto, se determina por pesada la humedad del sólido.

Nonhebel, G. y Moss, A. (2002) al respecto, señalan: “para que los datos obtenidos tengan la máxima validez es necesario observar una serie de precauciones encaminadas a lograr la mayor semejanza con las condiciones que han de prevalecer en la operación a gran escala” (p.211).

- ✚ El material estará dispuesto en la misma forma que lo ha de estar posteriormente.
- ✚ Se dispondrán unas condiciones de transferencia de calor análogas a las empleadas en la operación a gran escala.
- ✚ Es conveniente realizar el análisis con diferentes muestras sacadas de distintos puntos del aparato.

Se puede definir a la velocidad de secado como la pérdida de humedad por unidad de tiempo, más exactamente por la derivada de la humedad respecto al tiempo (cambiada de signo). Si se quiere definir cuantitativamente la velocidad, es conveniente referir ésta a la unidad de superficie de secado.

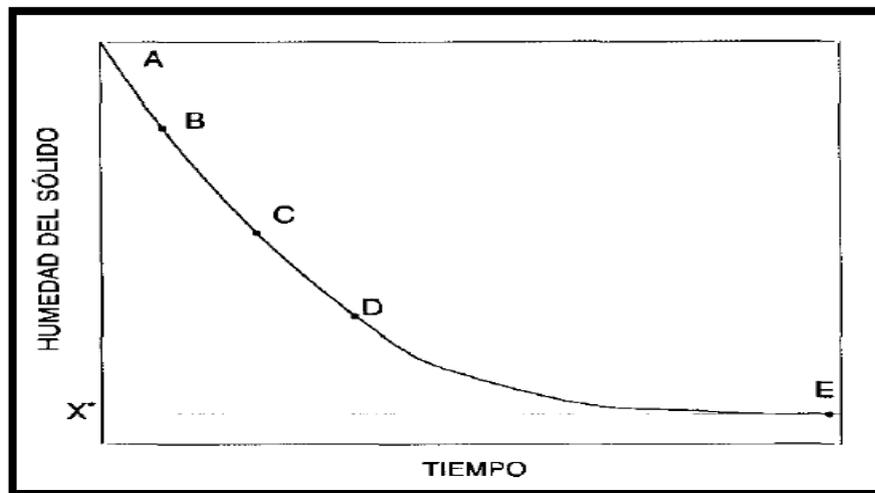


Figura 4: Curva de secado en condiciones constantes

$$W = \frac{S}{A} \left(-\frac{dX}{dt} \right)$$

En donde:

W = velocidad de secado ($\text{kg}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$)

X = humedad del sólido en base seca ($\text{kg agua}/\text{kg sólido seco}$)

S = peso de sólido seco (kg)

A = área de superficie expuesta m^2

dt = intervalo de tiempo en horas

Las magnitudes (S y A) permanecen constantes durante el ensayo de secado, que relacionando la velocidad de secado con la humedad del sólido, se puede obtener una gráfica parecida como indica la figura 5.

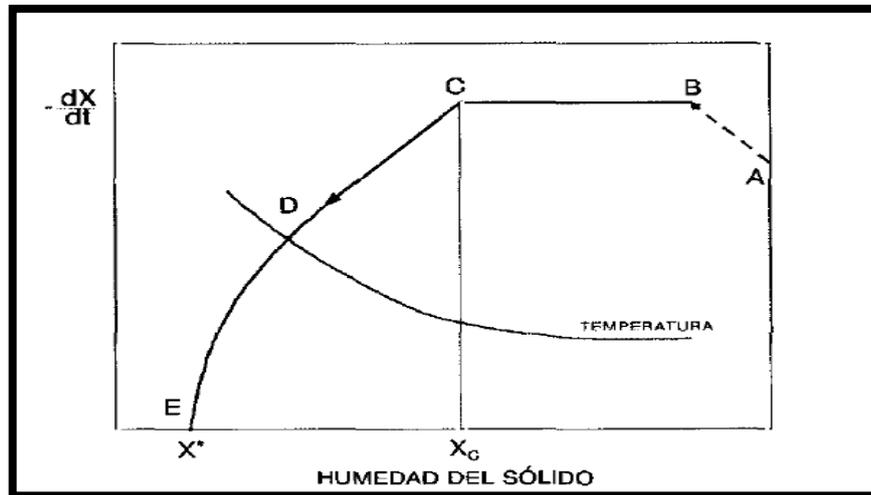


Figura 5: Curva de velocidad de secado en condiciones constantes

Como se puede ver en los dos gráficos anteriores, se distinguen dos periodos importantes de secado:

1. Período de velocidad constante (tramo BC).
2. Período de velocidad decreciente (tramo CE).

Los puntos descritos en la curva de humedad vs tiempo corresponden a los puntos de la curva velocidad de secado vs humedad del sólido, los mismos que se describen a continuación:

- *Tramo AB.* Corresponde al llamado período de inducción, en el que el mecanismo de secado no ha llegado a estabilizarse (que puede no existir o presentar diversas formas).
- *Tramo BC,* se caracteriza por la constancia de eliminación de agua o de la velocidad de secado; llegando hasta la humedad crítica.
- *Tramo CE.* La velocidad de secado empieza a disminuir, alcanzando prácticamente el valor 0, cuando la humedad libre se anula, es decir, cuando la humedad del material es igual a la del equilibrio con el aire de secado. En muchos casos pueden diferenciarse dos períodos de velocidad decreciente: durante el primero la velocidad varía linealmente con la humedad (período CD); en el segundo se pierde esta relación (tramo DE).

2.5.5.4 Proceso de secado

Durante el período de secado es necesario separar la humedad existente en la superficie como en el interior del sólido. Cuando la humedad es suficientemente grande, la evaporación transcurre sobre la superficie totalmente mojada y el líquido se renueva continuamente por difusión rápida desde el interior del sólido, teniendo así un período en donde la velocidad de secado es constante. Si el sólido no recibe calor por otros medios, la temperatura de su superficie permanece constante en un valor sensiblemente igual al de la temperatura húmeda del aire.

A continuación el cuadro 3 se cita las velocidades de secado para algunos materiales.

Cuadro 3: Velocidades de evaporación de agua sobre varios materiales en condiciones medias

Materias	W (Kg/h m²)
Agua	2,7
Pigmento blanco	2,1
Limaduras de latón	2,4
Torneaduras de latón	2,4
Arena fina	2-2,4
Arcillas	2,3-2,7

Fuente: (Nonhebel, G. y Moss, A., 2002, p.486)

Cuando la humedad media del sólido es inferior a la humedad crítica X_c (punto C de la Figura 4 y 5) la difusión desde el interior no puede suministrar todo el líquido necesario para su evaporación en la superficie; produciéndose de esta manera, la disminución de la velocidad de evaporación y a la vez aparecen sobre la superficie zonas secas, cada vez en mayor proporción.

Nonhebel, G. y Moss, A. (2002) dicen que: “transcurre entonces el primer período de velocidad decreciente: al no estar saturada la superficie la temperatura asciende, y tiende a aproximarse a la temperatura seca del aire. El primer período de velocidad decreciente, que puede no existir según las condiciones de secado, concluye cuando la superficie del sólido queda libre de líquido; a pesar de ello, la humedad media del sólido puede tener todavía un valor apreciable” (p.486).

Vian, A. y Ocón, J. (1979) sostienen que: “durante el segundo período postcrítico la velocidad de secado sigue descendiendo. En muchos casos la evaporación se efectúa en un plano interior, que va alejándose de la superficie del sólido a medida que progresa el secado. El transporte del líquido desde el interior hasta el plano de evaporación es seguido por la difusión del vapor desde este plano hasta la superficie del material, y por último la difusión desde la superficie hasta el seno del aire. En otros casos, la evaporación sigue efectuándose en la superficie, y el líquido llega hasta ella por los mecanismos de difusión normal, difusión capilar u otros más complejos” (p 487).

2.5.6 Selección de la temperatura de secado

Maupoey, P. et al (2001) sostienen: “es lógico pensar que a mayor temperatura del aire de secado mayor capacidad tendrá este para eliminar el agua del producto y más rápido será el proceso puesto que las fuerzas impulsoras serán mayores. Pese a que esto es cierto se deberá emplearse la temperatura más alta posible, deberán tenerse en cuenta otros factores que nos ayudarán en cada caso a establecer la temperatura óptima de secado” (p. 55).

Los mismos autores afirman que: “deberemos tener en cuenta las características del producto que estamos secando puesto que muchos alimentos, o mejor dicho muchos de los componentes de éstos, son termolábiles, es decir que se alteran fácilmente por la acción del calor. Este hecho establece en muchos casos el límite superior de temperatura, de manera que la temperatura del aire de secado deberá ser tal que el producto en ningún momento del proceso alcance temperaturas que alteren sus principales atributos de calidad” (p. 55).

Maupoey, P. et al. (2001) afirman que: “los aspectos organolépticos y nutricionales deseados en el producto final son determinantes para la correcta definición de las condiciones del aire de secado. Una excesiva velocidad de secado puede producir encostramientos indeseables, que además motiven la existencia de zonas del interior del producto difíciles de secar y/o con una elevada humedad. Una elevada temperatura del aire de secado puede producir el deterioro de las vitaminas del producto, y la aparición de colores y/o aromas extraños” (p.94).

2.5.6.1 Características del material a secar

Para llevar a cabo el proceso de secado es importante conocer las características del material a secar y los atributos deseables en el producto final. Según Maupoey, P. et al (2001) dicen que las propiedades a conocer son “las físicas como la dimensión y forma, la presencia o no de piel, estado del material (sólido o

líquido) y sus propiedades mecánicas (dureza, adhesividad), y las propiedades químicas y bioquímicas. La propiedad química más importante a conocer es la composición y el conocimiento de las características de los elementos constitutivos del material. Por otro lado, las propiedades bioquímicas son importantes en lo que se refiere a los cambios que sufre el material durante el secado y/o posterior almacenamiento tales como aspectos relativos a la generación de sabores y aromas, deseables o indeseables en el material” (pp. 92-93).

2.5.6.2 Condiciones óptimas de secado

La diferencia de temperaturas o incremento térmico entre la del aire de entrada y la del sólido, es conocido como el potencial de desecación del aire, y se utiliza como medida de la eficacia del proceso de secado.

En lo referente a la capacidad de producción de un determinado aparato, es evidente efectuar el secado en el tiempo mínimo; es decir, con un potencial de desecación máximo, existen otras consideraciones que limitan el potencial utilizable en cada caso:

- ✚ Vian, A. y Ocón, J. (1979) “un posible deterioro del producto a secar por contacto con el aire de temperatura elevada” (p 496).
- ✚ Los mismos autores dicen que: “un secado rápido en algunos cuerpos origina estructuras superficiales cerradas; lo que impide el paso de la humedad a su través, lo que afecta la calidad del producto final y una duración en el tiempo de secado” (p 497).
- ✚ Los mismos autores afirman que: “las sustancias termosensibles condicionan la temperatura de operación, además del tiempo de contacto del fluido con el sólido a tratar. Se requieren temperaturas y/o tiempo de contacto reducidos, con el fin de no degradar las características y propiedades del sólido; esto tiene una gran repercusión dentro de la industria agroalimentaria” (p 497).

2.5.6.3 Factores que intervienen en el secado

La velocidad con la que se seca un producto depende de varios factores, los mismos que se encuentra relacionados con el producto y con el aire de secado, de los que se puede mencionar los siguientes:

- ✚ Isoterma de sorción.
- ✚ Dimensiones del producto.
- ✚ Velocidad superficial relativa del aire respecto al sólido.
- ✚ Temperatura del aire.
- ✚ Humedad relativa del aire.
- ✚ Carga de la masa, porcentaje de llenado etc.

Maupoey, P. et al (2001) “en cuanto a las dimensiones del producto, cuando las características de las partículas sólidas sean suficientemente uniformes y permitan la determinación de su superficie, se determina la variación de la velocidad de secado con el tamaño de las mismas. Pero puede ocurrir que las partículas no cumplan con tales condiciones y entonces la velocidad de secado se relaciona con la altura del lecho del material” (p. 47).

Los mismos autores afirman que “en cuanto a las variables del aire de secado que influyen en la cinética pueden decirse en términos generales que cuanto mayor sea la temperatura del aire mayor será la velocidad de secado. La velocidad de secado será mayor cuanto menor sea la humedad relativa del aire puesto que esta variable representa el porcentaje de saturación de este” (p. 47).

2.5.7 Aparatos de secado

Existen numerosos tipos de aparatos de secado, los mismos que se ajustan a los diversos productos a secar y a las diferentes condiciones de operación. Es indudable que el modo en que se realiza el secado dependerá, en primer término, del tipo de materia que va a someterse a desecación. El secado, por ejemplo, de una materia granular es distinto que el de otra que se presente en forma pastosa.

Así el equipo de secado, puede ser tan sencillo como un soplador con una resistencia adaptada, o tan complejo como un secador rotatorio.

2.5.7.1 Secadores de Bandejas

El secador de bandejas, consiste en un gabinete, en donde se deposita los materiales a secar, con suficiente cantidad de aire caliente y seco. A través del dispositivo circula el aire sobre las bandejas con material que en este caso el secado se realiza solo por la superficie superior. En este tipo de secador se puede manejar sustancias mojadas o plásticas y masas granulares como es el caso de conglomerados de azúcar.

Maupoey, P. et al. (2001) manifiestan que el secador de bandejas: “está formado por una cámara metálica rectangular que contiene unos soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores. Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas poco profundas montadas unas sobre otras con una separación conveniente que se cargan con el material a secar. Se hace circular aire caliente entre las bandejas por medio del ventilador acoplado al motor” (p. 21).

Según McCabe, W.; Cleveland, J.; Harriott, P. (2007) “en estos secadores la velocidad de producción oscila por los 50 Kg/ h pero por el trabajo requerido de carga y descarga su operación es costosa. El secado por circulación de aire a través de capas estacionarias de sólido es lento y los ciclos de secado son largos” (p. 828).

2.5.8 Secado de sólidos

McCabe, W. et al. (2007) manifiestan: “el secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es por lo común la etapa final de una serie de operaciones y, con frecuencia, el producto que se extrae de un secado está listo para ser empaquetado” (p.833).

De acuerdo a Orrego, C. (2003) “es importante considerar la influencia que el secado tiene en la calidad de los productos porque propicia reacciones degradativas que afectan su valor nutricional, textura, color, olor y sabor” (p.175).

2.5.8.1 Secado del azúcar natural

En el proceso de elaboración, el azúcar natural se obtiene con una humedad cercana al 2 o 3 %.

Al respecto García, B. y Zanten, C. (2007) citan: “si se quiere reducir aún más la humedad, se necesitará usar alguna especie de horno y secar el producto con aire caliente. Las temperaturas mayores a 55 °C alteran las características del azúcar natural” (p. 12).

2.5.8.2 Precauciones y recomendaciones para el secado de azúcar natural

Durante el proceso de secado del azúcar natural se presentan condiciones específicas que deben cumplirse, como menciona el manual de trabajo de la Agroindustria Panelera Gardenia, De los Reyes, L. (2011).

- No sobre llenar las bandejas de secado.
- Fijar la temperatura del horno en 65°C de temperatura y dejar secar por tres horas.
- Se recomienda revisar la temperatura del horno de secado al menos una vez cada media hora para evitar variaciones en el resultado del proceso. Si la temperatura disminuye pueden no conseguirse los efectos requeridos y tomar más tiempo. Al contrario si la temperatura pasa de los 70 °C la panela empezará a derretirse y formará textura de caramelo.

- Cuando se empaque la panela se recomienda usar guantes y mascarilla además revisar que se esté empacando panela fría, caso contrario el producto ganará humedad y afectará su calidad.

Adicionalmente, una vez que el producto está listo para el envase se puede mezclar con saborizantes tanto en polvo como con aceites esenciales atomizados.

2.5.8.3 Efectos del calor sobre los azúcares

Bello, J. (2000) sostiene: “los carbohidratos responden a la acción del calor según se trate de polisacáridos o simplemente azúcares. En relación con los polisacáridos, muchos alimentos de origen vegetal contienen almidón que tienen un comportamiento peculiar frente al tratamiento térmico. A partir de los 60 °C el calor lo va convirtiendo en un engrudo, de tal modo que se hincha con el agua fijada por su estructura química; en consecuencia, se produce un incremento de la viscosidad” (p.425).

El mismo autor manifiesta que “en cuanto a los azúcares reductores hay que tener en cuenta que pueden formar parte de la reacción de Maillard cuando se encuentran bajo la acción de calor. Además, los tratamientos térmicos que superen los 150 °C de temperatura pueden dar lugar al fenómeno de caramelización” (p.425).

Según Gil, A. (2010) dice que: “la caramelización es un proceso complejo que ocurre cuando los azúcares se calientan por encima de su punto de fusión dando lugar a la aparición de reacciones de enolización, deshidratación y fragmentación que provoca la formación de derivados furánicos que por polimerización forman pigmentos macromoleculares oscuros” (p.554).

Bello, J. (1998) afirma “el azúcar que se encuentra en estado sólido, funde con el calor y después cambia de color, convirtiéndose en lo que se denomina caramelo. En estado cristalizado pierde sus propiedades primarias de cuerpo cristalino hacia

los 170 °C y pasa al estado coloidal; en caso de seguir calentándolo se carboniza” (p.126).

2.5.8.4 Desnaturalización de las proteínas en los azúcares

Los cambios ambientales o los tratamientos químicos pueden causar una desorganización en la conformación normal de una proteína, con la pérdida correspondiente de la actividad biológica.

Según Melo, V. y Cuamatzi, O. (2006) “las proteínas pueden ser desnaturalizadas por diferentes formas, ya sea por aumento de calor, irradiación o por contacto con agentes químicos” (p.98).

Los mismos autores manifiestan que “el aumento inusual de la temperatura provoca mutación en la proteína, y de esta forma una pérdida de su estabilidad y actividad. A una temperatura normal de hasta 37 °C la proteína conserva su estabilidad; sin embargo, cuando esta temperatura aumenta por encima de los 50 °C la proteína se vuelve inestable” (p.98).

2.6 MOLIENDA

2.6.1 Definición

Romero, A. y Jiménez, A. (2004) sostienen que: “es una operación unitaria, de carácter físico que consiste en la reducción de tamaño de los materiales; en la industria de alimentos se utiliza ampliamente tanto en el procesamiento de frutas y verduras como en el manejo de productos cárnicos” (p.100).

López, C. et al. (2004) manifiestan que: “son operaciones cuyo objetivo es reducir el tamaño de los elementos en que se presenta un sólido. La reducción de tamaño se basa en someter los trozos de material a esfuerzos de compresión, impacto, cortado, cizalladura y fricción” (p.83).

- **COMPRESIÓN:** Es utilizada para la reducción gruesa de sólidos duros, genera productos gruesos, medios o finos.
- **IMPACTO:** Esta técnica consiste en el choque de las partículas para la disminución de su tamaño.
- **CORTADO:** Se utiliza cuando se requiere un tamaño definido de partículas.
- **FROTACIÓN O ROZAMIENTO:** Genera productos finos a partir de materiales blandos no abrasivos.

Según Coulson, J.; Richardson, J.; Backhurst, J.; Harder, J. (2003) la reducción de conglomerados depende de:

- a) Velocidad de impacto,
- b) El peso y disposición de la muestra,
- c) El tamaño inicial de las partículas, y
- d) La humedad contenida en la muestra (p.98).

Con respecto a la cantidad de producto que entra y sale del molino desintegrador es preciso mencionar que no debería existir acumulación dentro de este, por lo que es necesario tener en cuenta la ley de conservación de la materia, sobre el tema Calleja, G.; García, F.; Lucas, A.; Prast, D.; Rodríguez, J. (2002) sostiene que “el balance de materia es un método matemático utilizado principalmente en Ingeniería Química. Se basa en la ley de conservación de la materia (la materia ni se crea ni se destruye, solo se transforma), que establece que la masa de un sistema cerrado permanece siempre constante. La masa que entra en un sistema debe, por lo tanto, salir del sistema o acumularse dentro de él” (p. 115).

$$\text{entradas} = \text{salidas} + \text{acumulación}$$

Los mismos autores se refieren al balance de materiales dentro de un proceso estacionario y afirman que “la mayoría de los procesos industriales son continuos, con un mínimo de alteraciones o paradas. En este tipo de procesos, a excepción de

los períodos de puesta en marcha y paradas, el tiempo no es una variable a considerar, por lo que las variables intensivas dependen solamente de la posición. En estos sistemas en estado estacionario el término acumulación desaparece o es mínima, simplificándose la ecuación a la siguiente:” (p. 116).

$$\text{entradas} + \text{producción} = \text{salidas}$$

En lo que respecta al consumo de energía los mismos autores dicen que “ciertos equipos utilizados en la molienda de sólidos permiten trabajar en un determinado intervalo de humedad. La presencia de humedad en el material incrementa el tiempo de molturación y por lo tanto la energía consumida, además de ocasionar problemas de atascos” (p. 120).

2.6.2 Molienda de conglomerados de azúcar natural

García, B. y Zanten, C. (2007) manifiestan que: “con el proceso de molienda, se aumenta el porcentaje de grano fino obtenido. Normalmente el grano fino es de cerca del 60 % y con la molienda se puede llegar al 90 %” (p. 10).

2.6.3 Importancia de la humedad en la molienda

Cajas, D. (2011) afirma que: “para un amplio porcentaje de las materias primas, una humedad superior al 3 % produce embotamiento del molino, lo cual provoca que la eficiencia del proceso y la capacidad de producción se vean disminuidas. Otro fenómeno que ocurre con relativa frecuencia por el exceso de humedad, es la aglomeración de productos en procesos de pulverización fina, lo cual impide una fluidez libre del producto. En la molienda en seco, el principal inconveniente que se genera es la producción prolonga de polvos” (p 27).

2.6.4 Requerimientos de potencia

Según Hall, C. y Salas, F. (1998) al respecto dicen que: “hay un aumento en la potencia necesaria para la molienda, para el molino de disco y el de martillos

cuando el contenido de humedad del producto aumenta. Así, por ejemplo se puede moler de uno y medio a dos veces más producto si la humedad es baja” (p.18).

2.6.5 Molinos

2.6.5.1 Definición

López, C. et al. (2004) afirman que: “los molinos son aparatos que reducen el tamaño de los trozos de material por fricción e impacto con elementos móviles del interior del molino, consiguen tamaños de partícula del orden de 1 mm” (p.84).

2.6.5.2 Modelos de molinos

2.6.5.3 Molino de bolas

López, C. et al. (2004) “contiene una cierta cantidad de bolas de un material muy duro, acero que trituran el material al girar el cuerpo del molino. Son de uso muy general” (p.84).

2.6.5.4 Molino de barras

López, C. et al. (2004) “son largos cilindros horizontales con rotación axial, que contienen barras de acero de longitud igual a la del molino. Dan una fricción de partículas finas muy baja” (p.84).

2.6.5.5 Molinos de chorro

López, C. et al. (2004) “no contiene rellenos; la molienda se lleva a cabo al introducir las partículas en una fuerte corriente de aire y chocar entre sí. Se usan para obtener una elevada proporción de partículas finas sin contaminar el material con restos de los elementos trituradores de relleno” (p.84).

2.6.5.6 Molino de martillos

López, C. et al. (2004) “contiene en su interior martillos oscilantes que golpean el material al girar el molino”. (p.84).

2.6.5.7 Molino de discos

Romero, A. y Jiménez, A. (2004) “equipo de molienda cuyo principio de funcionamiento es la fricción del material para moler en medio de dos discos corrugados, uno de los cuales se mantiene fijo mientras el otro rota a una velocidad establecida” (p.100).

2.6.5.8 Molino desintegrador



Figura 6: Molino desintegrador tipo ciclón

El tipo de molino para llevar a cabo la desintegración de los conglomerados del azúcar natural, en la empresa Gardenia está constituido por aspas colocadas en un disco giratorio los mismos que están encerrados en una cámara metálica en forma de cono invertido; al producirse el movimiento circular los conglomerados se impactan con las paredes internas del molino produciéndose el rompimiento de estos. Las partículas de menor tamaño salen por una abertura que está recubierta con una malla metálica número 9, finalmente estas caen a un recipiente donde son recogidas para su posterior envase.

Sobre este tipo de molinos según Hall, C. y Salas, F. (1998) afirman que “si el producto a ser triturado en este tipo de molinos es sometido por tiempos prolongados hay aumentos considerables de temperatura debido a la fricción”. (p.24).

2.7 TAMIZADO

2.7.1 Definición

Según López, C. et al. (2004) afirman que el tamizado es: “una operación unitaria destinada a la separación por tamaños de las partículas de una mezcla sólida. Se basa en hacer pasar las partículas de menor tamaño a través de una malla de paso definido. Las partículas se clasifican en cernido y rechazo. A los tamices se les comunica un movimiento de vaivén o vibración para asegurar una separación correcta” (p.84).

Cuadro 4: Tamaños estándares de apertura de tamices serie fina

MALLA	ABERTURA DE TAMIZ (μm)	ABERTURA DE TAMIZ (mm)
3	6680	6,680
4	4699	4,699
6	3327	3,327
8	2362	2,362
10	1651	1,651
14	1168	1,168
20	833	0,833
28	589	0,589
35	417	0,417
48	295	0,295
65	208	0,208
100	147	0,147
150	104	0,104
200	74	0,074

Fuente: (Levenspiel, O., 1996, p. 121)

2.7.2 Tamizado de azúcar natural

En la Agroindustria Panelera Gardenia el proceso de tamizado se realiza con un tamiz número 9, a la mezcla de azúcar natural y conglomerados, proveniente del batido.

Con respecto a este proceso García, B. y Zanten, C. (2007) recomiendan que “los conglomerados que resultan del batido son de diferente tamaño y se pueden separar por medio de una zaranda. No existe un tamaño estandarizado para panela granulada pero se puede tomar como promedio los granos menores de tres milímetros” (p. 9).

2.7.3 Granulometría

2.7.3.1 Definición

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices. Para llevar a cabo este proceso es necesario que exista vibración que permita que el material fino traspase.

Tal como lo manifiesta Izquierdo, F. (2001) “el ensayo de granulometría por tamizado se ejecuta con una serie de tamiz de aberturas normalizadas” (p. 22).

La granulometría se conoce también como análisis de tamices, este procedimiento consiste en hacer pasar una cantidad conocida de muestra (100 g), a través de una serie de tamices con diferentes aberturas, los mismos que se encuentran ordenados de arriba abajo en forma decreciente. Un tamiz permite el paso de las partículas más finas y retiene las partículas más gruesas, llevándose este proceso mediante un dispositivo mecánico que permite el movimiento relativo de dichos tamices.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Materia prima e insumos

- Conglomerados de azúcar natural

3.1.2 Materiales y equipos de laboratorio

- Molino desintegrador tipo ciclón
- Secador de bandejas
- Balanza
- Termómetro
- Humedímetro
- Cronómetro
- Mallas metálicas
- Fundas plásticas ziploc capacidad 500 g
- Bandejas de acero inoxidable (50 x 60) cm, para el secado
- Recipientes plásticos con una capacidad de 3 Kg

3.1 MÉTODOS

3.2.1 Ubicación

El proyecto se realizó en la Panelera Gardenia, la misma que se encuentra ubicada en el barrio La Merced del Cantón Atuntaqui en la provincia de Imbabura.

Cuadro 5: Ubicación geográfica

Provincia:	Imbabura
Cantón:	Atuntaqui
Parroquia:	La Merced
Lugar	Panelera Gardenia

Fuente: Los autores

3.2.1.1 Características climáticas

Cuadro 6: Condiciones ambientales

Temperatura promedio	17 °C
Precipitación anual	625 mm
Humedad relativa	60 %
Altitud:	2225 m.s.n.m.

Fuente: Instituto Geográfico Militar

3.3 Factores en estudio

Factor A: Temperatura del aire de secado

- **T1:** 50 °C
- **T2:** 60 °C
- **T3:** 70 °C

Factor B: Espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas

- **E1:** 1 cm
- **E2:** 2 cm
- **E3:** 3 cm

Factor C: Humedad final del conglomerado de azúcar natural

- **H1:** 0,5 %
- **H2:** 0,75 %
- **H3:** 1 %

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.4.1 Diseño experimental

Para este estudio, se realizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con arreglo factorial $A \times B \times C$, obteniendo de ésta manera 27 tratamientos en total.

3.4.2 Tratamientos

Cuadro 7: Tratamientos

Tratamientos	Combinaciones	Factor A (°C)	Factor B (cm)	Factor C (%H ₂ O)
T1	T1E1H1	50	1	0,5
T2	T1E1H2	50	1	0,75
T3	T1E1H3	50	1	1
T4	T1E2H1	50	2	0,5
T5	T1E2H2	50	2	0,75
T6	T1E2H3	50	2	1
T7	T1E3H1	50	3	0,5
T8	T1E3H2	50	3	0,75
T9	T1E3H3	50	3	1
T10	T2E1H1	60	1	0,5
T11	T2E1H2	60	1	0,75
T12	T2E1H3	60	1	1
T13	T2E2H1	60	2	0,5
T14	T2E2H2	60	2	0,75
T15	T2E2H3	60	2	1
T16	T2E3H1	60	3	0,5
T17	T2E3H2	60	3	0,75
T18	T2E3H3	60	3	1
T19	T3E1H1	70	1	0,5
T20	T3E1H2	70	1	0,75
T21	T3E1H3	70	1	1
T22	T3E2H1	70	2	0,5
T23	T3E2H2	70	2	0,75
T24	T3E2H3	70	2	1
T25	T3E3H1	70	3	0,5
T26	T3E3H2	70	3	0,75
T27	T3E3H3	70	3	1

Fuente: Los autores

3.4.3 Características del experimento

Número de tratamientos: 27

Número de repeticiones: 3

Unidades experimentales: 81

3.4.4 Análisis de varianza

Cuadro 8: Esquema del ADEVA

F. DE VARIACIÓN	G.L
TOTAL	80
REPETICIONES	2
TRATAMIENTOS	26
FACTOR A	2
FACTOR B	2
FACTOR C	2
AxB	4
AxC	4
CxB	4
AxBxC	8
ERROR EXPERIMENTAL	52

Fuente: Los autores

3.4.5 Análisis funcional

Al existir diferencia significativa en los tratamientos se realizó la prueba de TUKEY para tratamientos; DMS para factores (A, B y C); y, gráficos para interacciones.

Para las variables no paramétricas se realizó la prueba de Friedman al 1 y 5 %.

3.4.6 Unidad experimental

Las unidades experimentales se determinaron en base a los espesores de las capas de los conglomerados del azúcar, proveniente del retenido en el tamizado uno, etapa que procede del enfriamiento del azúcar natural. Obviamente estos conglomerados son de forma irregular que oscilan en tamaños de 2 a 4 cm. Las cantidades establecidas para el efecto son: 2,2 Kg para 1 cm de espesor 3,6 Kg para 2 cm de espesor y 4,8 Kg para 3 cm de espesor.

3.4.7 Variables evaluadas

3.4.7.1 Variables cuantitativas en el proceso de secado

- Masa de agua evaporada
- Tiempo de secado
- Velocidad de secado
- Rendimiento

3.4.7.2 Variables cuantitativas en el proceso de molienda

- Retención de masa
- Tiempo de molienda
- Rendimiento

3.4.7.3 Variables cualitativas (análisis organoléptico)

- Color
- Olor
- Aroma
- Granulometría

3.4.7.4 Pruebas adicionales

- Niveles de sólidos sedimentables
- Recuento de mohos y levaduras

3.5 MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

El proyecto se realizó en la Panelera Gardenia, la misma que se encuentra ubicada en el barrio La Merced del Cantón Atuntaqui en la provincia de Imbabura. La planta está constituida por dos naves industriales adjuntas, un área de proceso que comprende desde la recepción de la materia prima (caña) hasta la obtención de azúcar natural húmeda, y un área de secado en donde se lleva a cabo el envasado y almacenamiento; estos dos áreas comprenden una superficie total de 1100 m². La planta funciona desde el año 2003 y tiene una producción promedio diaria de 900 Kg de panela granulada o azúcar natural.



Figura 7: Nave industrial proceso físico **Figura 8:** Secador de bandejas

3.5.1 Descripción del proceso

3.5.1.1 Tamizado 1

Para el tamizado se utilizó una malla metálica número 9 la misma que tiene una abertura de 2 mm de diámetro. Este proceso permite separar azúcar granular y conglomerados, siendo estos últimos el material objeto de nuestra investigación.



Figura 9: Tamizado de azúcar natural

3.5.1.2 Recepción y pesado

Los conglomerados provenientes del tamizado 1 son de forma irregular, con tamaños comprendidos en un rango entre dos y cuatro centímetros, con una humedad inicial del 2,46 %. Durante este proceso se procedió a medir los espesores requeridos 1, 2 y 3 cm, luego se pesaron las muestras para establecer la masa inicial, de cada una de las unidades experimentales.

3.5.1.3 Secado

El proceso se realizó en un horno tipo armario de acero inoxidable, de las siguientes dimensiones 3 m de altura 1,50 m de ancho y 2 m de largo el cual funciona con GLP. El aire caliente ingresa por la parte inferior y este circula por el interior del secador con una velocidad constante de 0,4 m/s. Este secador posee anaqueles metálicos móviles que dan cabida a 40 bandejas de acero inoxidable de dimensiones de 50 x 60 cm. Los conglomerados se colocaron dentro de las bandejas teniendo en cuenta el espesor correspondiente a cada tratamiento y fueron sometidos a temperaturas de secado de 50, 60 y 70 °C, respectivamente.

Con el humidímetro, se tomó datos cada 30 minutos hasta llegar a las humedades requeridas las mismas que fueron: **H1:** 0,5 % **H2:** 0,75 % **H3:** 1 %; además, al final del proceso se pesó los contenidos de cada uno de los tratamientos.



Figura 10: Humedímetro

3.5.1.4 Molienda

En este proceso se utilizó un molino desintegrador tipo ciclón con una velocidad de rotación del disco de 532 rpm. Los conglomerados de azúcar ingresaron por la parte superior del molino y debido a la fuerza producida por el movimiento del disco se consiguió reducir el tamaño de los conglomerados a un diámetro menor de 2 mm. Con la ayuda de un cronómetro digital se tomó datos de tiempo de destrucción de los conglomerados de azúcar natural.



Figura 11: Molienda de conglomerados de azúcar natural

3.5.1.5 Tamizado 2

Esta operación física se encarga de realizar el análisis granulométrico del azúcar natural obtenido en la molienda, haciendo uso de tamices de malla 10 y malla 14 para obtener una clasificación del azúcar en tipo A, B y C. El retenido de la malla

10 corresponde al azúcar tipo A cuyo tamaño oscila entre 1,651 a 2 mm. El retenido de la malla 14 corresponde al azúcar tipo B cuyo tamaño oscila entre 1,168 a 1,651 y el pasante de la malla 14 corresponde al azúcar tipo C cuyo tamaño es menor a 1,168 mm.



Figura 12: Tamizado de azúcar natural molida

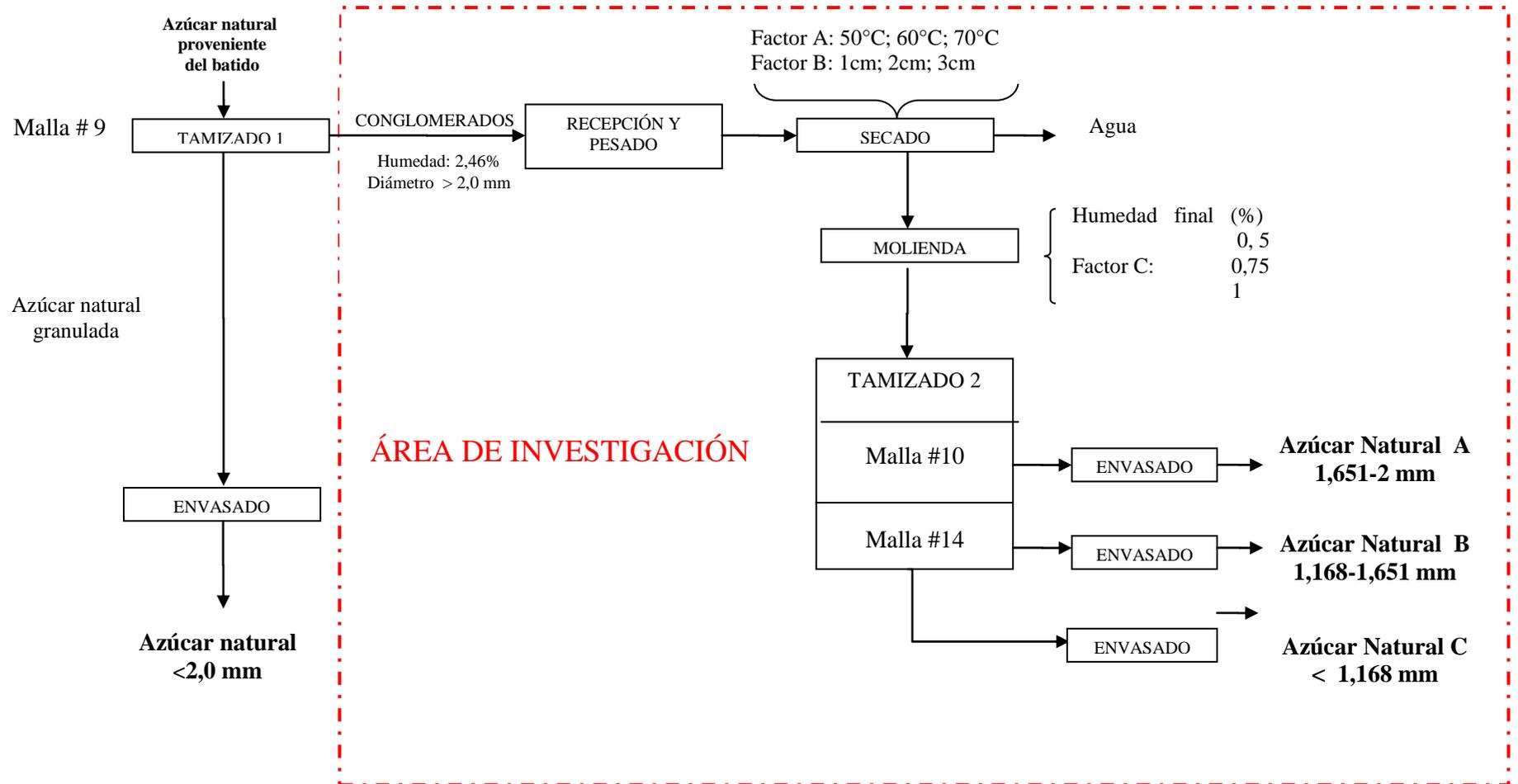
3.5.1.6 Envasado

Para el envasado se utilizaron fundas plásticas tipo ziploc, las cuales brindan una máxima impermeabilidad y poseen las siguientes características: transparentes con cierre hermético dentado 500 g, de capacidad, dimensiones: 19 cm de ancho y 26,5 cm de largo. El azúcar obtenido en el proceso de tamizado 2 se envasó de acuerdo a sus categorías, azúcar natural A, B y C.



Figura 13: Envasado de azúcar natural

3.6 Diagrama de flujo en la obtención de azúcar natural mediante el proceso de secado y desintegración de conglomerados



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Realizada la investigación de acuerdo a la hipótesis planteada: “la temperatura del aire de secado, el espesor de la camada del material y la humedad final óptima requerida, inciden en la calidad y en el rendimiento después de la molienda del azúcar natural”, se llega a disponer la siguiente información la misma que se detalla a continuación de acuerdo a las variables establecidas en el capítulo anterior.

4.1 VARIABLES CUANTITATIVAS EN EL PROCESO DE SECADO

4.1.1 ANÁLISIS DE LA VARIABLE EVAPORACIÓN DE AGUA EN EL PROCESO DE SECADO

La variable evaporación de agua en el proceso de secado se refiere a la masa de agua evaporada, la misma que resulta de la diferencia entre la masa inicial y final de los conglomerados en el proceso de secado para cada uno de los tratamientos y repeticiones; la unidad de esta variable está expresada en gramos y se detalla en el cuadro 9. De igual manera el cuadro 10 se tiene el Análisis de Varianza de esta variable.

Cuadro 9: Evaporación de agua en el proceso de secado expresado en gramos

Trat.	Combinaciones	Repeticiones			Σ	Media
		I	II	III		
T1	T1E1H1	51,00	57,00	59,00	167,00	55,67
T2	T1E1H2	47,00	45,00	42,00	134,00	44,67
T3	T1E1H3	46,00	42,00	39,00	127,00	42,33
T4	T1E2H1	79,00	83,00	81,00	243,00	81,00
T5	T1E2H2	75,00	81,00	80,00	236,00	78,67
T6	T1E2H3	68,00	75,00	66,00	209,00	69,67
T7	T1E3H1	113,00	119,00	120,00	352,00	117,33
T8	T1E3H2	109,00	113,00	116,00	338,00	112,67
T9	T1E3H3	103,00	162,00	161,00	426,00	142,00
T10	T2E1H1	54,00	57,00	60,00	171,00	57,00
T11	T2E1H2	48,00	53,00	39,00	140,00	46,67
T12	T2E1H3	44,00	38,00	60,00	142,00	47,33
T13	T2E2H1	81,00	84,00	78,00	243,00	81,00
T14	T2E2H2	78,00	75,00	80,00	233,00	77,67
T15	T2E2H3	64,00	71,00	72,00	207,00	69,00
T16	T2E3H1	110,00	105,00	114,00	329,00	109,67
T17	T2E3H2	113,00	116,00	120,00	349,00	116,33
T18	T2E3H3	105,00	108,00	114,00	327,00	109,00
T19	T3E1H1	50,00	57,00	54,00	161,00	53,67
T20	T3E1H2	54,00	65,00	60,00	179,00	59,67
T21	T3E1H3	41,00	44,00	51,00	136,00	45,33
T22	T3E2H1	80,00	72,00	74,00	226,00	75,33
T23	T3E2H2	75,00	68,00	65,00	208,00	69,33
T24	T3E2H3	68,00	62,00	59,00	189,00	63,00
T25	T3E3H1	114,00	110,00	114,00	338,00	112,67
T26	T3E3H2	117,00	125,00	111,00	353,00	117,67
T27	T3E3H3	101,00	101,00	105,00	307,00	102,33
					6470,00	79,88

Fuente: Los autores

T= Temperatura del aire de secado

E= Espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas

H= Humedad final del conglomerado de azúcar natural

Cuadro 10: ADEVA de la variable evaporación de agua en el proceso de secado

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T.	
					5%	1%
Total	80	67222,77				
Repeticiones	2	262,62	131,31	2,16 NS	3,26	5,24
Tratamientos	26	63801,43	2453,90	40,40 **	1,79	2,29
T	2	447,14	223,57	3,68 *	3,26	5,24
E	2	58963,43	29481,72	485,34 **	3,26	5,24
H	2	483,95	241,98	3,98 *	3,26	5,24
T x E	4	867,53	216,88	3,57 *	2,63	3,89
T x H	4	935,68	233,92	3,85 *	2,63	3,89
E x H	4	761,83	190,46	3,14 *	2,63	3,89
T x E x H	8	1341,88	167,73	2,76 *	2,21	3,05
Error Exp.	52	3158,72	60,74			

Fuente: Los autores

CV= 9,76%

*: Significativo

**: Altamente significativo

NS: No significativo

El análisis de varianza indica que existe alta significación estadística para tratamientos y también para el factor E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas). Esto demuestra que tanto los tratamientos como el factor espesor de la camada de los conglomerados inciden en la evaporación de agua dentro de la investigación.

Así también se observa significación estadística para el factor T (temperatura del aire de secado), factor H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) y en las interacciones T x E, T x H, E x H y T x E x H.

El análisis de varianza muestra que no existe significación estadística para las repeticiones lo que indica que todas son iguales.

El coeficiente de variación fue de 9,76 % con una media de tratamientos de 79,88 g de agua evaporada.

Se realizó la prueba de Tukey al 5 % para tratamientos como se indica en el cuadro 11 y DMS para los factores T, E y H correspondientes a los cuadros 12, 13 y 14. Además, las gráficas para las interacciones T x E, T x H y E x H que están en las figuras 14, 15 y 16.

Cuadro 11: Prueba TUKEY al 5% para tratamientos de la variable evaporación de agua en el proceso de secado expresado en gramos

TRAT.	COMBINACIONES	MEDIAS	RANGOS
T9	T1E3H3	142,00	a
T26	T3E3H2	117,67	a
T7	T1E3H1	117,33	a
T17	T2E3H2	116,33	b
T8	T1E3H2	112,67	b
T25	T3E3H1	112,67	b
T16	T2E3H1	109,67	b
T18	T2E3H3	109,00	b
T27	T3E3H3	102,33	b
T4	T1E2H1	81,00	c
T13	T2E2H1	81,00	c
T5	T1E2H2	78,67	c
T14	T2E2H2	77,67	c
T22	T3E2H1	75,33	c
T6	T1E2H3	69,67	c
T23	T3E2H2	69,33	c
T15	T2E2H3	69,00	c
T24	T3E2H3	63,00	c
T20	T3E1H2	59,67	c
T10	T2E1H1	57,00	c
T1	T1E1H1	55,67	d
T19	T3E1H1	53,67	d
T12	T2E1H3	47,33	d
T11	T2E1H2	46,67	d
T21	T3E1H3	45,33	d
T2	T1E1H2	44,67	d
T3	T1E1H3	42,33	d

Fuente: Los autores

Realizada la prueba de Tukey se puede observar que existen cuatro rangos diferentes “a”, “b”, “c” y “d” para la variable evaporación de agua en el proceso de secado. En donde las medias han sido ordenadas de mayor a menor porque así lo establece la prueba de Tukey.

De acuerdo a la investigación se ha considerado que los tratamientos que se encuentran en el rango “d” son los mejores por presentar menor cantidad de agua

evaporada en el proceso de secado, generando de esta manera mayor peso en el azúcar natural obtenida al final del proceso. Como manifiestan McCabe, W. et al. (2007) “el secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo”.

Según la prueba de Tukey, la menor cantidad de agua evaporada se tiene en los tratamientos: T1 (50 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 0,5 % de humedad), T19 (70 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 0,5 % de humedad), T12 (60 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 1 % de humedad), T11 (60 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 0,75 % de humedad), T21 (70 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 1 % de humedad), T2 (50 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 0,75 % de humedad), T3 (50 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 1 % de humedad).

En todos estos tratamientos el espesor de 1 cm es común, pero el factor de mayor incidencia es la temperatura comparada con la humedad final; por lo tanto, en este rango al tener tratamientos con niveles de temperatura de 70 °C se deberían descartar en base a lo que plantean Melo, V. y Cuamatzi, O. (2006) “las proteínas pueden ser desnaturalizadas por diferentes formas, ya sea por aumento de calor, irradiación o por contacto por agentes químicos. A una temperatura de 37 °C la proteína conserva su estabilidad; sin embargo, cuando esta temperatura aumenta por encima de 50 °C, la proteína se vuelve inestable”.

En el mismo Análisis de Varianza, el factor temperatura del aire de secado presentó significación estadística, por lo tanto se realizó la prueba de significación DMS que se indica en el cuadro 12.

Cuadro 12: Prueba de significación DMS para el factor T (temperatura del aire de secado)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
T3 (70 °C)	82,667	a
T2 (60 °C)	79,296	a
T1 (50 °C)	77,667	b

Fuente: Los autores

Según los resultados del cuadro 12, se establecen dos rangos: “a” y “b” para el factor T (temperatura del aire de secado) en función de la variable evaporación de agua en el proceso de secado. Dentro de la investigación se consideró como el mejor nivel a T1 (50 °C) que se encuentra en el rango “b” ya que este presentó la menor evaporación de agua con un valor de 77,667 g demostrándose que a una menor temperatura de secado se obtiene menor evaporación de agua de los conglomerados de azúcar natural y viceversa. Mientras que T2 (60 °C) con un valor de 79,296 g y T3 (70 °C) con 82,667 g se encuentran en el rango “a” son estadísticamente iguales porque presentan una mayor evaporación de agua en el proceso de secado.

Al respecto, Maupoey, P. et al. (2001) sostienen “deberemos tener en cuenta las características del producto que estamos secando puesto que muchos alimentos, o mejor dicho muchos de los componentes de éstos, son termolábiles, es decir que se alteran fácilmente por la acción del calor. Este hecho establece en muchos casos el límite superior de temperatura, de manera que la temperatura del aire de secado deberá ser tal que el producto en ningún momento del proceso alcance temperaturas que alteren sus principales atributos de calidad”. Por supuesto aquí se prioriza el valor proteínico del azúcar natural; como se menciona en el anexo 1. Los resultados del análisis de proteína realizado en muestras de azúcar natural a temperaturas: 16, 40 y 60 °C, se puede predecir que a 50 °C es el promedio entre 40 y 60 °C, dando un valor de 0,749 g/100g, valor cercano al del ambiente, por lo tanto, el nivel de 50 °C es adecuado de acuerdo a la prueba de significación DMS del cuadro 12 y del anexo en mención.

También se realiza la prueba DMS para el factor espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas por presentar alta significación estadística, como se indica en el cuadro 13.

Cuadro 13: Prueba de significación DMS para el factor E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
E3 (3 cm)	115,519	a
E2 (2 cm)	81,852	b
E1 (1 cm)	50,259	c

Fuente: Los autores

Según los resultados del cuadro 13, se establecen tres rangos: “a” “b” y “c” para el factor E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) en función de la variable evaporación de agua en el proceso de secado. El nivel de espesor del producto que alcanzó menor evaporación de agua fue E1(1 cm) con 50,259 g el cual se ubica en el rango “c”, siendo este el mejor nivel del factor; es decir, que la evaporación de agua en el proceso de secado del azúcar natural depende del espesor de la camada del azúcar en las bandejas. Al respecto Maupoey, P. et al. (2001) indican: “en cuanto a las dimensiones del producto, cuando las características de las partículas sólidas sean suficientemente uniformes y permitan la determinación de su superficie, se determina la variación de la velocidad de secado con el tamaño de las mismas. Pero puede ocurrir que las partículas no cumplan con tales condiciones y entonces la velocidad de secado se relaciona con la altura del lecho del material”. En el mismo cuadro se observa que el nivel E2 (2cm) con evaporación de agua de 81,852 g se encuentra en el rango “b”, y el nivel E3 (3cm) con una evaporación de agua de 115,519 g se encuentra en el rango “a”.

Continuando con el Análisis de Varianza de la variable evaporación de agua en el proceso de secado se analizó el factor humedad final del conglomerado de azúcar natural mediante la prueba de significación DMS como se indica en el cuadro 14.

Cuadro 14: Prueba de significación DMS para el factor H (humedad final del conglomerado de azúcar natural)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
H1 (0,5 %)	82,593	a
H2 (0,75 %)	80,370	a
H3 (1 %)	76,667	b

Fuente: Los autores

De esta prueba se obtiene dos rangos para el factor H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) “a” y “b” en función de la variable evaporación de agua en el proceso de secado. Siendo el H3 (1% de humedad) el mejor nivel por presentar menor evaporación de agua, con un valor promedio de 76,667 g es decir que la evaporación de agua en el proceso de secado depende de la humedad final del conglomerado del azúcar natural. En el mismo cuadro se observa que H2 (0,75%) con un valor de 80,370 g y H1 (0,5%) con 82,593 g se encuentran en el rango “a” ya que estadísticamente son iguales y presentan una mayor evaporación de agua en el proceso de secado.

Para las interacciones hacemos usos de gráficos en donde la combinación de factores entre ellos han sido estadísticamente significativos, siendo necesario analizar en forma global el gráfico de los factores temperatura del aire de secado y espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural, en función de la variable evaporación de agua en el proceso de secado, como se indica en la siguiente figura.

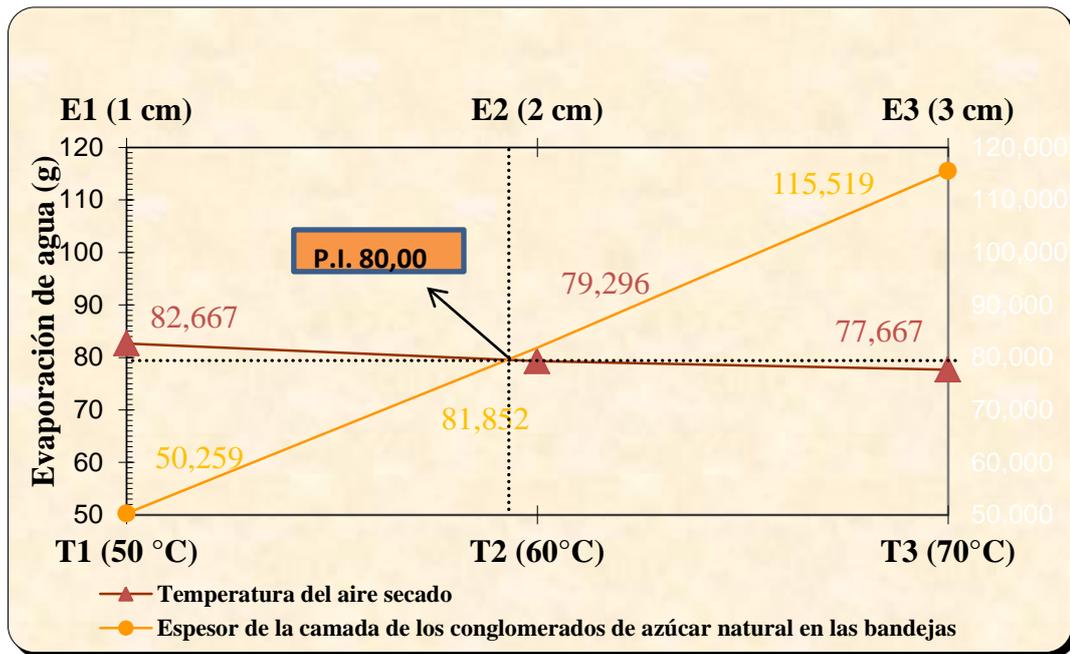


Figura 14: Interacción de los factores: T (temperatura del aire secado) y E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) para la variable evaporación de agua en el proceso de secado

En el figura 14 se observa que existe una relación directamente proporcional entre los factores temperatura del aire de secado y espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas, con respecto a la evaporación de agua; es decir, a menor temperatura y menor espesor corresponde una menor evaporación de agua de los conglomerados de azúcar natural y viceversa.

Además, se observa que la intersección de estos factores tiene un punto en común que corresponde a la temperatura de secado de los conglomerados de 59,2 °C y un espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas de 1,92 cm con una masa de agua evaporada de 80,00 g.

En la figura 15 se representa el gráfico de los factores temperatura del aire de secado y humedad final del conglomerado del azúcar natural, en función de la variable evaporación de agua en el proceso de secado.

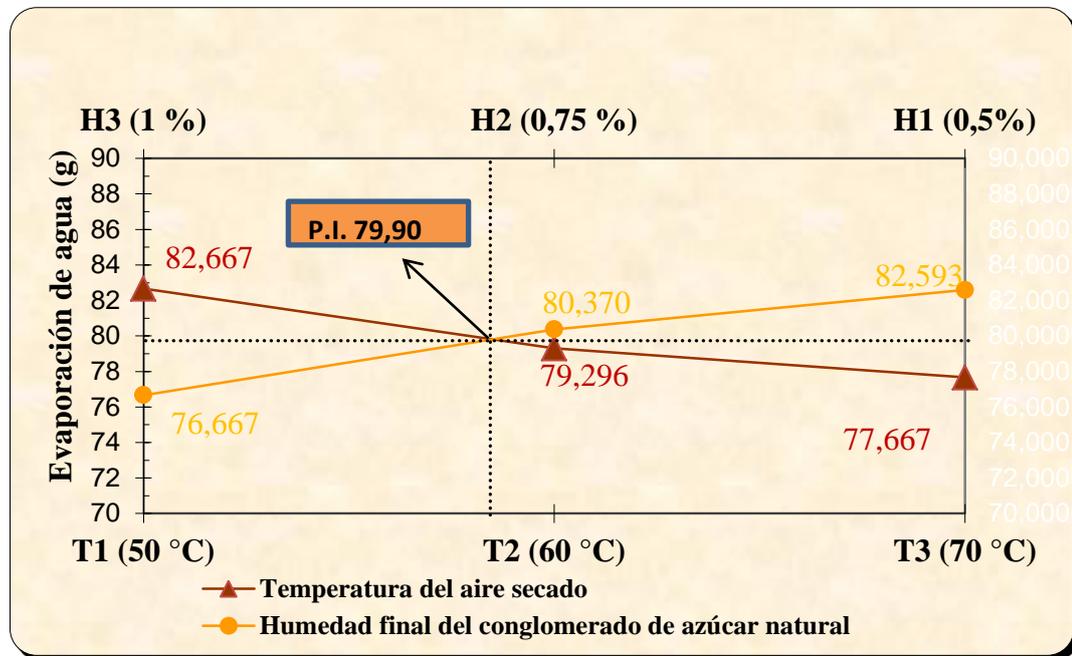


Figura 15: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable evaporación de agua en el proceso de secado

Gráficamente se observa que la temperatura de secado es directamente proporcional con la evaporación de agua del material; es decir, a menor nivel de temperatura menor es la evaporación de agua. En cuanto a la humedad final sucede lo contrario; es decir, mientras más alto el valor de la humedad menor es la evaporación de agua.

En la intersección de estos factores el punto en común corresponde a la temperatura de secado de 58 °C con una humedad final del conglomerado de azúcar de 0,78 % y una evaporación de agua de 79,90 g.

Finalmente se presenta la interacción de los factores espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas y humedad final del conglomerado de azúcar natural, en función de la variable evaporación de agua en el proceso de secado.

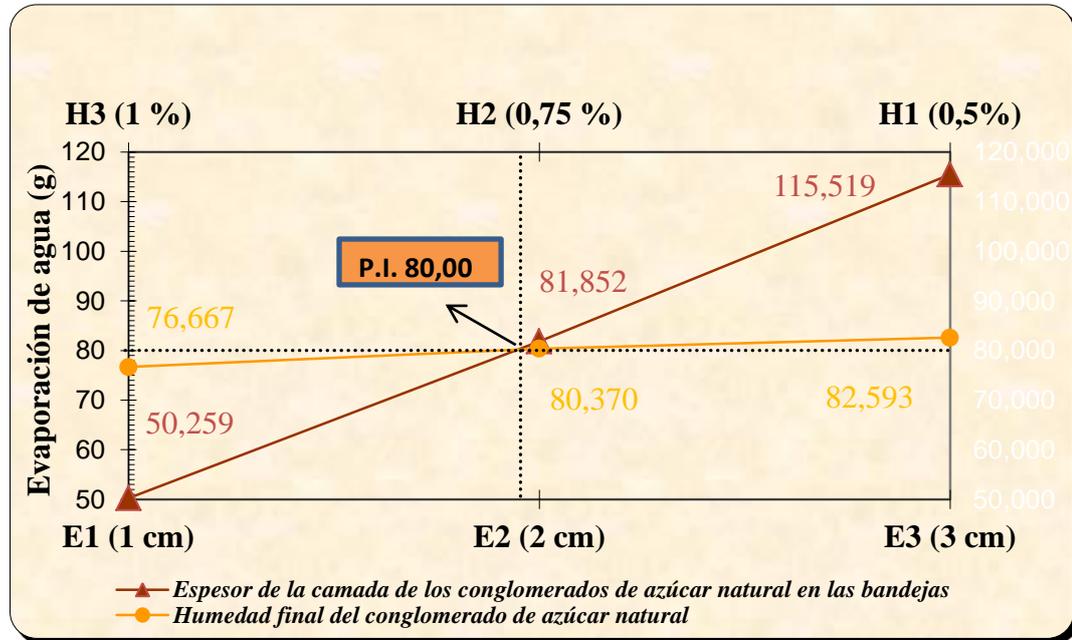


Figura 16: Interacción de los factores: E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) y H (humedad final del conglomerado del azúcar natural) para la variable evaporación de agua en el proceso de secado

En el gráfico se observa que la humedad es inversamente proporcional con la evaporación de agua; es decir, a mayor humedad final corresponde menor evaporación de agua en los conglomerados de azúcar natural y viceversa; en cambio, que el espesor de la camada del material es directamente proporcional con la evaporación de agua; es decir, a menor espesor corresponde menor evaporación de agua en los conglomerados de azúcar natural y viceversa.

En la intersección de estos factores tienen un punto en común que corresponde al espesor de la camada del azúcar en las bandejas de 1,95 cm y una humedad final del conglomerado de azúcar de 0,77 % con una evaporación de agua de 80,00 g.

De igual manera, los datos obtenidos en la prueba de Tukey se representan en la figura 17, sobre la variable evaporación de agua en el proceso de secado, para analizar el comportamiento que presentan los tratamientos.

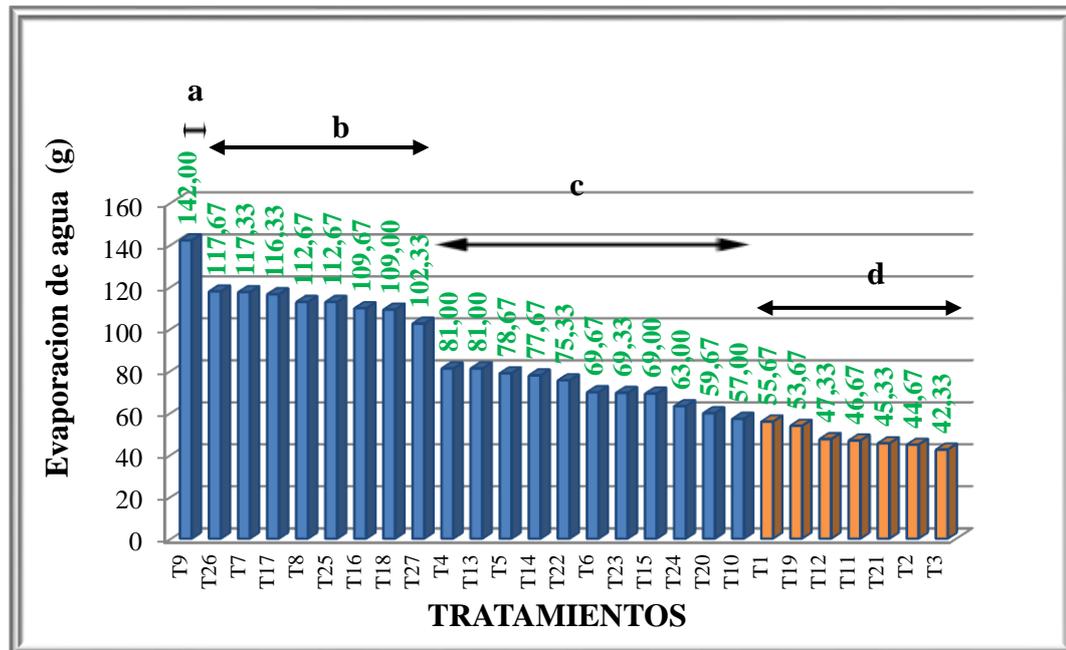


Figura 17: Representación gráfica de la evaporación de agua en el proceso de secado

Aquí se observa que los valores promedios de la masa de agua evaporada están en función de los rangos “a”, “b”, “c” y “d”. Como el objetivo de esta investigación es conseguir mayor masa de producto final, los tratamientos que cumplen estadísticamente con esta premisa son los del rango “d”; sin embargo, se puede observar en la figura que el tratamiento T19 y T21 se descartan por su nivel de temperatura, y la tendencia más pareja dentro de este rango son los tratamientos T1, T12, T11, T2 y T3 con una media de 47,33 g de masa de agua evaporada.

Al respecto McCabe, W. et al. (2007) señalan: “el secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido”, Geankoplis, Ch. (1986) indica: “los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo de 10 % en peso. Sin embargo,

generalmente es necesario reducir este contenido por debajo del 5 % en peso, para preservar el sabor y su valor nutritivo”.

Al evaporar una menor cantidad de agua se está favoreciendo a que el azúcar natural no presente alteraciones en su textura como lo dicen, Aguado, J. y Rodríguez, F. (2002) “las alteraciones de la textura en un alimento pueden ser causadas por el secado convectivo a altas temperaturas y prolongados tiempos. Una baja actividad de agua por efectos del secado puede también ayudar a la desorción de las sustancias volátiles responsables del aroma de un determinado producto”, razón por la cual no es conveniente evaporar cantidades altas de agua en el azúcar natural.

4.1.2 ANÁLISIS DE LA VARIABLE TIEMPO DE SECADO

Los datos de esta variable se obtuvieron desde el ingreso de las muestras al secador de bandejas con su humedad inicial, hasta que cada tratamiento llegue a la humedad final requerida de 0,5 %, 0,75 % y 1 % según las combinaciones establecidas; la unidad de medida de esta variable fue horas. En el cuadro 15 se tabulan los datos del tiempo de secado. Y en cuadro 16 se tiene el Análisis de Varianza de esta variable.

Cuadro 15: Tiempo de secado expresado en horas

Trat.	Combinaciones	Repeticiones			Σ	Media
		I	II	III		
T1	T1E1H1	2,33	2,38	2,43	7,14	2,38
T2	T1E1H2	3,17	3,12	3,08	9,37	3,12
T3	T1E1H3	3,67	3,73	3,73	11,13	3,71
T4	T1E2H1	2,08	2,18	2,17	6,43	2,14
T5	T1E2H2	2,62	2,53	2,55	7,70	2,57
T6	T1E2H3	2,95	3,00	2,92	8,87	2,96
T7	T1E3H1	3,13	3,30	3,27	9,70	3,23
T8	T1E3H2	3,85	3,92	3,90	11,67	3,89
T9	T1E3H3	4,40	4,50	4,50	13,40	4,47
T10	T2E1H1	1,37	1,48	1,47	4,32	1,84
T11	T2E1H2	1,03	1,07	0,98	3,08	1,03
T12	T2E1H3	2,17	2,07	2,05	6,29	2,10
T13	T2E2H1	1,30	1,40	1,38	4,08	1,36
T14	T2E2H2	1,68	1,63	1,62	4,93	1,64
T15	T2E2H3	1,90	1,97	1,87	5,74	1,91
T16	T2E3H1	2,30	2,20	2,25	6,75	2,25
T17	T2E3H2	2,75	2,60	2,70	8,05	2,68
T18	T2E3H3	3,03	3,17	3,13	9,33	3,11
T19	T3E1H1	1,50	1,41	1,45	4,36	1,15
T20	T3E1H2	1,03	1,15	1,12	3,30	1,10
T21	T3E1H3	0,83	0,87	0,82	2,52	0,84
T22	T3E2H1	0,95	0,87	0,92	2,74	0,91
T23	T3E2H2	1,13	1,08	1,07	3,28	1,09
T24	T3E2H3	1,32	1,22	1,23	3,77	1,26
T25	T3E3H1	1,33	1,48	1,45	4,26	1,42
T26	T3E3H2	1,70	1,65	1,85	5,20	1,73
T27	T3E3H3	2,05	2,12	2,13	6,30	2,10
					173,71	2,14

Fuente: Los autores

T= Temperatura del aire de secado

E= Espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas

H= Humedad final del conglomerado de azúcar natural

Cuadro 16: ADEVA de la variable tiempo de secado

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T.	
					5 %	1 %
Total	80	75,79				
Repeticiones	2	0,01	0,003	0,97 NS	3,26	5,24
Tratam.	26	75,61	2,908	904,31 **	1,79	2,29
T	2	47,29	23,643	7351,87 **	3,26	5,24
E	2	15,89	7,946	2470,70 **	3,26	5,24
H	2	9,37	4,684	1456,36 **	3,26	5,24
T x E	4	1,74	0,434	134,95 **	2,63	3,89
T x H	4	0,78	0,195	60,63 **	2,63	3,89
E x H	4	0,49	0,122	37,86 **	2,63	3,89
T x E x H	8	0,07	0,008	2,55 *	2,21	3,05
Error Exp.	52	0,17	0,003			

Fuente: Los autores

CV= 2,64 %

*: Significativo

**: Altamente significativo

NS: No significativo

El análisis de varianza indica que existe alta significación estadística para tratamientos, factores: T (temperatura del aire secado), E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural), e interacciones T x E, T x H y E x H y significación estadística para la interacción T x E x H.

El análisis de varianza muestra que no existe significación estadística para las repeticiones lo que indica que todas son iguales.

El coeficiente de variación fue de 2,64 % con una media de tratamientos de 2,14 horas de secado.

Se realizó la prueba de Tukey al 5 % para tratamientos como se indica en el cuadro 17 y DMS para los factores T, E y H correspondientes a los cuadros 18, 19 y 20. Además las gráficas para las interacciones T x E, T x H y E x H que están en las figuras 18, 19 y 20.

Cuadro 17: Prueba TUKEY al 5 % para tratamientos de la variable tiempo de secado expresado en horas

TRAT.	COMBINACIONES	MEDIAS	RANGOS
T7	T1E3H1	4,47	a
T8	T1E3H2	3,89	b
T3	T1E1H3	3,71	b
T9	T1E3H3	3,23	c
T2	T1E1H2	3,12	c
T18	T2E3H3	3,11	c
T6	T1E2H3	2,96	d
T17	T2E3H2	2,68	e
T5	T1E2H2	2,57	e
T1	T1E1H1	2,38	f
T16	T2E3H1	2,25	f
T4	T1E2H1	2,14	g
T12	T2E1H3	2,10	g
T27	T3E3H3	2,10	g
T15	T2E2H3	1,91	h
T26	T3E3H2	1,73	h
T19	T3E1H1	1,64	i
T14	T2E2H2	1,45	j
T10	T2E1H1	1,44	j
T25	T3E3H1	1,42	j
T13	T2E2H1	1,36	j
T24	T3E2H3	1,26	k
T20	T3E1H2	1,10	k
T23	T3E2H2	1,09	k
T11	T2E1H2	1,03	l
T22	T3E2H1	0,91	l
T21	T3E1H3	0,84	m

Fuente: Los autores

Realizada la prueba de Tukey se puede observar que existen 13 rangos diferentes para la variable tiempo de secado; en donde los tratamientos han sido ordenados en forma descendente de acuerdo a los valores medios. Los rangos van desde el “a” hasta el “m”.

De acuerdo a lo que sostiene Maupoey, P. et al. (2001) “una elevada temperatura del aire de secado puede producir el deterioro de ciertos compuestos del producto (proteínas, vitaminas y otros), y la aparición de colores y/o aromas extraños”; por tal motivo al escoger la temperatura a la que se debe llevar el secado del material, no solo debe reducir costos de energía sino también que en ningún momento del proceso, la temperatura del aire de secado altere los principales atributos de calidad.

Los mismos autores mencionan que “es lógico pensar que a mayor temperatura del aire de secado mayor capacidad tendrá este para eliminar agua del producto y más rápido será el proceso puesto que las fuerzas impulsoras serán mayores”. Por lo tanto, el mejor tratamiento no será aquel que tenga menor tiempo de duración del secado, sino aquel que mantenga en cierta forma el tiempo adecuado para conservar el valor proteico del azúcar natural siendo entonces los tratamientos del rango “g”, los que se ajustan a los requerimientos de este parámetro en la obtención de azúcar natural.

Además, para fundamentar estas premisas se realizó un análisis de proteína, en el laboratorio de uso múltiple de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte, como se indica en el anexo 1 para determinar qué nivel de temperatura es adecuado para evitar la desnaturalización de la proteína del azúcar natural. Los resultados de la proteína a temperatura ambiente fueron de 0,762 g/100g, a 40 °C el valor de la proteína fue 0,758 g/100g y a 60 °C el valor de la proteína fue de 0,740 g/100g. (Datos en anexo 1). Por tal motivo se eligió la temperatura del aire de secado de 60 °C como un nivel máximo de este factor, concordando con lo que dice Bello, J. (2000) “los carbohidratos responden a la acción del calor según se trate de

polisacáridos o simplemente azúcares. En relación con los polisacáridos muchos alimentos de origen vegetal contienen almidón, que ofrece un comportamiento peculiar frente al tratamiento térmico. A partir de los 60 °C el calor lo va convirtiendo en un engrudo, de tal modo que se hincha con el agua fijada por su estructura química; en consecuencia se produce un incremento de la viscosidad”. Según Melo, V. y Cuamatzi, O. (2006) “el aumento inusual de la temperatura provoca mutación en la proteína, y de esta forma una pérdida de su estabilidad y actividad. A una temperatura normal de hasta 37 °C la proteína conserva su estabilidad; sin embargo, cuando esta temperatura aumenta por encima de los 50 °C la proteína se vuelve inestable”. Concomitante a la temperatura va el tiempo de manera inversa; por lo tanto, el rango que se ajusta a estos requerimientos es el “g”.

Es oportuno indicar que al utilizar el secador de bandejas el aire caliente circula sobre el material ya que es apto para sustancias plásticas, granulares como los conglomerados de azúcar en donde un secado rápido origina estructuras superficiales cerradas. En base a este fundamento se eligió como mejores tratamientos a los que se encuentran en el rango “g” siendo estos: T4 (50 °C de temperatura, 2 cm de espesor, 0,5 % de humedad), T12 (60 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 1 % de humedad) y T27 (70 °C de temperatura, 3 cm de espesor, 1 % de humedad). Es curioso que sin embargo de tener una temperatura de 70 °C el tiempo de secado se mantiene, debido a su espesor de 3 cm. Se asume que todos estos tratamientos del rango establecido presentan un contenido de proteína de 0,740 g/100g, valor que se encuentra dentro del rango permitido en la Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria NTE INEN 2 332:2002, que para azúcar natural, siendo el contenido mínimo de proteína 0,5 %.

Siguiendo el Análisis de Varianza, el factor temperatura del aire de secado al presentar alta significación estadística, se realizó la prueba de significación DMS que se indica en el cuadro 18.

Cuadro 18: Prueba de significación DMS para el factor T (temperatura del aire de secado)

NIVEL	MEDIAS	RANGO
T1 (50 °C)	3,163	a
T2 (60 °C)	1,926	b
T3 (70 °C)	1,344	c

Fuente: Los autores

Según los resultados del cuadro 18, se establecen tres rangos: “a” “b” y “c” para el factor T (temperatura del aire de secado) en función de la variable tiempo de secado. En donde el nivel T3 (70 °C) que se encuentra en el rango “c” presentó el menor tiempo de secado de los conglomerados de azúcar natural con un tiempo de 1,344 horas; sin embargo, este nivel de temperatura no se tomó en cuenta porque afecta la calidad del azúcar natural, por las razones anotadas anteriormente. El nivel T2 (60 °C) con un tiempo total de secado de 1,926 horas se encuentra en el rango “b” y es considerado como el mejor nivel para evitar la desnaturalización de las proteínas; finalmente el nivel T1 (50 °C) con un tiempo de secado de 3,163 horas se encuentra en el rango “a”. De la prueba se demuestra que la temperatura de secado es inversamente proporcional al tiempo, ósea a menor temperatura el tiempo de secado es mayor y viceversa.

Es importante advertir que durante este proceso, el producto va adquiriendo mayor temperatura a medida que la velocidad de secado avanza, que para el caso de la empresa Gardenia es pertinente controlar que la temperatura del producto y evitar que llegue al nivel de la temperatura del aire de secado, y mantener la humedad final en valores próximos a la humedad crítica, aunque el tiempo no sea el menor.

En cuanto al factor espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas que presentó alta significación estadística en el Análisis de Varianza del tiempo de secado, se realizó la prueba de significación DMS, como se indica en el cuadro 19.

Cuadro 19: Prueba de significación DMS para el factor E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas)

NIVEL	MEDIAS	RANGO
E3 (3 cm)	2,765	a
E2 (2 cm)	1,999	b
E1 (1 cm)	1,989	c

Fuente: Los autores

Según los resultados del cuadro 19, se establecen tres rangos: “a” “b” y “c” para el factor E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) en función de la variable tiempo de secado. El nivel de espesor del producto que obtuvo menor tiempo de secado fue E1 (1 cm) el mismo que se encuentra en el rango “c” con un tiempo de 1,989 horas, demostrándose que el tiempo de secado depende del espesor de la camada del azúcar natural en las bandejas. En el mismo cuadro se observa que el nivel E2 (2cm) con un tiempo de secado de 1,999 horas se encuentra en el rango “b”, y el nivel E3 (3cm) con un tiempo de secado de 2,765 horas se encuentra en el rango “a” de estos el mejor nivel es el E2 (2cm).

Es interesante indicar que el espesor del material siendo un factor de investigación, los niveles E1 (1 cm) y E2 (2cm) tienen tiempo de secado parecidos y E3 (3cm) un tiempo mayor. Esta relación guarda cierta proporcionalidad, pero para efectos de elaborar azúcar natural con alto valor nutritivo, el factor E1 (1cm de espesor) a elevada temperatura, corre el riesgo de perder sus características organolépticas. Maupoey, P. et al. (2001) mencionan al respecto: “en cuanto a las dimensiones del producto, cuando las características de las partículas sólidas sean suficientemente uniformes y permitan la determinación de su superficie, se determina la variación de la velocidad de secado con el tamaño de las mismas. Pero puede ocurrir que las partículas no cumplan con tales condiciones y entonces la velocidad de secado se relaciona con la altura del lecho del material”.

Para el factor humedad final del conglomerado de azúcar natural que presentó alta significación estadística en el Análisis de Varianza del tiempo de secado, se realizó la prueba de significación DMS como se indica en el cuadro 20.

Cuadro 20: Prueba de significación DMS para el factor H (humedad final del conglomerado de azúcar natural)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
H1 (0,5 %)	2,357	a
H2 (0,75 %)	2,297	b
H3 (1 %)	1,979	c

Fuente: Los autores

Resultado de esta prueba se tiene tres rangos: “a” “b” y “c”; el nivel H3 (1 % de humedad) se determinó como el mejor nivel de este factor con un valor promedio de 1,979 horas. Se puede decir que el tiempo de secado depende de la humedad final del conglomerado de azúcar natural. Los otros niveles H2 (0,75 % de humedad) y H1 (0,5 % de humedad) están dentro de los rangos “b” y “a” con tiempos medios de 2,297 y 2,357 horas, respectivamente.

Como en el secado se separa la humedad de la superficie y la humedad del interior del producto, el nivel H3 (1 % de humedad) al ser mayor, tiene la evaporación normal sobre la superficie y la difusión del líquido desde el interior se renueva continuamente, lo cual mantiene alejado la temperatura de la superficie del material con respecto a la temperatura del aire caliente. Con la finalidad de evitar la desnaturalización de la proteína conviene operar el secado hasta llegar a valores de la humedad crítica, valor que es superior al nivel H3 (1 % de humedad).

Con los otros niveles de este factor puede presentarse el fenómeno de exposición del material directa al aire caliente, teniendo por supuesto tiempos muy cortos llegando a separar el agua estructural del azúcar y aumentar el nivel higroscópico.

En la figura 18 se representa la interacción de los factores temperatura del aire de secado y espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural.

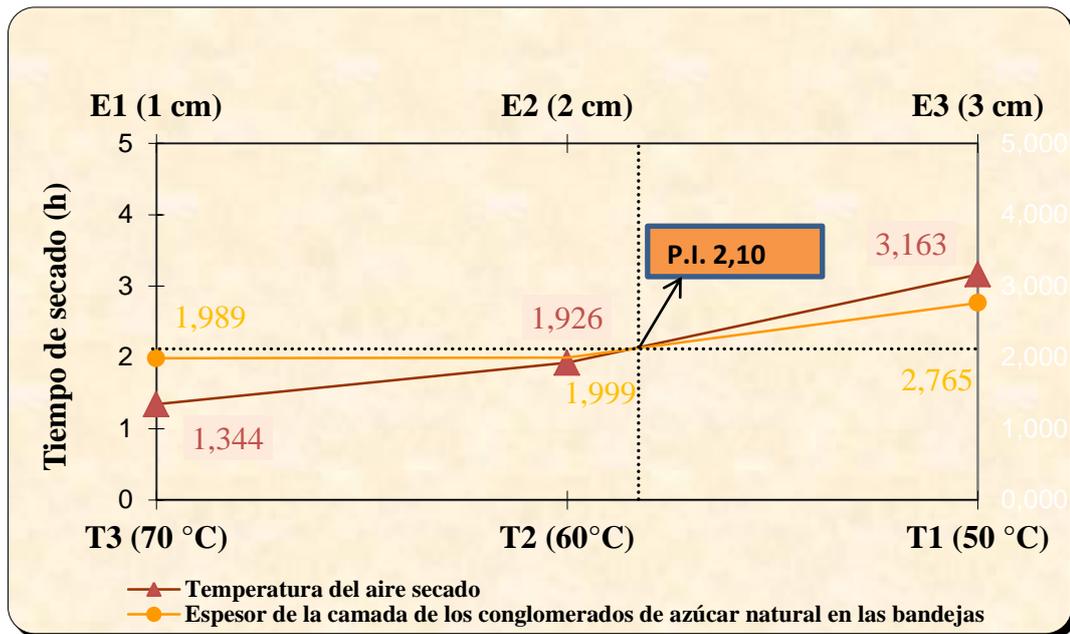


Figura 18: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) para la variable tiempo de secado

Gráficamente se observa que la temperatura es inversamente proporcional con el tiempo de secado, teniendo a mayor temperatura del aire menor tiempo de secado y viceversa; en cambio, que el espesor del material es directamente proporcional con el tiempo; es decir, a menor espesor del material menor tiempo de secado y viceversa.

Además, se observa la intersección de los factores con un punto en común que define la temperatura de secado de 58,2 °C, espesor de la camada del azúcar natural en las bandejas de 2,18 cm con un tiempo óptimo de 2,10 horas.

La interacción de los factores temperatura del aire seco y humedad final del conglomerado de azúcar natural, en función de la variable tiempo de secado se representa en la figura 19.

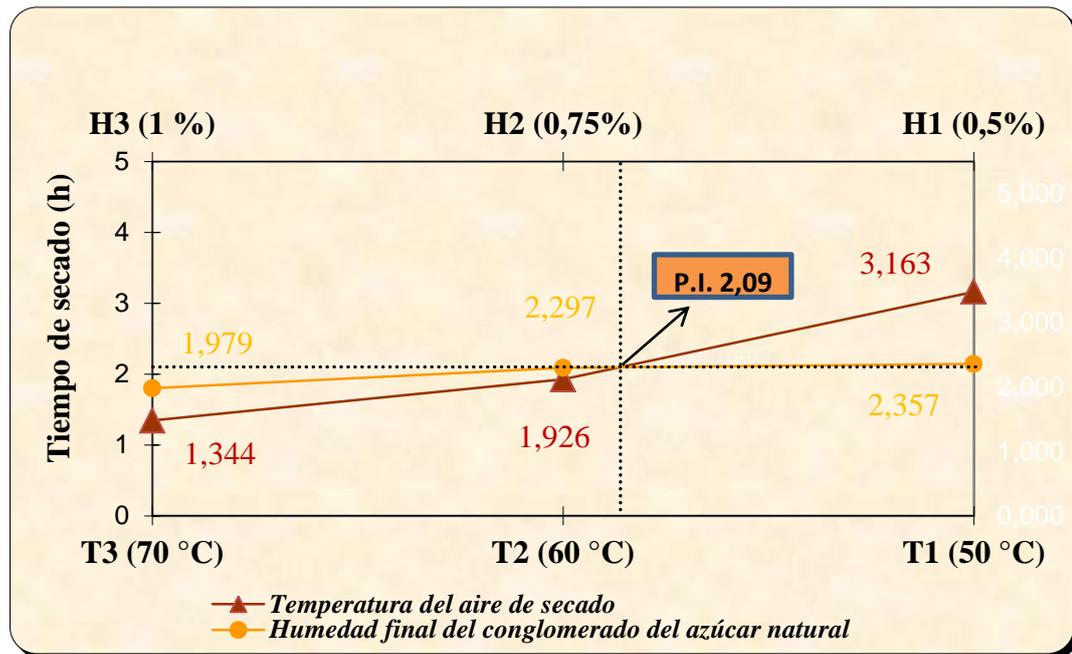


Figura 19: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable tiempo de secado

Al observar el gráfico se encuentra una relación inversamente proporcional entre la temperatura de secado y la humedad final del conglomerado de azúcar natural, con respecto al tiempo de secado; teniendo, a mayor temperatura y mayor humedad final un menor tiempo de secado de los conglomerados de azúcar natural y viceversa.

Adicionalmente, se observa la intersección de los factores con un punto en común que corresponde a la temperatura de secado de 58,7 °C y una humedad final del conglomerado de azúcar de 0,71 % para un tiempo óptimo de secado de 2,09 horas, que se relaciona con lo que menciona Orrego, C. (2003) “para el caso de pardeamiento enzimático las energías de activación para la formación de los compuestos de Amadori decrecen con el incremento de actividad de agua y se vuelven muy independientes de la temperatura para valores de la actividad superiores a 0,5. Este la justificación para usar bajas temperaturas en las etapas finales del secado”.

En la figura 20 se representa la interacción de los factores espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas y humedad final del conglomerado de azúcar natural, en función de la variable tiempo de secado.

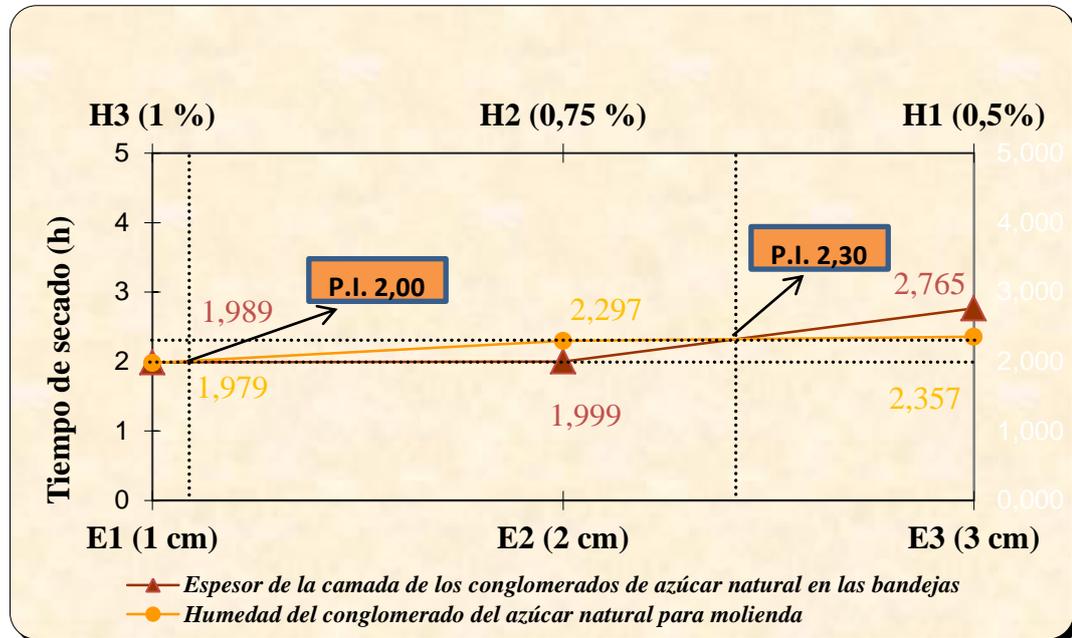


Figura 20: Interacción de los factores: E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable tiempo de secado

En un sólido poroso la mayor parte del agua evaporada en el período de velocidad constante proviene del interior del mismo, de acuerdo al mecanismo de difusión del líquido, jugando un papel importante el espesor de los conglomerados, a mayor espesor la difusión es mayor y mantiene la temperatura del sólido muy por debajo de la temperatura del aire de secado, con un tiempo mayor. Como el secado se realiza por una sola cara al considerar el espesor del conglomerado con el nivel E1 (1 cm de espesor) con H1 (0,5 % de humedad), por efecto de la transferencia de calor del aire caliente, la difusión del líquido será menor lo que evidenciaría que la temperatura de la superficie se igualaría tempranamente a la temperatura del aire, lo que ocasionaría el deterioro del producto.

Así mismo, se aprecia que existen dos intersecciones para estos factores, la primera de ellas presenta un espesor de la camada de los conglomerados en las bandejas de 1,10 cm y una humedad final del conglomerado de azúcar 0,97 % dando un tiempo óptimo de secado de 2,00 horas, la segunda intersección presenta un espesor de la camada de los conglomerados en las bandejas de 2,47 cm y una humedad final del conglomerado de azúcar de 0,62 % con un tiempo óptimo de secado de 2,30 horas; de aquí se deduce que el tiempo de secado de los conglomerados puede hacer uso en estos rangos al igual que los factores.

De acuerdo al ordenamiento de Tukey se representa el gráfico de la variable tiempo de secado en función de los tratamientos como se indica en la figura 21.

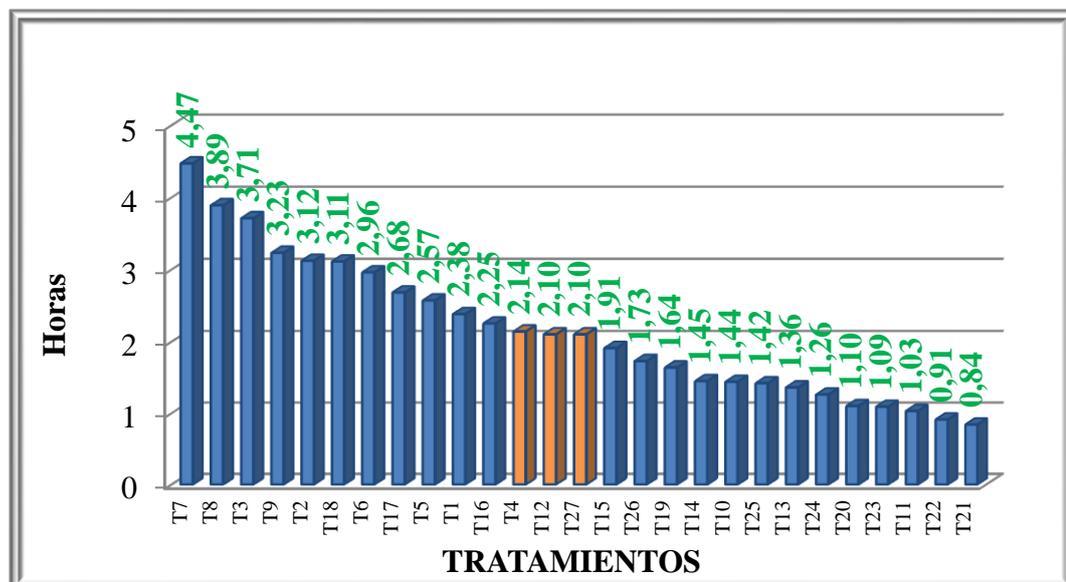


Figura 21: Representación gráfica del tiempo de secado

En la figura 21 se observa en forma general que los tratamientos al ser altamente significativos presentan valores de tiempo de secado muy variables, asemejando la forma de una línea semi elíptica.

Al secar los conglomerados de azúcar natural no sólo se busca que el tiempo de secado sea para acelerar el proceso o para reducir costos de energía, sino que fundamentalmente el material debe ser uniforme sin alteraciones degradativas que

afecten su calidad; y esto se fundamenta con lo que sostiene Orrego, C. (2003) “es importante considerar la influencia que el secado tiene en la calidad de los productos porque propicia reacciones degradativas que afectan su valor nutricional, textura, color, olor y sabor”.

Por otro lado frente al análisis de esta variable, Vian, A. y Ocón, J. (1979) indican: “las sustancias termo sensibles condicionan la temperatura de operación, además del tiempo de contacto del fluido con el sólido a tratar. Se requieren temperaturas y/o tiempos de contacto reducidos con el fin de no degradar las características y propiedades del sólido”; por lo tanto, lo que se percibe es que el tiempo de secado sea una función de estas premisas teniendo así que los tratamientos T4, T12 y T27 están dentro de estas expectativas y que están dentro del rango “g”. El tiempo total promedio de estos tratamientos es de 2 horas con un nivel de temperatura de 56,7 °C, espesor del material de 2 cm y humedad final de 0,83 % que coinciden con las pruebas de significación y las interacciones.

4.1.3 CURVAS DE HUMEDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD DE SECADO VS HUMEDAD, PARA LOS CONGLOMERADOS DE AZÚCAR NATURAL

Para la determinación analítica de humedades, velocidades y tiempos se realizó el secado en muestras de azúcar natural con espesor de 1 cm, para ello se pesó: 2,2 kg de conglomerados, y cada 30 minutos se tomaron muestras para determinar la humedad mediante el humidímetro; el proceso tomó un tiempo de secado promedio de 3 horas a temperatura constante de 60 °C, cuyos resultados se muestran en el cuadro 21.

Cuadro 21: Tiempo, Humedad y velocidad de secado de los conglomerados de azúcar natural para la unidad experimental de 1 cm de espesor

Tiempo (h)	Humedad (%)	Peso (kg)	Humedad (kgH ₂ O/kgss)	Humedad media (kgH ₂ O/kgss)	Velocidad de secado W (kgH ₂ O /hm ²)
0	2,46	2,2000	0,0234	0,0210	0,0702
0,5	1,98	2,1894	0,0185	0,0160	0,0717
1	1,49	2,1787	0,0135	0,0113	0,0631
1,5	1,05	2,1691	0,0091	0,0075	0,0459
2	0,73	2,1622	0,0059	0,0050	0,0258
2,5	0,56	2,1585	0,0041	0,0038	0,0086
3	0,5	2,1572	0,0035		

Fuente: Los autores

De acuerdo a la ecuación:
$$w = \frac{S}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{\Delta t} \right)$$

Dónde:

S = 2,1496 kgss, peso del sólido seco. Este valor se obtuvo de la diferencia entre la masa inicial y el promedio de la evaporación de agua a 60 °C y 1 cm de espesor durante el proceso de secado.

A = 0,3 m², área de contacto con el aire caliente.

Se construyeron las curvas de humedad del sólido (kgH₂O/kgss) vs tiempo (h) y velocidad de secado (kgH₂O /h m²) vs humedad media del sólido (kgH₂O/kgss).

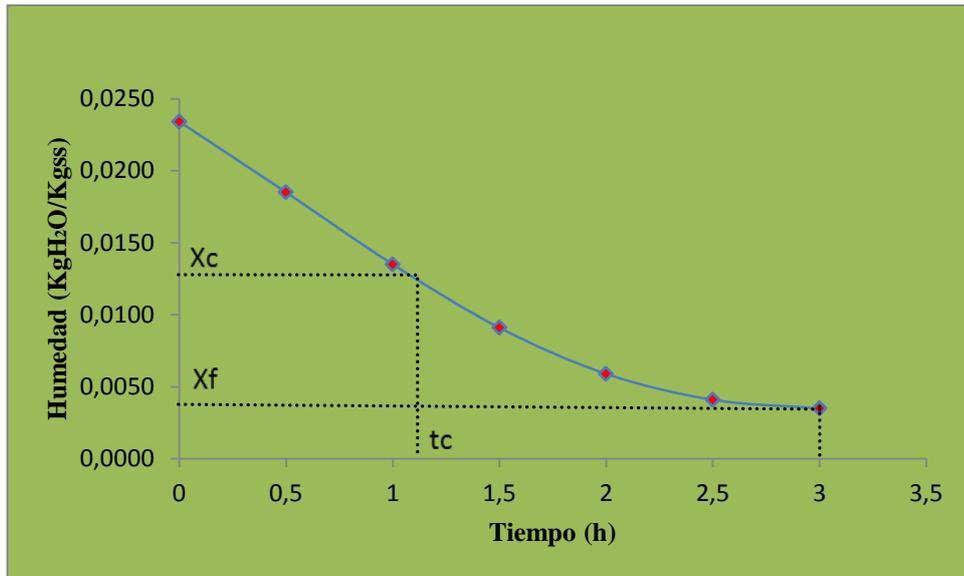


Figura 22: Curva de secado: Humedad de conglomerados de azúcar natural vs tiempo a 60 °C

En la figura 22 se observa que parte de la curva tiene un comportamiento lineal hasta una humedad crítica ($X_c = 0,0134 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$) y un tiempo de 1,20 horas que corresponde al período antecrítico. En el período poscrítico se observa un comportamiento no lineal hasta una humedad final ($X_f = 0,0042 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$) en un tiempo de 1,80 horas, dando un tiempo total de 3,00 horas de secado.

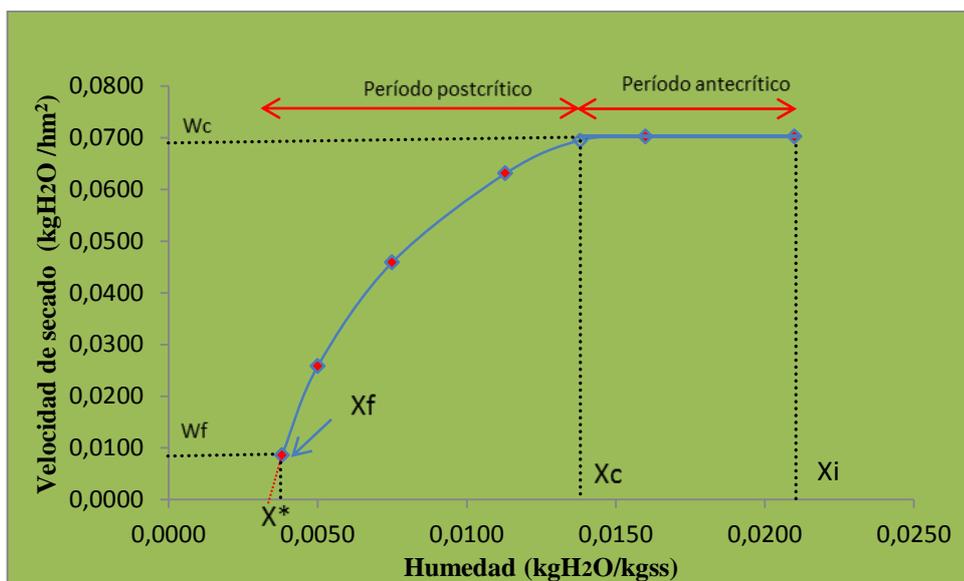


Figura 23: Curva de velocidad de secado de conglomerados de azúcar natural

Gráficamente se visualizan los dos períodos de secado. El antecrítico que va desde una humedad inicial ($X_i = 0,0210 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$) hasta la humedad crítica ($X_c = 0,0138 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$) con una velocidad de secado promedio de ($W_c = 0,0695 \text{ kgH}_2\text{O/ hm}^2$); y el período poscrítico que va desde la humedad crítica ($X_c = 0,0138 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$) hasta una humedad final de ($X_f = 0,0038 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$) y una velocidad de secado final de ($W_f = 0,0086 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$) y por extrapolación gráfica se tiene una humedad equilibrio de ($X^* = 0,0036 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$).

4.2 VARIABLES CUANTITATIVAS EN EL PROCESO DE MOLIENDA

4.2.1 ANÁLISIS DE LA VARIABLE RETENCIÓN DE MASA EN EL PROCESO DE MOLIENDA

La variable retención de masa en el proceso de molienda se refiere a la masa adherida en las paredes internas del molino, la misma que resulta por diferencia entre la masa inicial y final de los conglomerados de cada uno de los tratamientos y repeticiones; la unidad de esta variable está expresada en gramos y se detalla en el cuadro 22.

Cuadro 22: Retención de masa en el proceso de molienda expresado en gramos

N°	Tratamientos	Repeticiones			Σ	Media
		I	II	III		
T1	T1E1H1	3,65	4,95	3,90	12,50	4,17
T2	T1E1H2	5,17	5,75	5,35	16,27	5,42
T3	T1E1H3	7,04	8,01	6,95	22,00	7,33
T4	T1E2H1	2,82	3,25	2,19	8,26	2,75
T5	T1E2H2	4,46	4,62	6,30	15,38	5,13
T6	T1E2H3	8,77	9,57	7,99	26,33	8,78
T7	T1E3H1	4,75	5,06	4,78	14,59	4,86
T8	T1E3H2	4,23	5,17	4,19	13,59	4,53
T9	T1E3H3	11,25	12,33	11,94	35,52	11,84
T10	T2E1H1	2,37	2,07	1,56	6,00	2,00
T11	T2E1H2	3,01	4,18	4,60	11,79	3,93
T12	T2E1H3	8,45	9,15	7,74	25,34	8,45
T13	T2E2H1	3,02	3,38	4,26	10,66	3,55
T14	T2E2H2	7,19	7,26	7,08	21,53	7,18
T15	T2E2H3	7,91	7,39	7,57	22,87	7,62
T16	T2E3H1	3,24	3,87	4,07	11,18	3,73
T17	T2E3H2	11,25	11,74	10,91	33,90	11,30
T18	T2E3H3	9,39	9,51	9,48	28,38	9,46
T19	T3E1H1	2,80	3,74	4,56	11,10	3,70
T20	T3E1H2	5,30	5,43	6,01	16,74	5,58
T21	T3E1H3	8,89	9,48	8,12	26,49	8,83
T22	T3E2H1	6,50	6,23	5,05	17,78	5,93
T23	T3E2H2	7,20	10,22	9,05	26,47	8,82
T24	T3E2H3	8,24	8,18	8,47	24,89	8,30
T25	T3E3H1	5,85	5,18	6,34	17,37	5,79
T26	T3E3H2	9,84	9,61	9,80	29,25	9,75
T27	T3E3H3	12,68	14,09	13,03	39,80	13,27
					545,98	6,74

Fuente: Los autores

T= Temperatura del aire de secado

E= Espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas

H= Humedad final del conglomerado de azúcar natural

Cuadro 23: ADEVA de la variable retención de masa en el proceso de molienda

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F. T.	
					5%	1%
Total	80	688,95				
Repeticiones	2	3,74	1,87	3,18 NS	3,26	5,24
Tratamientos	26	667,15	25,66	73,86 **	1,79	2,29
T	2	44,20	22,10	63,61 **	3,26	5,24
E	2	108,54	54,27	156,21 **	3,26	5,24
H	2	374,83	187,42	539,46 **	3,26	5,24
T x E	4	13,86	3,46	9,97 **	2,63	3,89
T x H	4	33,02	8,26	23,76 **	2,63	3,89
E x H	4	24,35	6,09	17,52 **	2,63	3,89
T x E x H	8	68,34	8,54	24,59 **	2,21	3,05
Error Exp.	52	18,07	0,35			

Fuente: Los autores

CV= 8,74 %

*: Significativo

** : Altamente significativo

NS: No significativo

El análisis de varianza indica que existe alta significación estadística para tratamientos, factores: T (temperatura del aire de secado), E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) y H (humedad final de azúcar natural) e interacciones (T x E, T x H, E x H y T x E x H). Esto quiere decir que influyen en la retención de materia en el proceso de molienda.

El coeficiente de variación fue de 8,74 % con una media de tratamientos de 6,74 g. Se realizó la prueba de Tukey al 5 % para tratamientos, como se describe en el cuadro 24, DMS para factores T, E y H, en los cuadros 25, 26 y 27 y las gráficas para las interacciones T x E, T x H y E x H en las figuras 24, 25 y 26.

Cuadro 24: Prueba TUKEY al 5 % para tratamientos de la variable retención de masa en el proceso de molienda expresado en gramos

N°	TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T27	T3E3H3	13,27	a
T9	T1E3H3	11,84	a
T17	T2E3H2	11,30	b
T26	T3E3H2	9,75	b
T18	T2E3H3	9,46	b
T21	T3E1H3	8,83	c
T23	T3E2H2	8,82	c
T6	T1E2H3	8,78	c
T12	T2E1H3	8,45	c
T24	T3E2H3	8,30	c
T15	T2E2H3	7,62	c
T3	T1E1H3	7,33	c
T14	T2E2H2	7,18	c
T22	T3E2H1	5,93	d
T25	T3E3H1	5,79	d
T20	T3E1H2	5,58	d
T2	T1E1H2	5,42	d
T5	T1E2H2	5,13	d
T7	T1E3H1	4,86	d
T8	T1E3H2	4,53	d
T1	T1E1H1	4,17	d
T11	T2E1H2	3,93	d
T16	T2E3H1	3,73	e
T19	T3E1H1	3,70	e
T13	T2E2H1	3,55	e
T4	T1E2H1	2,75	e
T10	T2E1H1	2,00	e

Fuente: Los autores

De la prueba de Tukey se desprenden cinco rangos “a”, “b”, “c”, “d”, y “e”, para la variable retención de masa en el proceso de molienda, en donde las medias están ordenadas de mayor a menor según lo establece esta prueba de significación. En un proceso estacionario la acumulación de material debe ser mínima, como lo explican Calleja, G. et al. (2002) “la mayoría de los procesos industriales son continuos, con un mínimo de alteraciones o paradas. En este tipo

de procesos a excepción de los períodos de puesta en marcha y paradas, el tiempo no es una variable a considerar, por lo que las variables intensivas dependen solamente de la posición, siendo este el régimen estacionario. En estos sistemas en estado estacionario el término acumulación es mínimo o desaparece, resultando la ecuación: entrada = salida”.

Según la prueba de Tukey y de acuerdo a lo anotado anteriormente, la menor cantidad de masa retenida en las paredes del molino corresponde a los tratamientos del rango “e”, manteniendo el principio de conservación de la masa. Los tratamientos son: T16 (60 °C de temperatura, 3 cm de espesor, 0,5 % de humedad), T19 (70 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 0,5 % de humedad), T13 (60 °C de temperatura, 2 cm de espesor, 0,5 % de humedad) , T4 (50 °C de temperatura, 2 cm de espesor, 0,5 % de humedad) y T10 (60 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 0,5 % de humedad); sin embargo, se puede apreciar que en todos estos tratamientos la humedad final es del 0,5 %, lo que quiere decir que probablemente esta disminución de masa se ve reflejada en un ambiente de polución, y no de acumulación o retención.

El factor temperatura del aire de secado que presentó alta significación estadística, según el Análisis de Varianza se realiza la prueba de significación DMS como se indica en el cuadro 25.

Cuadro 25: Prueba de significación DMS para el factor T (temperatura del aire de secado)

NIVEL	MEDIAS	RANGO
T1 (50 °C)	7,774	a
T2 (60 °C)	6,357	a
T3 (70 °C)	6,090	b

Fuente: Los autores

Según los resultados de este cuadro, se establecen dos rangos: “a” y “b” en función de la variable retención de masa. El nivel de temperatura con menor retención de masa en la molienda corresponde al rango “b” con un valor de 6,090

g se considera el mejor; en cambio que los niveles T1 (50 °C) y T2 (60 °C) con un valor medio de 7,065 g se encuentra en el rango “a” y tienen un tiempo mayor.

Para el factor espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas, que presentó alta significación estadística en el Análisis de Varianza se realizó la prueba de significación DMS en función de la variable retención de masa en el proceso de molienda que se indica en el cuadro 26.

Cuadro 26: Prueba de significación DMS para el factor E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas)

NIVEL	MEDIAS	RANGO
E3 (3 cm)	8,281	a
E2 (2 cm)	6,451	b
E1 (1 cm)	5,490	c

Fuente: Los autores

Los resultados de esta prueba se enmarcan en tres rangos: “a” “b” y “c”; el nivel del espesor de la camada que presenta menor retención de masa en la molienda es E1 (1 cm de espesor) con 5,490 g, el cual se encuentra en el rango “c”, pero este valor puede deberse a la baja humedad del producto que genera polvo y su pérdida; al ser un espesor pequeño la eliminación de agua en el secado es demasiada rápida, inclusive el material ya se presenta con características higroscópicas lo cual es difícil cuantificarlo; por lo tanto, es importante que la empresa implemente un sistema de colección de polvo al fin de recuperar el producto .

De aquí se consideró como mejor nivel de este factor el E2 (2 cm de espesor) que pertenece al rango “b”, con una retención de masa promedio de 6,451 g; y el nivel E3 (3 cm de espesor) con 8,281 g se encuentra en el rango “a”, que también puede considerarse como aceptable toda vez que la humedad final es próxima al 2%.

Por otro lado para el factor humedad final del conglomerado de azúcar natural al presentar alta significación estadística, se realizó la prueba de significación DMS como se indica en el cuadro 27.

Cuadro 27: Prueba de significación DMS para el factor H (humedad final del conglomerado de azúcar natural para molienda)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
H3 (1 %)	9,319	a
H2 (0,75 %)	6,849	b
H1 (0,5 %)	4,053	c

Fuente: Los autores

De esta prueba, se observa tres rangos: “a” “b” y “c”, en el que se determinó que H3 (1 % de humedad) es el mejor nivel del factor con una retención de masa en la molienda de 9,319 g; es decir, que la retención de masa en la molienda depende de la humedad final del conglomerado de azúcar natural. Este resultado es aceptable y confirmaría lo que dice Cajas, D. (2011) “humedades superiores al 3 % produce embotamiento en el molino y al contrario humedades muy bajas genera gran cantidad de polvo”. También se observa que H2 (0,75 % de humedad) con una retención de masa de 6,849 y H1 (0,5 % de humedad) con una retención de masa de 4,053 g se encuentra en el rango “b” y “c” respectivamente, y se entiende que el conglomerado al tener estas humedades, generalmente producen polvo.

El gráfico de la interacción de los factores temperatura del aire de secado y espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural, en función de la variable retención de masa en la molienda, se representa en la figura 24.

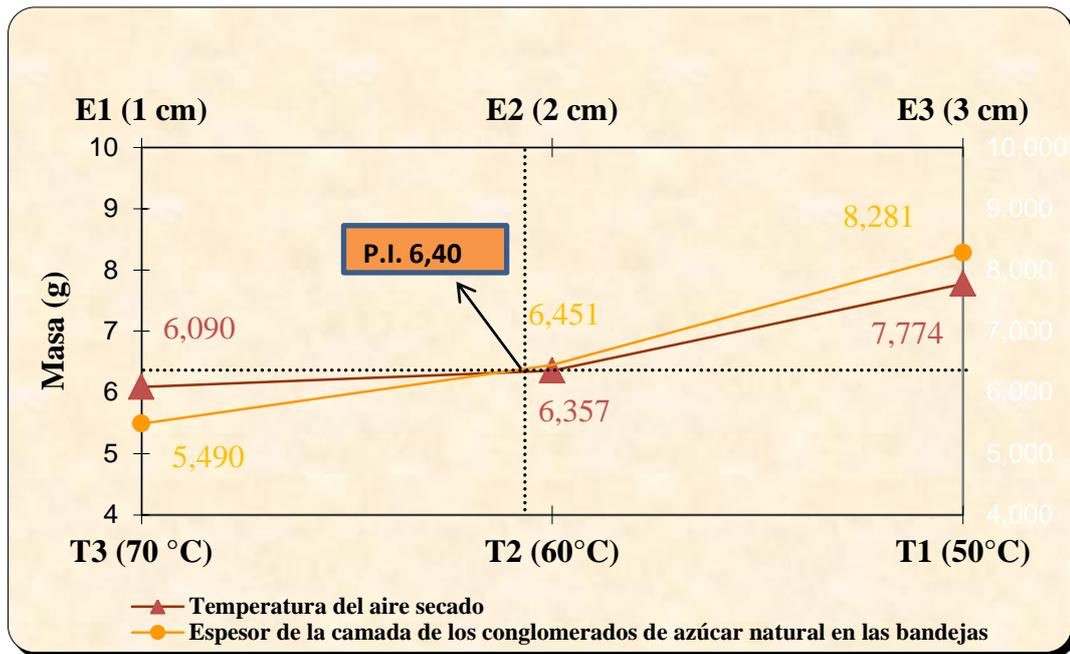


Figura 24: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) para la variable retención de masa en el proceso de molienda

Gráficamente se observa que la temperatura de secado es inversamente proporcional con la retención de masa en la molienda; es decir, a mayor nivel de temperatura menor es la retención de masa en las paredes internas del molino y viceversa; lo contrario ocurre con el espesor de la camada de los conglomerados; es decir, mientras más bajo el espesor menor es la retención de masa y viceversa.

Además, se observa en el mismo gráfico que la intersección de estos factores tienen un punto en común, correspondiendo a la temperatura de secado de 60,7 °C, espesor de la camada de los conglomerados de azúcar en las bandejas de 1,93 cm con una retención de masa en el molino de 6,40 g.

En la figura 25 se representa el gráfico de la interacción de los factores: temperatura del aire secado y humedad final del conglomerado de azúcar natural, en función de la variable retención de masa en la molienda.

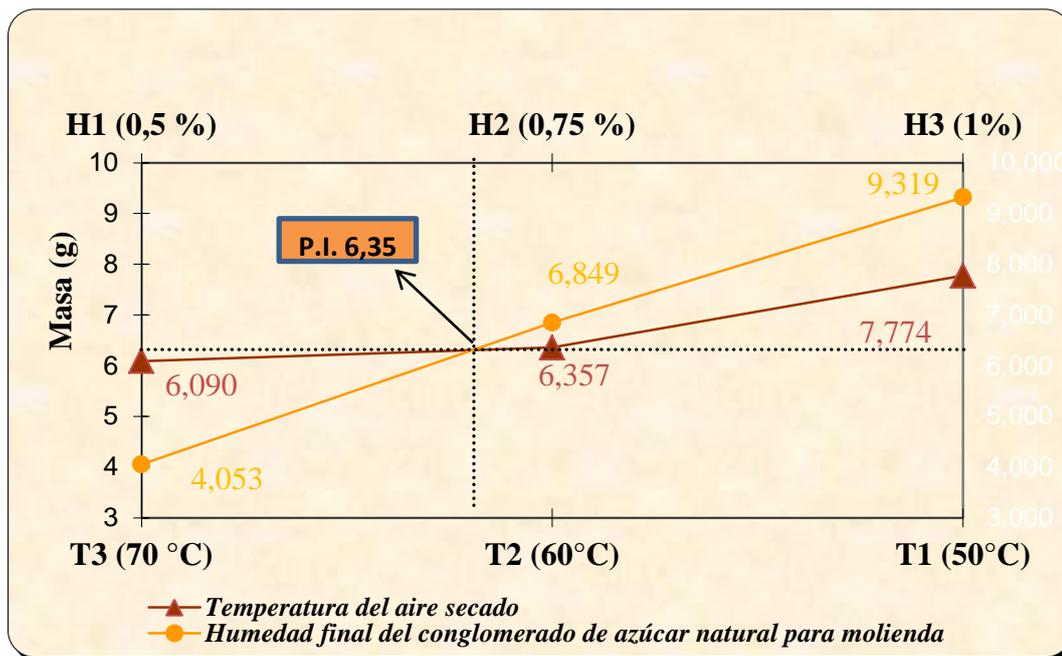


Figura 25: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable retención de masa en el proceso de molienda

En el gráfico se observa la relación inversa entre temperatura del aire de secado con respecto a la retención de masa en el molino; es decir, a mayor temperatura del aire de secado corresponde una menor retención de masa en las paredes del molino y viceversa. Lo contrario ocurre con la humedad final; es decir, a menor humedad final menor retención de masa en las paredes del molino y viceversa.

En el gráfico se observa la intersección para estos factores; con un punto en común que corresponde a la temperatura de secado de 62 °C y una humedad final del conglomerado de azúcar de 0,70 % con una retención de masa en el molino de 6,35 g.

Finalmente se representa la interacción de los factores espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas y humedad final del conglomerado de azúcar natural, como se indica en la figura 26.

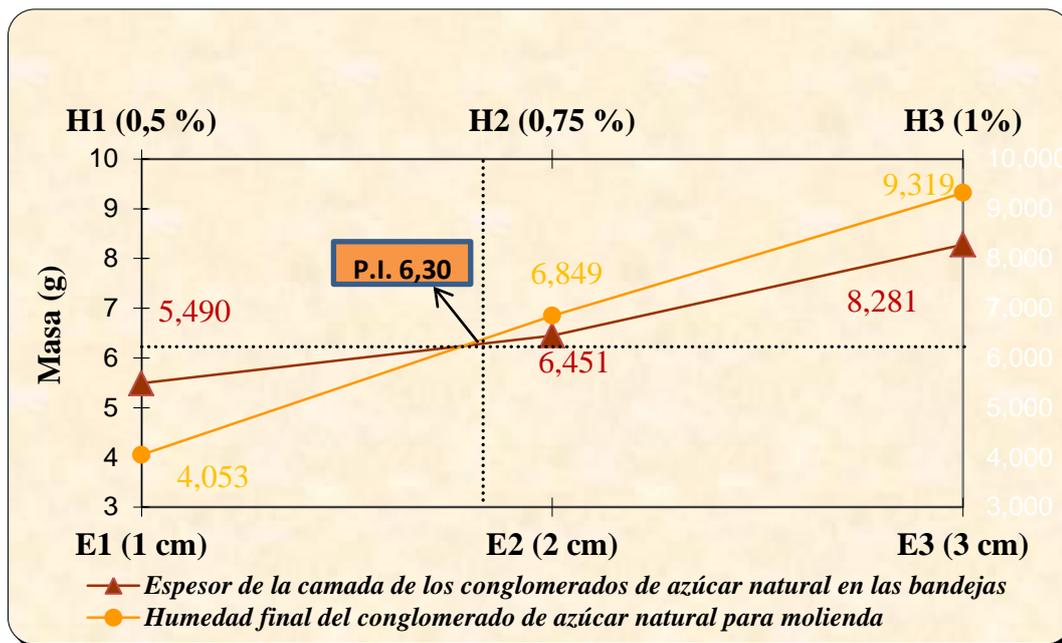


Figura 26: Interacción de los factores: E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable retención de masa en la molienda

Dentro del gráfico se observa que la humedad final y el espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural son proporcionales con la retención de masa en la molienda; es decir, a menor humedad final y espesor del material corresponde menor retención y viceversa.

Así mismo se observa en el gráfico que existe un punto común para los factores, que corresponde a un espesor de la camada de los conglomerados en las bandejas de 1,80 cm y una humedad final del conglomerado de azúcar 0,68 % con un valor de retención de masa de 6,30 g.

De acuerdo al ordenamiento de Tukey se representa el gráfico de la variable retención de masa en el proceso de molienda en función de los tratamientos como se indica en la figura 27.

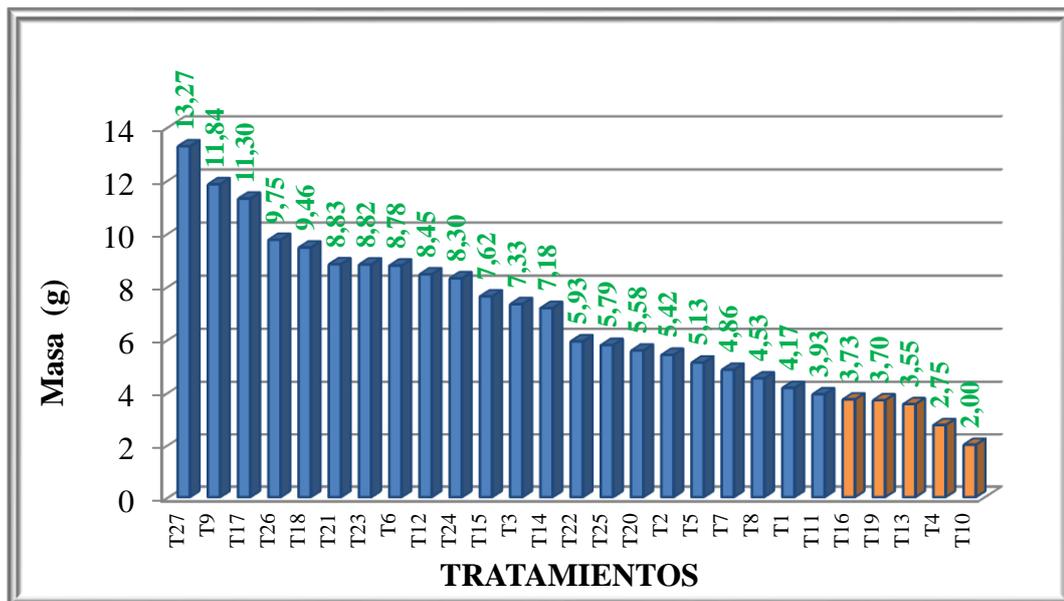


Figura 27: Representación gráfica de la retención de masa durante la molienda de conglomerados de azúcar natural

En el gráfico se observa de manera general un comportamiento irregular de los tratamientos frente a esta variable. De acuerdo a los rangos, los tratamientos presentan una tendencia casi lineal con pendiente negativa a excepción de los tratamientos T27, T9 y T17 que tienen mayor pendiente; este comportamiento se debe a que la retención de masa en las paredes del molino está influenciada por condiciones del mismo molino, a parte de la humedad y la temperatura del aire de secado, factores que son determinantes al momento de considerar la diferencia entre la masa inicial y final de los tratamientos. De lo expuesto anteriormente Cajas, D. (2011) señala: “humedades superiores al 3 % produce embotamiento del molino lo que dificulta la eficiencia en el proceso, de la misma manera humedades inferiores al 3 % genera la producción prolongada de polvos”; situación que en la Agroindustria Panelera Gardenia se evidencia al observar el registro de producción del mes de Septiembre (ver anexo 15) en dónde las pérdidas de producto por polución y retención en el molino tienen un promedio del 3 %.

De las discusiones realizadas para esta variable se considera que la humedad final del conglomerado debe estar sobre el 1 %, considerando como óptimo el 1,5 %,

ya que este valor debe ser cercano a la humedad crítica establecida en las curvas de secado.

4.2.2 ANÁLISIS DE LA VARIABLE TIEMPO DE MOLIENDA

Esta variable mide la permanencia del producto a desintegrarse al interior del molino, siendo importante la granulometría del producto final en función del tiempo.

Para ello, se tomó el tiempo del momento de ingreso de los conglomerados hasta su descarga, a través de un cronómetro digital la unidad se expresó en minutos, como se presenta en el cuadro 28.

Cuadro 28: Tiempo de molienda expresado en minutos

N°	Tratamientos	Repeticiones			Σ	Media
		I	II	III		
T1	T1E1H1	4,10	3,90	3,62	11,62	3,87
T2	T1E1H2	6,20	7,04	6,93	20,17	6,72
T3	T1E1H3	4,00	5,03	4,75	13,78	4,59
T4	T1E2H1	3,07	3,59	3,48	14,10	3,38
T5	T1E2H2	7,27	8,29	8,05	23,61	7,87
T6	T1E2H3	7,74	6,98	7,92	22,64	7,55
T7	T1E3H1	3,50	3,95	3,80	11,25	3,75
T8	T1E3H2	4,90	4,57	4,10	13,57	4,52
T9	T1E3H3	7,00	7,82	7,50	22,32	7,44
T10	T2E1H1	2,76	3,10	3,17	9,03	3,01
T11	T2E1H2	4,68	5,66	5,15	15,49	5,16
T12	T2E1H3	7,83	8,02	8,16	24,01	8,00
T13	T2E2H1	2,98	3,60	3,24	9,82	3,27
T14	T2E2H2	4,63	4,89	4,75	14,27	4,76
T15	T2E2H3	6,97	7,50	7,23	21,70	7,23
T16	T2E3H1	3,82	3,60	4,12	11,54	3,85
T17	T2E3H2	4,21	5,17	4,72	10,14	4,70
T18	T2E3H3	6,65	7,30	7,10	21,05	7,02
T19	T3E1H1	3,45	4,03	3,82	11,30	3,77
T20	T3E1H2	2,97	3,59	3,20	9,76	3,25
T21	T3E1H3	7,35	6,56	7,16	21,07	7,02
T22	T3E2H1	5,03	4,67	5,19	14,89	4,96
T23	T3E2H2	5,05	5,12	4,86	15,03	5,01
T24	T3E2H3	3,80	4,57	4,80	13,17	4,39
T25	T3E3H1	4,25	3,80	3,98	12,03	4,01
T26	T3E3H2	4,28	5,72	4,56	14,56	4,85
T27	T3E3H3	8,13	8,00	7,89	24,02	8,01
					425,94	5,26

Fuente: Los autores

T= Temperatura del aire de secado

E= Espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas

H= Humedad final del conglomerado de azúcar natural

Cuadro 29: ADEVA de la variable tiempo de molienda

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F. T.	
					5%	1%
Total	80	227,52				
Repeticiones	2	1,74	0,87	7,69 **	3,26	5,24
Tratam.	26	219,88	8,46	74,59 **	1,79	2,29
T	2	6,85	3,42	30,20 **	3,26	5,24
E	2	3,25	1,63	14,35 **	3,26	5,24
H	2	114,80	57,40	506,23**	3,26	5,24
T x E	4	18,05	4,51	39,81 **	2,63	3,89
T x H	4	25,44	6,36	56,09 **	2,63	3,89
E x H	4	17,67	4,42	38,96 **	2,63	3,89
T x E x H	8	33,82	4,23	37,29 **	2,21	3,05
Error Exp.	52	5,90	0,11			

Fuente: Los autores

CV= 6,40 %

*: Significativo

** : Altamente significativo

NS: No significativo

El análisis de varianza indica que existe alta significación estadística para repeticiones, tratamientos, factores: T (temperatura del aire de secado), E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) e interacciones: (T x E, T x H y E x H). El coeficiente de variación fue de 6,40 % con una media de tratamientos de 5,26 minutos.

Se realizó la prueba de Tukey al 5 % para tratamientos DMS para factores: T, E, H y gráficas para las interacciones: T x E, T x H y E x H.

Cuadro 30: Prueba TUKEY al 5 % para tratamientos de la variable tiempo de molienda expresado en minutos

N°	TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T27	T3E3H3	8,01	a
T12	T2E1H3	8,00	a
T5	T1E2H2	7,87	a
T6	T1E2H3	7,55	a
T9	T1E3H3	7,44	a
T15	T2E2H3	7,23	a
T18	T2E3H3	7,02	a
T21	T3E1H3	7,02	a
T2	T1E1H2	6,72	b
T11	T2E1H2	5,16	c
T23	T3E2H2	5,01	c
T22	T3E2H1	4,96	c
T26	T3E3H2	4,85	c
T14	T2E2H2	4,76	c
T17	T2E3H2	4,70	c
T3	T1E1H3	4,59	c
T8	T1E3H2	4,52	c
T24	T3E2H3	4,39	c
T25	T1E2H2	4,01	d
T1	T1E1H1	3,87	d
T16	T2E3H1	3,85	d
T19	T3E1H1	3,77	d
T7	T1E3H1	3,75	d
T4	T1E2H1	3,38	d
T13	T2E2H1	3,27	d
T20	T3E1H2	3,25	d
T10	T2E1H1	3,01	d

Fuente: Los autores

Realizada la prueba de Tukey se puede observar que existen cuatro rangos diferentes “a”, “b”, “c” y “d” para la variable tiempo de molienda. En donde las medias se han ordenado de mayor a menor según lo establece la prueba.

De acuerdo a lo planteado en la investigación se ha considerado que los tratamientos que se encuentran en el rango “d” son los mejores por presentar menor tiempo de molienda, siendo: T25 (temperatura de 70°C, espesor de 3cm y humedad de 0,5%), T1(temperatura de 50°C, espesor de 1cm y humedad de 0,5%), T16 (temperatura de 60°C, espesor de 3cm y humedad de 0,5%), T19 (temperatura de 70°C, espesor de 1cm y humedad de 0,5%), T7 (temperatura de 50°C, espesor de 3 cm y humedad de 0,5%), T4 (temperatura de 50°C, espesor de 2cm y humedad de 0,5%), T13 (temperatura de 60°C, espesor de 2cm y humedad de 0,5%), T20 (temperatura de 70°C, espesor de 1cm y humedad de 0,75%), y T10 (temperatura de 60°C, espesor de 1cm y humedad de 0,5%); el valor promedio de molienda de conglomerados de azúcar en este rango es de 3,57 minutos.

Estos resultados son comparables con lo que dice Hall, C. y Salas, F. (1998) “que el tiempo de molienda prolongado es perjudicial para llevar a cabo el proceso debido a la elevación de temperatura del producto por fricción”.

La presencia de humedad en el producto a ser triturado representa un alto consumo de energía; al respecto, Calleja, G. et al. (2002) manifiestan que “la presencia de humedad en el material incrementa el tiempo de molturación y por lo tanto la energía consumida, además de ocasionar problemas de atascos”. En este caso se habla de una humedad comprendida entre el 1 y 1,5 % para evitar embotamiento en las paredes del molino.

En cuanto al Análisis de Varianza de la variable tiempo de molienda, el factor temperatura del aire de secado, al tener alta significación estadística, se realizó la prueba de significación DMS como se indica en el cuadro 31.

Cuadro 31: Prueba de significación DMS para el factor T (temperatura del aire de secado)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
T1 (50 °C)	5,522	a
T2 (60 °C)	5,223	b
T3 (70 °C)	5,031	c

Fuente: Los autores

De esta prueba se obtiene tres rangos: “a”, “b” y “c”. El nivel de temperatura que presentó menor tiempo de molienda fue T3 (70 °C) con 5,031 minutos, el cual se ubica en el rango “c”; sin embargo, este resultado no se consideró como el mejor debido a que este nivel de temperatura del aire de secado afecta la calidad nutritiva del azúcar natural; por lo tanto, T2 (60 °C) con un valor de 5,223 minutos se considera como el mejor nivel del factor que se encuentra en el rango “b” y T1 (50 °C) con 5,522 minutos pertenece al rango “a” .

Geankoplis, Ch. (1986) referente a este factor sostiene: “las alteraciones de la textura de un alimento pueden ser causadas por el secado convectivo a altas temperaturas y tiempos prolongados” y García, B. y Zanten, C. (2007) indican que: “las temperaturas mayores a 55 °C alteran las características del azúcar natural”; por lo tanto, el tiempo correspondiente a la temperatura de 60 °C es el mas aconsejable.

De igual manera en el Análisis de Varianza sobre la variable tiempo de molienda, se analiza mediante la prueba de significación DMS el factor espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas, como se indica en el cuadro 32.

Cuadro 32: Prueba de significación DMS para el factor E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
E3 (3 cm)	5,380	a
E2 (2 cm)	5,350	a
E1 (1 cm)	5,046	b

Fuente: Los autores

Resultado de la prueba se obtienen dos rangos: “a” y “b”. El nivel de espesor que presentó menor tiempo de molienda fue E1 (1 cm de espesor), con un tiempo de 5,046 minutos; sin embargo, se debe considerar que las muestras correspondientes a este nivel la cantidad de agua evaporada es mayor, lo que evidencia una atmósfera polvorienta durante la molienda. Frente a esta situación se considera que E2 (2cm) con un tiempo de molienda de 5,350 minutos y E3 (3cm) con un tiempo de molienda 5,380 minutos son los mejores niveles correspondientes al rango “a”

Continuando con el Análisis de Varianza, para el factor humedad final del conglomerado de azúcar natural que presentó alta significación estadística, por consiguiente se realizó la prueba de significación DMS que se indica en el cuadro 33.

Cuadro 33: Prueba de significación DMS para el factor H (humedad final del conglomerado de azúcar natural)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
H3 (1 %)	6,806	a
H2 (0,75 %)	5,001	b
H1 (0,5 %)	3,764	c

Fuente: Los autores

De esta prueba se observan tres rangos: “a”, “b” y “c”. El rango “c” H1 (0,5 % de humedad) con un valor de 3,764 minutos, nivel de menor tiempo de molienda. Así mismo se tiene H2 (0,75 % de humedad) con un tiempo de molienda de los conglomerados de azúcar de 5,001 minutos, que se ubica en el rango “b” y

finalmente se tiene H3 (1 % de humedad) con 6,806 minutos que se encuentra en el rango “a” estableciendo que este nivel es el mejor, por el hecho de que a bajas humedades en un sólido, produce cantidades significativas de polvo durante la molienda, lo que genera un bajo rendimiento en el producto final; además, el azúcar natural al poseer características higroscópicas tiene la capacidad de absorber con facilidad la humedad que existe en el aire.

A continuación, se representa el gráfico de la interacción de los factores: temperatura del aire de secado y espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural, en función de la variable tiempo de molienda.

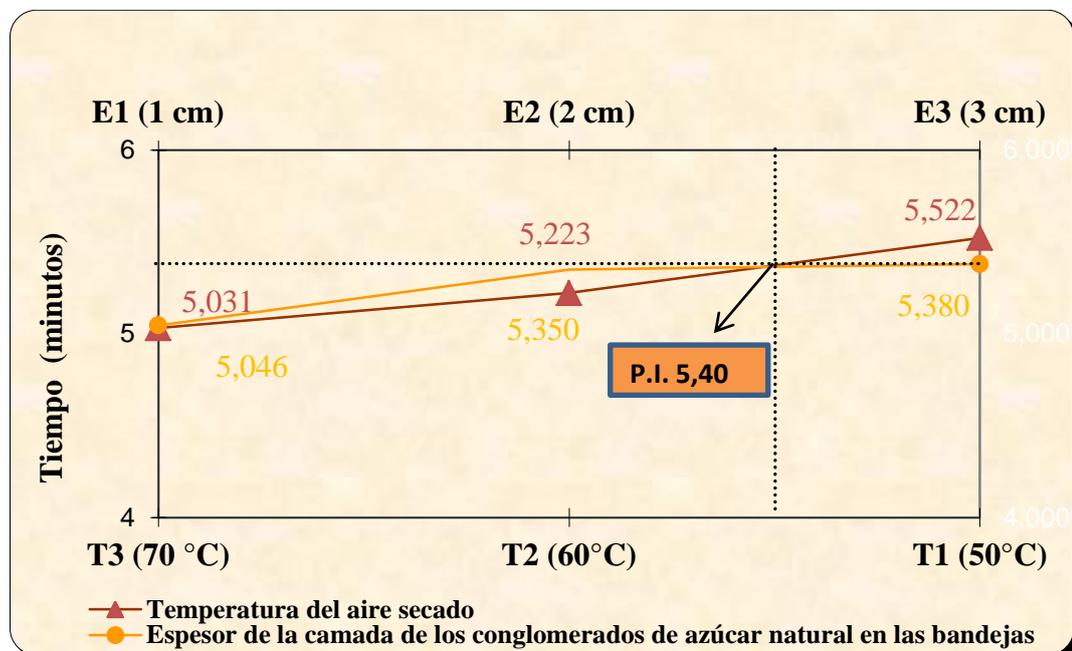


Figura 28: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) para la variable tiempo de molienda

De la figura 28 se observa que la temperatura de secado es inversa con respecto al tiempo de molienda; es decir, a mayor nivel de temperatura del aire de secado menor es el tiempo de destrucción del terrón, lo contrario ocurre con el espesor; es decir, mientras más bajo es el nivel de espesor de la camada de los conglomerados de azúcar menor es el tiempo de molienda.

Adicionalmente, se observa en el gráfico que existe un punto de intersección para los factores que corresponde a la temperatura de secado de 54 °C y un espesor del azúcar en las bandejas de 2,60 cm con un tiempo de molienda de 5,40 minutos.

La interacción de los factores temperatura del aire de secado y humedad final del conglomerado de azúcar natural, en función de la variable tiempo de secado se representa en la figura 29.

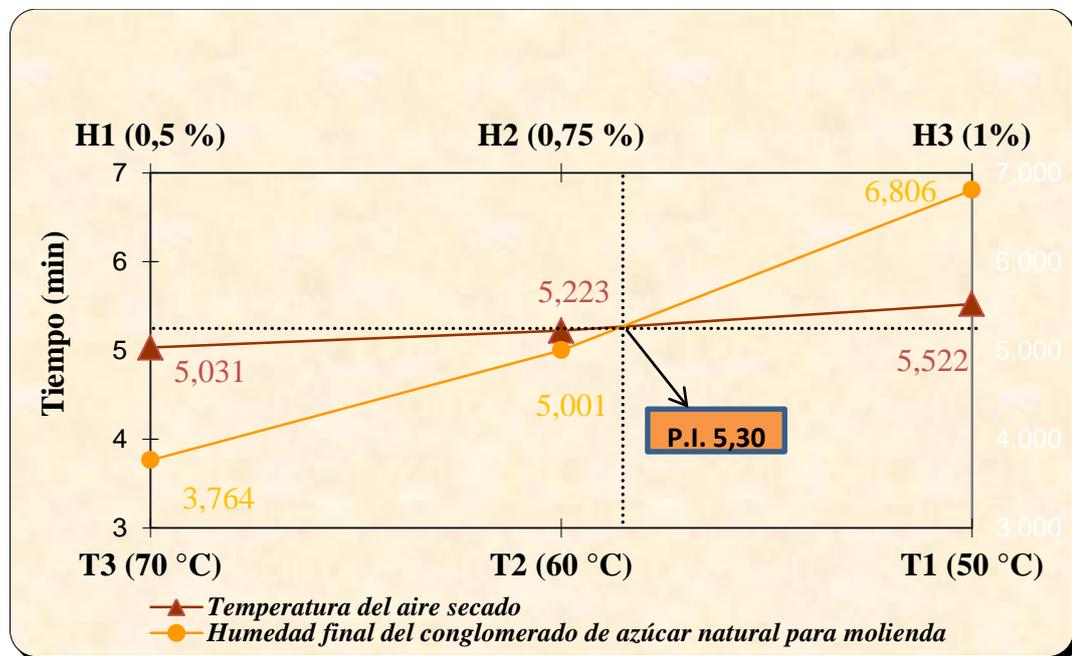


Figura 29: Interacción de los factores: T (temperatura del aire de secado) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable tiempo de molienda

En el gráfico se observa que existe una relación inversa entre la temperatura de secado con el tiempo de molienda; es decir, a mayor temperatura corresponde un menor tiempo de molienda de los conglomerados de azúcar natural y viceversa, lo contrario ocurre con la humedad final; es decir, mientras más bajo es el nivel de humedad final menor es el tiempo de molienda.

También se observa en el gráfico que existe un punto de intersección para los factores; que corresponde a la temperatura de secado de 58,8 °C y una humedad final del conglomerado del azúcar de 0,80 % con un tiempo de molienda de 5,30 minutos.

Finalmente, se representa la interacción de los factores espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas y humedad final del conglomerado de azúcar natural, en función de la variable tiempo de molienda, como se indica en la figura 30.

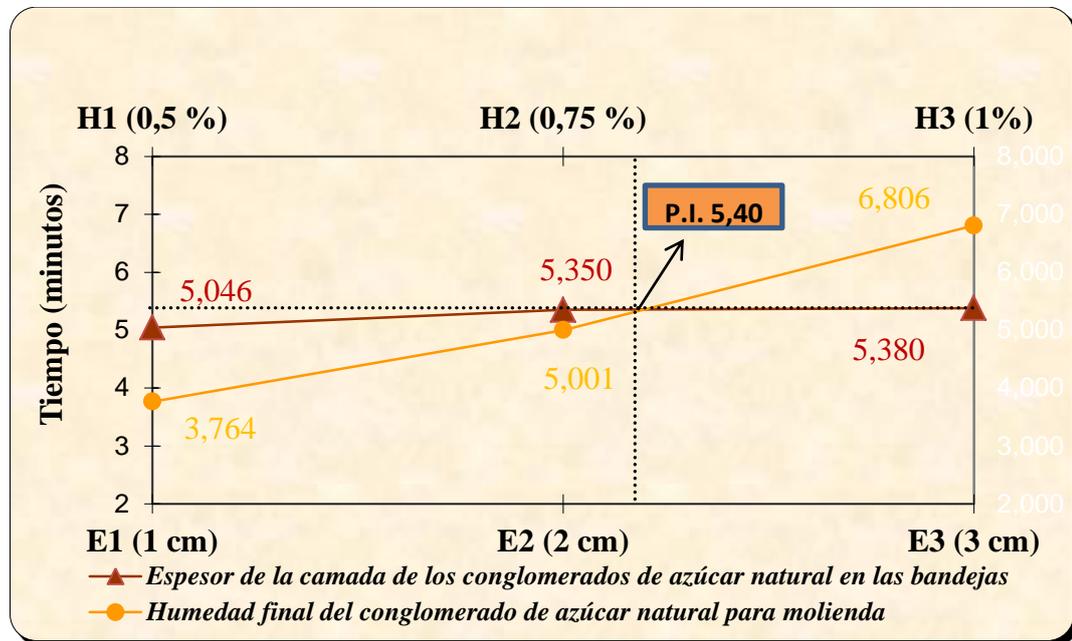


Figura 30: Interacción de los factores: E (espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural en las bandejas) y H (humedad final del conglomerado de azúcar natural) para la variable tiempo de molienda

Analizando el comportamiento de los factores se observa que son directamente proporcionales, con respecto al tiempo de molienda; es decir, a menor espesor y humedad final corresponde menor tiempo de molienda de los conglomerados de azúcar natural y viceversa.

Igualmente se observa que existe un punto en común para los factores que corresponde al espesor del azúcar en las bandejas de 2,25 cm y una humedad final del conglomerado de azúcar de 0,81 % con un tiempo de molienda de 5,40 minutos.

De la misma manera, los valores medios en los diferentes tratamientos obtenidos en la prueba de Tukey de la variable tiempo de molienda, se indica en la figura 31.

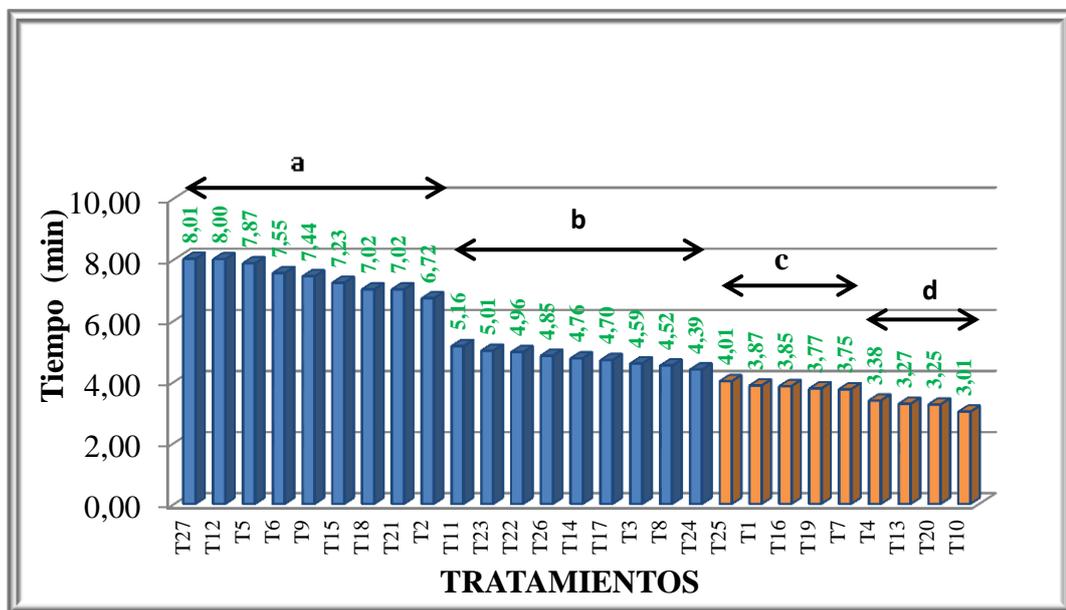


Figura 31: Representación gráfica del tiempo de destrucción de los conglomerados de azúcar natural para los diferentes tratamientos

En el gráfico se puede observar cuatro comportamientos lineales con diferentes pendientes: la pendiente “a” que está comprendido del tratamiento T27 al tratamiento T2 con una media de 7,43 minutos; la pendiente “b” comprende del tratamiento T11 al T24 con un media de 4,77 minutos; la pendiente “c” va desde el tratamiento T25 hasta el T7 con una media de 3,85 minutos y la pendiente “d” desde el tratamiento T4 al T10 con una media de 3,23 minutos

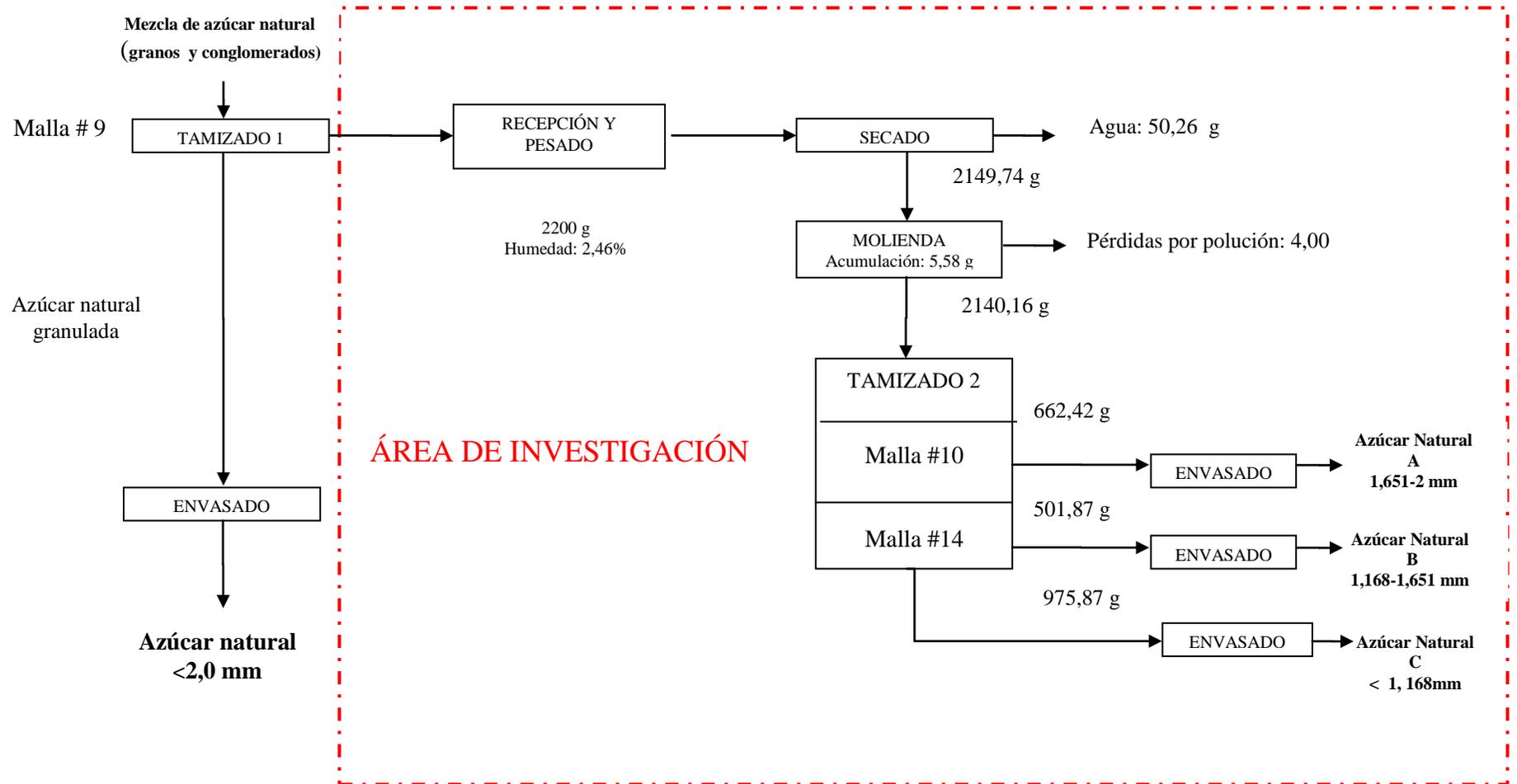
Del anterior análisis de la prueba de Tukey al 5 % se indica también que la media del tiempo de molienda para los mejores tratamientos es 3,57 minutos de

molienda ubicados en el rango “d”. Estos resultados concuerdan con lo que dice Calleja, G. et al. (2002) “la presencia de humedad en el material incrementa el tiempo de molturación y la energía consumida, además de ocasionar problemas de atascos”; también Hall, C. y Salas, F. (1998) sostienen que: “el tiempo de molienda prolongado es perjudicial para llevar a cabo el proceso debido a la elevación de temperatura del producto por fricción”, este enunciado se puede evidenciar en el anexo 3, donde se observa que los tratamientos con tiempos bajos de molienda presentan un aumento mínimo de temperatura durante la molienda.

4.2.3 ANÁLISIS DE LA VARIABLE RENDIMIENTO EN EL SECADO Y MOLIENDA

Con el objetivo de determinar el rendimiento en estos procesos, fue importante realizar el balance de materiales, para ello se establecieron valores promedios para cada nivel de espesor de la camada del material en las bandejas, temperatura constante de 60 °C y una humedad final del 1%.

Diagrama de flujo en la obtención de azúcar natural mediante el proceso de secado y desintegración de conglomerados



Cuadro 34: Rendimientos en el proceso de secado para 1, 2 y 3 cm de espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural

1 cm de espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural	2 cm de espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural	3 cm de espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural
$R = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$ $R = \frac{2149,74 \text{ g}}{2200 \text{ g}} \times 100$ <p>R= 97,71 %</p>	$R = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$ $R = \frac{3515,14 \text{ g}}{3600 \text{ g}} \times 100$ <p>R= 97,64 %</p>	$R = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$ $R = \frac{4684,48 \text{ g}}{4800 \text{ g}} \times 100$ <p>R= 97,59 %</p>

Fuente: Los autores

Las cantidades de las unidades experimentales fueron determinadas en función de los espesores de las camadas de los conglomerados de azúcar; por lo tanto, sus rendimientos fueron calculados en base a sus masas iniciales.

Con 1 cm de espesor; por cada 2200 g de conglomerados de azúcar natural se obtuvo 2149,74 g de conglomerados, con una humedad final del 1 % equivalente al 97,71 % de rendimiento en el proceso de secado.

Con 2 cm de espesor; por cada 3600 g de conglomerados de azúcar natural se obtuvo 3515,14 g de conglomerados, con una humedad final promedio del 1 % equivalente al 97,64 % de rendimiento en el proceso de secado.

Con 3 cm de espesor; por cada 4800 g de conglomerados de azúcar natural se obtuvo 4684,48g de conglomerados, con una humedad final promedio del 1 % equivalente al 97,59 % de rendimiento en el proceso de secado.

Rendimiento en el proceso de molienda de conglomerados de azúcar natural

$$R = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

$$R = \frac{2140,16 \text{ g}}{2149,74 \text{ g}} \times 100$$

$$R = 99,55 \%$$

Al alimentar 2149,74 g de conglomerados de azúcar natural al molino tipo ciclón se obtuvo 2140,16 g de azúcar granulada de un diámetro menor a 2 mm, con una humedad promedio del 1 % equivalente al 99,55 % de rendimiento en el proceso de molienda.

Cuadro 35: Valores promedios para el rendimiento por cada tipo de azúcar natural

	Azúcar Natural A 1,651-2mm	Azúcar Natural B 1,168-1,651 mm	Azúcar Natural C < 1,168 mm
Masa (azúcar natural triturada)	662,42 g	501,87 g	975,87 g
Porcentaje	30,96 %	23,45 %	45,59 %

Fuente: Los autores

En el cuadro 35 se observa que durante el tamizado del azúcar natural, el mayor porcentaje es para el azúcar natural tipo C de diámetro menor a 1,168 mm; es decir, que el azúcar resultante de estos procesos de secado y molienda genera mayor cantidad de azúcar de una granulometría menor a 1,168 mm, la misma que en la norma técnica INEN está considerada como azúcar extra.

Rendimiento total

$$R = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

$$R = \frac{2140,16 \text{ g}}{2200 \text{ g}} \times 100$$

$$R = 97,28 \%$$

El rendimiento global para los dos procesos secado y molienda simultáneamente es del 97,28 %; es decir, por cada 2200 g de conglomerados de azúcar se obtiene 2140,16 g de azúcar granular.

4.3 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

4.3.1 ANÁLISIS PROXIMAL

Para la realización de estas pruebas se escogieron a tres tratamientos como los mejores, en base al criterio de las degustaciones de los panelistas siendo estos: T2 (50 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 0,75 % de humedad), T10 (60 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 0,5 % de humedad) y T11 (60 °C de temperatura, 1 cm de espesor, 0,75 % de humedad). Con la finalidad de asegurar la calidad del producto y de enmarcarse dentro de lo que establece la norma técnica INEN 2332:2002 vigente, se realizaron análisis complementarios de: sólidos sedimentables, recuento de mohos y levaduras, en el laboratorio de uso múltiple de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. Los resultados se muestran en los cuadros 36 y 37.

Cuadro 36: Análisis proximal de sólidos sedimentables a los tres mejores tratamientos

Parámetro analizado	Unidad	T2 (T1E1H2)	T10 (T2E1H1)	T11 (T2E1H2)	Norma máximo (g/100g)
Sólidos sedimentables	g/100g	0,28	0,27	0,31	0,5

Fuente: Análisis realizado en el laboratorio de uso múltiple FICAYA

Como se puede apreciar en el cuadro 36, los datos obtenidos del análisis de sólidos sedimentables realizados en muestras de azúcar natural, en ningún caso sobrepasa los 0,5 g/100 g; por lo tanto, se encuentran dentro de los rangos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 332:2002, ubicándose los tratamientos analizados como panela de PRIMERA, (ver anexo 4 tabla 2).

Cuadro 37: Análisis proximal de mohos y levaduras a los tres mejores tratamientos

Parámetro analizado	Unidad	T2 (T1E1H2)	T10 (T2E1H1)	T11 (T2E1H2)	Norma M(valor máximo permitido UFC/g)
Recuento de mohos	UFC/g	10	10	15	2×10^2
Recuento de levaduras	UFC/g	40	20	40	2×10^2

Fuente: Análisis realizado en el laboratorio de uso múltiple FICAYA

Los resultados del cuadro 37, se encuentran dentro de los rangos establecidos en la norma Técnica INEN 2332:2002, (ver anexo 4 tabla 3). Estos valores demuestran que el azúcar natural analizada en esta investigación es apta para el consumo humano y que no ha sufrido contaminación durante los procesos realizados.

Con la finalidad de determinar el perfil de variación de la proteína con respecto a la temperatura se realizaron análisis en muestras de azúcar natural para observar su influencia en la composición nutricional; para ello se fijaron tres niveles de temperatura 16, 40 y 60 °C, como se indica en el cuadro 38.

Cuadro 38: Análisis de proteína a los 16, 40 y 60 °C en el azúcar natural

Parámetro analizado	Unidad	16°C	40°C	60°C
Proteína	g/100g	0,762	0,758	0,740

Fuente: Análisis realizado en el laboratorio de uso múltiple FICAYA

Según el cuadro 38, los datos de proteína se encuentran dentro del rango permitido por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 332:2002, en donde manifiesta que el contenido de proteína será como mínimo del 0,5 % (ver anexo 4 numeral 4,18). Así mismo se observa que a temperatura de 16 °C el nivel de proteína es de 0,762 g/100g y conforme va aumentando la temperatura del aire de secado el valor de la proteína va disminuyendo, a 40 °C la proteína es de 0,758 g/100g y a 60 °C el valor de la proteína es 0,740 g/100g; por tal motivo, como objetivo de la investigación se consideró que el mejor nivel de temperatura del aire de secado sea de un valor entre 55 y 60 °C.

Al respecto Melo, V. y Cuamatzi, O (2006) afirman: “las proteínas pueden ser desnaturalizadas por diferentes formas, ya sea por aumento de calor, irradiación o por contacto con agentes químicos”; además “el aumento inusual de la temperatura provoca mutación en la proteína, y de esta forma una pérdida de su estabilidad y actividad. A una temperatura normal de hasta 37 °C la proteína conserva su estabilidad; sin embargo, cuando esta temperatura aumenta por encima de los 50 °C la proteína se vuelve inestable”. Estas afirmaciones han contribuido de manera notable en la elección de los mejores tratamientos, tanto para las determinaciones no paramétricas como para el cumplimiento de la hipótesis sobre la influencia en la calidad del azúcar natural.

4.3.2 Pruebas no paramétricas

De los análisis de varianza realizados en la investigación y de las pruebas de significación se obtuvieron seis tratamientos como los mejores estos son: T1, T2, T3, T10, T11 y T12 los mismos que fueron sometidos a las pruebas de degustación, para determinar qué tipo de azúcar es la más aceptada entre los panelistas.

Para el análisis organoléptico se hizo referencia a los siguientes atributos: Color, Aroma, Sabor y Tamaño del grano (granulometría). El formato de Test de degustación se encuentra en el anexo 5.

Para medir estadísticamente las características organolépticas, se utilizó la siguiente ecuación matemática de Friedman:

$$X^2 = \frac{12}{b \cdot t(t + 1)} \Sigma R^2 - 3b(t + 1)$$

Dónde:

X = Chi-cuadrado

R = Rangos

t= Tratamientos

b = degustadores

Cuadro 39: Mejores tratamientos en la prueba de Friedman

VARIABLE	VALOR χ^2	VALOR TABLA 1%	VALOR TABLA 5%	SIGNIFICACIÓN	MEJORES TRATAMIENTOS
COLOR	46,3	33,4	27,6	*	T 10 (B), T (11)B
AROMA	0,0	33,4	27,6	NS	T1 (A), T1 (B), T1 (C), T2 (A), T2 (B), T2 (C), T3 (A), T3 (B), T3 (C), T10 (A), T10 (B), T10 (C), T11 (A), T11 (B), T11 (C), T12 (A), T12 (B), T12 (C)
SABOR	0,0	33,4	27,6	NS	T1 (A), T1 (B), T1 (C), T2 (A), T2 (B), T2 (C), T3 (A), T3 (B), T3 (C), T10 (A), T10 (B), T10 (C), T11 (A), T11 (B), T11 (C), T12 (A), T12 (B), T12 (C)
GRANULOMETRÍA	35,0	33,4	27,6	*	T10 (B), T2 (B)

Fuente: Los autores

De la prueba no paramétrica para las características organolépticas, se obtuvieron dos variables con significación estadística: color y granulometría y dos variables que no son significativas: aroma y sabor.

En cuanto a la característica organoléptica color, se tienen los tratamientos T10 (B) y T11 (B) como los mejores en donde el T10 (B) comprende: (temperatura de 60 °C, espesor de 1 cm y humedad de 0,5 % y diámetro entre 1,168- 1,651 mm) y el T11 (B) (temperatura de 60 °C, espesor de 1 cm y humedad de 0,75 % y diámetro entre 1,168- 1,651 mm). Esta preferencia se debe a que el color característico del azúcar natural producido en la mayoría de las agroindustrias paneleras, se encuentra dentro de la escala colorimétrica RGB elaborado durante esta investigación, en valores de: 227-108-10; 209-99-9; 196-93-8 (ver anexo 16). Valores que coinciden con la abanico colorimétrico realizado por Quezada, W. (2007) quien sostiene que el azúcar natural debe presentar un color que va en un rango de 5 a 7 (p. 93).

En lo que respecta a la granulometría se tiene a los tratamientos: T10 (B) comprende: (temperatura de 60 °C, espesor de 1 cm y humedad de 0,5 % y T2 (B) comprende: (temperatura de 50 °C, espesor de 1 cm y humedad de 0,75 % y diámetro entre 1,168- 1,651 mm) como los mejores. Estos resultados se deben a

que los valores son semejantes al azúcar blanco de mesa utilizada en la mayoría de los hogares.

En cuanto al aroma y sabor se determinó que no existe diferencia significativa en ninguno de los tratamientos, lo que significa que todos tuvieron la misma aceptabilidad, debido a que estas cualidades sensoriales en el azúcar natural generalmente son características.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Luego de las discusiones realizadas sobre las variables evaluadas en la investigación “Optimización del proceso de secado y desintegración de conglomerados en la obtención de azúcar natural, en la Agroindustria Panelera Gardenia del Cantón Atuntaqui”, se desprenden las siguientes conclusiones.

1. Se cumple con la hipótesis planteada: “la temperatura del aire secado, el espesor de la camada del material y la humedad final óptima requerida, inciden en la calidad y en el rendimiento después de la molienda del azúcar natural”.
2. En cuanto a los parámetros óptimos de temperatura del aire de secado y espesor de la camada del material a secarse se ha llegado a determinar los siguientes niveles: 58 a 60 °C la temperatura del aire y de 2 a 2,5 cm el espesor de la camada de los conglomerados de azúcar natural.
3. En igual sentido se ha llegado a establecer una humedad óptima de 1 a 1,5 %, con tiempo de secado de 2 horas con el fin de evitar atascamientos y atmósfera polvorienta en el proceso de molienda.
4. De la investigación resultaron tres tratamientos como los mejores, siendo: T2 (temperatura 50 °C, espesor 1 cm, humedad 0,75 %), T10 (temperatura 60 °C, espesor 1 cm, humedad de 0,5 %), y T11 (temperatura 60 °C, espesor 1 cm, humedad de 0,75 %). Sin embargo, de las discusiones realizadas se establece que la humedad final del conglomerado debe estar sobre el 1 %, considerando como óptimo el

1,5 %, ya que este valor coincide con la humedad crítica establecida en las curvas de secado obtenidas en esta investigación.

5. Del análisis sensorial a los tres tipos de azúcar realizados en los seis mejores tratamientos, se determinó que los panelistas no encontraron ninguna diferencia en lo que se refiere a sabor y aroma; pero referente al color se determinó que el azúcar natural, se encuentra dentro de la escala colorimétrica RGB elaborado durante esta investigación, en valores de: 227-108-10; 209-99-9; 196-93-8, mientras que la granulometría con mayor preferencia fue por el rango de diámetro 1,168-1,651 mm, que corresponde al azúcar tipo B.

5.2 RECOMENDACIONES

De las conclusiones planteadas en base a las variables establecidas en la presente investigación sobre el secado y desintegración de conglomerados de azúcar natural, se permite sugerir las siguientes recomendaciones a la Agroindustria Panelera Gardenia:

- Hacer un estudio del proceso de batido para reducir el volumen de formación de conglomerados de azúcar natural.
- Instalar un colector de polvo con el fin de recuperar las pérdidas generadas por la formación de polvo durante el proceso de molienda de conglomerados de azúcar natural.
- El tiempo de molienda debe ajustarse para aumentar el rendimiento del azúcar natural tipo B.
- Se recomienda comercializar azúcar tipo B (1,168–1,651 mm de diámetro), ya que este tipo de azúcar logró una gran aceptación en las pruebas de degustación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, J., & Rodríguez, F. (2002). *Ingeniería de la Industria Alimentaria*. Madrid: Síntesis.
- Albarracín, L., Reine, H., Quiceno, J., Mateus, H., Osorio, G., Becerra, J., y otros. (2007). Alternativas Energéticas a Partir de la Caña de Azúcar Como Suplemento en la Alimentación de Bovinos. *Corpoica*, p 14.
- Bello, J. (1998). *Ciencia y Tecnología Culinaria*. Madrid, España: Díaz de Santos S.A. .
- Bello, J. (2000). *Ciencia Bromatológica Principios Generales de los Alimentos*. Madrid España.: Díaz de Santos S.A.
- Cajas, D. (2011). *Diseño de un triturador pulverizador de estopa de coco para la producción de sustrato granulado*. . Quito, Ecuador: Tesis de grado de Ingeniero Mecánico. Escuela Politécnica Nacional.
- Calleja, G., García, F., Lucas, A., Prast, D., & Rodríguez, J. (2002). *Introducción a la Ingeniería Química*. Madrid, España: Síntesis.
- Camacho, D., Román, J., García, D., Moreno, M., Medina, C., & Ojeda, C. (2007). Efecto del Secado Solar en los Contenidos de Humedad, Carbohidratos, Carotenoides Totales e Índices de Peróxidos del Mesocarpio de la Palma Coroba (*Attaleaspp*). *Interciencia*, p 258.
- Coulson, J., Richardson, J., Backhurst, J., & Harder, J. (2003). *Ingeniería Química Operaciones Básicas*. Sevilla, España: Reverté, S.A.
- De los Reyes, J. (2011). *Plan de implementación y desarrollo de buenas prácticas de manufactura en la elaboración de panela granulada y en bloque en la planta panelera Gardenia*. Quito, Ecuador: Tesis de grado en Ingeniería Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional.
- García, B., & Zanten, C. (2007). Guía Tecnológica Para El Manejo Integral Del Sistema Productivo de la Caña Panelera. *Corpoica*, p 14.
- García, H., Rodríguez, G., & Veldhuyzen, C. (2001). *Elaboración manual de la panela granulada*. Bogotá, Colombia: Produmédios.
- Geankoplis, C. (1986). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. México D F.: Continental.

- Giancoli, D. (2006). *Física Principios con Aplicaciones. Sexta Edición*. México: Pearson .
- Gil, A. (2010). *Tratado de Nutrición. Tomo II Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos* . Madrid España: Médica Panamericana, S.A.
- Hall, C., & Salas, F. (1998). *Equipo para Procesamiento de Productos Agrícolas*. Bogotá, Colombia: IICA.
- Izquierdo, F. (2001). *Cuestiones de Geotecnia y Cimientos*. Valencia, España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Levenspiel, O. (1996). *Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor*. Barcelona, España: Reverté.
- López, C., March, C., García, C., Vidal, E., Teixidó, M., & Álvarez, M. (2004). *Curso de Ingeniería Química: Introducción a los Procesos, las Operaciones Unitarias y los Fenómenos de Transporte*. Barcelona, España: Reverté S.A.
- Maupoey, P., Andrés, A., Barat, J., & Albors, A. (2001). *Introducción al Secado de Alimentos por Aire Caliente* . Valencia, España: UPV.
- McCabe, W., Cleveland, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería Química*. México D.F.: McGraw-Hill. Interamericana.
- Melo, V., & Cuamatzi, O. (2006). *Bioquímica de los Procesos Metabólicos* . México D.F. : Reverte, S.A. .
- Nonhebel, G., & Moss, A. (2002). *El Secado de Sólidos en la Industria Química*. Barcelona, España: Reverte S.A. .
- Orrego, C. (2003). *Procesamiento de Alimentos*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Ospina, J. (2002). *Características Físico Mecánicas y Análisis de Calidad de Granos* . Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Quezada, W. (2007). *Guía Técnica de Agroindustria Panelera*. Ibarra, Ecuador.: Creadores Gráficos.
- Quezada, W. (2009). Determinación de parámetros de proceso para la producción y aromatización de miel hidrolizada, panela soluble y azúcar. *El investigador*, p 23.

- Romero, A., & Jiménez, A. (2004). *Guía de Equipos Básicos Para el Procesamiento Agroindustrial Rural*. Bogotá, Colombia: Upa.
- Romos, A., Jiménez, A., & García, H. (2007). Caracterización Nutricional De La Panela Granulada . *Innovación y Cambio Tecnológico*, p 1.
- Sierra, I., Morante, S., & Pérez, D. (2007). *Experimentación en química analítica* . Madrid, España : Dykinson. S.L. Universidad Rey Juan Carlos .
- Vian, A., & Ocón, J. (1979). *Elementos de Ingeniería Química*. Madrid, España: Aguilar S.A. .
- Vollrath, H. (1984). *Fundamentos de Tecnología Química*. Barcelona, España: Reverté.

ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de proteína



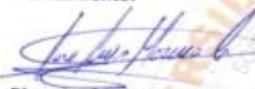
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
IBARRA - ECUADOR

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°: 059 - 2013 Ibarra, 23 de abril de 2013
Análisis solicitado por: Sres. Roberto Ponce y Darwin Colcha
Número de muestras : Tres, Panela
Fecha de recepción de las muestras: 19 de marzo de 2013

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Metodo de Ensayo
		Testigo	Trat. 40°C	Trat. 60°C	
Proteína	g /100 g	0,762	0,758	0,740	AOAC 920.87

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



Misión Institucional
Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

Ciudadela Universitaria barrio El Olivo
Teléfono: (06) 2 953-461 Casilla 199
(06) 2 609-420 2640- BR Fax: Ext: 4011
E-mail: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec

ANEXO 2: Análisis de sólidos sedimentables, mohos y levaduras



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IBARRA - ECUADOR
UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 - CONEA - 2010 - 129 - DC.

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°: 0130 - 2013

Análisis solicitado por: S/OS Roberto Ponce y Daniela Córdova

Número de muestras: Tros, Panela

Fecha de recepción de las muestras: 20 de mayo de 2013

Ibarra, 11 de junio de 2013

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados			Método de ensayo
		T2	T10	T11	
Sólidos sedimentable	g/100 g	0,28	0,27	0,25	NTE INEN 388
Recuento de Mohos	UFC/g	10	10	15	AOAC 995.21
Recuento de Levaduras	UFC/g	40	20	40	



Bioq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia internacionales.

Ciudadela Universitaria Santa El Dha
Teléfono: (06) 253-9611 Guayaquil
(06) (06) 430-2648-817 Fax: Ext. 7811
Email: info@ute.edu.ec
www.ute.edu.ec

ANEXO 3: Aumento de temperatura durante el proceso de molienda de conglomerados de azúcar natural, a partir de una temperatura inicial promedio para todos los tratamientos

Tratamientos	Combinaciones	Temperatura inicial promedio	Temperatura final
T1	T1E1H1	17 °C	19(°C)
T2	T1E1H2		19(°C)
T3	T1E1H3		21(°C)
T4	T1E2H1		20(°C)
T5	T1E2H2		19(°C)
T6	T1E2H3		20(°C)
T7	T1E3H1		24(°C)
T8	T1E3H2		23(°C)
T9	T1E3H3		23(°C)
T10	T2E1H1		19(°C)
T11	T2E1H2		19(°C)
T12	T2E1H3		19(°C)
T13	T2E2H1		21(°C)
T14	T2E2H2		21(°C)
T15	T2E2H3		21(°C)
T16	T2E3H1		24(°C)
T17	T2E3H2		23(°C)
T18	T2E3H3		22(°C)
T19	T3E1H1		19(°C)
T20	T3E1H2		19(°C)
T21	T3E1H3		19(°C)
T22	T3E2H1		21(°C)
T23	T3E2H2		21(°C)
T24	T3E2H3		20(°C)
T25	T3E3H1		23(°C)
T26	T3E3H2		23(°C)
T27	T3E3H3		22(°C)

ANEXO 4: Norma INEN para panela granulada; requisitos



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 332:2002

PANELA GRANULADA. REQUISITOS.

Primera Edición

GRANULATE RAW SUGAR. SPECIFICATIONS.

First Edition

DESCRIPTORES: Tecnología de alimentos, azúcar y productos de azúcar, panela granulada, requisitos
AL 02:04-407
CDU: 644.14
CIIU: 3118
ICS: 67.180.10

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	PANELA GRANULADA. REQUISITOS	NTE INEN 2 332:2002 2002-04
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir la panela granulada destinada para consumo humano.</p> <p style="text-align: center;">2. DEFINICIONES</p> <p>2.1 Caña de azúcar. Es el tallo procedente de cualquier variedad de la planta gramínea <i>Saccharum officinarum</i> L.</p> <p>2.2 Panela granulada. Producto obtenido por concentración de los jugos de caña de azúcar, hasta la obtención de un jarabe espeso permitiendo a continuación que el jarabe se solidifique y granule por batido.</p> <p>2.3 Panela granulada defectuosa. Es la que presenta uno o más de los siguientes defectos: manchas de color diferente al característico de la panela granulada, consistencia blanda (ameiuchada), infestada con insectos vivos, presencia de impurezas o materia extraña.</p> <p style="text-align: center;">3. CLASIFICACIÓN.</p> <p>3.1 De acuerdo al contenido de sólidos sedimentables y tamaño del grano la panela granulada, se clasifica en:</p> <p>3.1.1 Extra;</p> <p>3.1.2 Primera;</p> <p>3.1.3 Segunda.</p> <p style="text-align: center;">4. REQUISITOS</p> <p>4.1 Requisitos Específicos. La panela debe cumplir con los requisitos que se establecen en las Tablas 1, 2, 3 y los que a continuación se describen:</p> <p>4.1.1 La panela granulada en cualquiera de sus clases debe estar libre de impurezas.</p> <p>4.1.2 El porcentaje máximo de materias inorgánicas: piedras, arena, polvo, debe ser de 0,1 %.</p> <p>4.1.3 La panela granulada debe sujetarse a las Normas Ecuatorianas correspondientes y a la falta de estas por las de FAO/OMS/CODEX ALIMENTARIUS, en cuanto tiene que ver con los límites de recomendación de residuos de plaguicidas, productos afines y metales pesados.</p> <p>4.1.4 La panela granulada debe estar exenta de compuestos azufrados y de otras sustancias blanqueadoras.</p> <p>4.1.5 La panela granulada no debe contener colorantes artificiales.</p> <p>4.1.6 La panela granulada debe estar exenta de residuos de los siguientes plaguicidas: aldrin, dieldrin, endrin, 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.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Tecnología de alimentos, azúcar y productos de azúcar, panela granulada, requisitos</p>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-1999 - Baquerizo 454 y Ave. 6 de Diciembre - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

4.1.7 La panela granulada debe estar exenta de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*. (según NTE INEN 1529-8)

4.1.8 El contenido de proteína será como mínimo 0,5 %, ensayado de acuerdo a lo que se establece en la NTE INEN 543.

TABLA 1. Requisitos de la Panela Granulada

Requisito	Min	Max	Método de ensayo
Color T (550 nm)	30	75	NTE INEN 268
Azúcar Reductor %	5,5	10	NTE INEN 266
Sacarosa %	75	83	NTE INEN 266
Humedad %	--	3	NTE INEN 265
pH	5,9	-	

TABLA 2. Sólidos sedimentables y granulometría

Panela	Sólidos Sedimentables Max g/100 g de panela	Pase el 100% por tamiz	
		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		

TABLA 3. Requisitos microbiológicos para la Panela Granulada

REQUISITO	n	m	M	c	Método de ensayo
Recuento de mohos y levaduras upc/g	3	$1,0 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$	2	NTE INEN 1529-10

En donde:

- 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

4.2 Requisitos Complementarios

4.2.1 Las instalaciones y bodegas deben cumplir con los requisitos establecidos en el Código de la Salud y sus Reglamentos; además, deben estar limpias y desinfectadas tanto interna como externamente, y estar protegidas contra el ataque de insectos y roedores.

4.2.2 En la zona de manipulación de los alimentos, las estructuras y accesorios elevados deben instalarse de manera que se evite la contaminación directa o indirecta de la panela.

4.2.3 El establecimiento debe disponer de un sistema eficaz de evacuación de efluentes y desechos, el cual deberá mantenerse en todo momento en servicio y buen estado.

4.2.4 El establecimiento debe disponer de vestuarios y retretes adecuados y convenientemente situados.

(Continúa)

- 4.2.5 Los subproductos deben almacenarse de manera que se evite la contaminación de la panela.
- 4.2.6 Debe impedirse el ingreso de todos los animales a las áreas de producción y envasado.
- 4.2.7 En todo momento deben manipularse los envases de forma que se protejan tanto los envases como los cierres contra posibles daños que puedan causar defectos y contaminación de la panela.
- 4.2.8 Los envases conteniendo panela, deben estar almacenados sobre palets (estibas).
- 4.2.9 Las condiciones de almacenamiento, incluida la temperatura, deben ser tales que impidan el deterioro o la contaminación de la panela.
- 4.2.10 Los plaguicidas y productos afines que se utilizan para el control de plagas deben ser los permitidos por la Ley No. 073 (Registro Oficial No. 442 de 1990-05-22)
- 4.2.11 La comercialización de la panela debe cumplir con lo dispuesto en las resoluciones dictadas con sujeción a la Ley de Pesas y Medidas y otras disposiciones legales.
- 4.2.12 En la elaboración de este producto debe cumplirse con las buenas prácticas de manufactura.
- 4.2.13 *Protección del ambiente*
- 4.2.13.1 Los residuos vegetales y otros productos originados durante el proceso y clasificación deben utilizarse o eliminarse de tal manera que no contaminen el ambiente por ejemplo: energía, compost, humus, otros.
- 4.2.13.2 Los residuos de plaguicidas, envases que hayan contenido plaguicidas, envases de plástico no deben eliminarse directamente en el ambiente (cuerpos de agua, alcantarillas, quebradas, otras), podrán ser eliminados, por ejemplo, de acuerdo a lo establecido en la NTE INEN 2 078.

5. INSPECCIÓN Y MUESTREO

5.1 El muestreo se efectuará de acuerdo a lo que se establece en la Tabla 4.

TABLA 4. Plan de muestreo para la Panela Granulada

TAMAÑO DEL LOTE UNIDADES	TAMAÑO DE LA MUESTRAS	ACEPTA	RECHAZA
Hasta 25	3	0	1
26 a 90	13	1	2
91 a 150	20	2	3
151 a 280	32	3	4
281 a 500	50	5	6
501 a 1 200	80	7	8
Mayor que 1 201	125	10	11

5.2 Si la muestra ensayada no cumple con uno o más de los requisitos establecidos en esta norma, se rechaza el lote.

5.3 En caso de discrepancia se repetirán los ensayos sobre la muestra reservada para tales efectos.

5.4 Cualquier resultado no satisfactorio en este segundo caso será motivo para rechazar definitivamente el lote.

(Continúa)

6. ENVASADO Y EMBALADO

6.1 La panela podrá ser comercializada en envases que aseguren la protección del producto contra la acción de agentes externos que puedan alterar sus características químicas, físicas, resistir las condiciones de manejo, transporte y almacenamiento; y que salvaguarde las cualidades higiénicas, nutricionales y organolépticas.

6.2 El material del envase debe ser de calidad alimentaria, aprobado por el FDA, inerte y no deberá liberar sustancias tóxicas ni olores o sabores desagradables.

7. ROTULADO

7.1 El rotulado del producto debe cumplir con lo establecido en la NTE INEN 1334-1 y 1334-2.

7.2 No debe contener leyendas de significado ambiguo, ni descripción de características que no puedan ser comprobadas.

(Continúa)

APENDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 265:1980	<i>Azúcar. Determinación de la humedad (Método de rutina)</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 266: 1978	<i>Azúcar. Determinación del azúcar reductor.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 268:1978	<i>Azúcar. Determinación del color.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 388:1979	<i>Determinación de los sólidos en suspensión.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 543:1981	<i>Determinación de la Proteína cruda</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1334-1:2000	<i>Rotulado de Productos alimenticios para consumo humano. Parte 1. Requisitos</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1334-2:2000	<i>Rotulado de Productos alimenticios para consumo humano. Parte 2. Etiquetado Nutricional. Requisitos</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1529-8:1990	<i>Control microbiológico de los alimentos. Determinación de coliformes fecales y escherichia coli.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1529-10:1998	<i>Control microbiológico de los alimentos. Determinación del número de Mohos y levaduras viables.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2078:1997	<i>Plaguicidas. Eliminación de residuos y de envases en el campo. Requisitos.</i>
Ley 073:1990	<i>Formulación, fabricación, importación, comercialización, y empleo de plaguicidas y productos afines de uso agrícola.</i>

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, NTC 1311 *Productos Agrícolas. Panela. Requisitos Segunda revisión.* Bogotá, 1990.

Programa conjunto FAO/OMS Codex Alimentarius. Volumen 1. Roma, 1993

I
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 2 332	TITULO: PANELA GRANULADA REQUISITOS	Código: AL 02.04-407
ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio: 2001-02	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo Oficialización con el Caracter de por Acuerdo No. de publicado en el Registro Oficial No. de	
Fechas de consulta pública: de a		

Subcomité Técnico: PANELA
Fecha de iniciación: 2001-03-20
Integrantes del Subcomité Técnico:

Fecha de aprobación: 2001-04-03

NOMBRES:

Ing. Marcelo Jacome (Presidente)

Ing. Augusto Espinoza

Sra. Virgilia Escobar
Ing. Marcelo Pérez
Dr. Fabián Guerrón
Srta. Julia Solórzano
Ing. Fernando Cáceres
Dra. Teresa Ávila
Ing. Antonio Salazar
Sr. Gilbert Estrada
Tigo. Daniel Bravo
Ing. Yolanda Lara
Ing. Isabel Muñoz
Tiga. María E. Davalos (Secretaría Técnica)

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

ASOCIACIÓN DE CAÑICULTORES DE
PASTAZA, ASOCAP
INSTITUTO NACIONAL DE CAPACITACION
CAMPESENA, INCCA
CAMARA DE AGRICULTURA DE LA IV ZONA
MCCH
PRODUCTOS SAN JOSE
EL CORAZON
CEREALES LA PRADERA
DIRECCION METROPOLITANA DE SALUD
PANELA PIATUA
PANELA CAÑAVERAL
REDAR
CONTROL SANITARIO M.S.P.
TRIBUNAL DE CONSUMIDORES Y USUARIOS
INEN - REGIONAL CHIMBORAZO

Otros trámites:

El Consejo Directivo del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2001-12-20 y recomienda al señor Ministro de Comercio Exterior, Industrialización, Pesca y Competitividad que la oficialice con el Caracter de Obligatoria

Oficializada como: Obligatoria
Registro Oficial No. 335 del 2002-04-15

Por Acuerdo Ministerial No. 02 093 del 2002-03-18

ANEXO 5: Test de degustación

TEST DE DEGUSTACIÓN PARA AZÚCAR NATURAL

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

HOJA DE ENCUESTA

PRODUCTO AZÚCAR NATURAL

INSTRUCCIONES

Solicitamos muy comedidamente se evalúe cada muestra, marque con una X en los atributos de acuerdo a su preferencia basándose en la siguiente información.

COLOR

El color característico del azúcar natural es marrón claro hasta marrón oscuro, o amarillo claro hasta amarillo ámbar.

AROMA

El aroma se caracteriza por ser un olor muy agradable, determinante en la calidad y aceptación organoléptica de un alimento. El aroma característico del azúcar natural es suave producto de los azúcares del jugo de caña concentrado.

SABOR

El sabor característico del azúcar natural es dulce, pudiendo también presentar un sabor astringente, salado, etc. lo cual depende de las condiciones del cultivo de la caña, variedad y composición química del suelo.

TAMAÑO DEL GRANO (GRANULOMETRÍA)

El azúcar natural debe presentar uniformidad en el tamaño del grano, sin la presencia de conglomerados o grumos.

Se incluyen cuadros de las matrices para los atributos: color, aroma, sabor, tamaño del grano y las observaciones.

1.- COLOR

Alternativas	Muestras																	
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
Muy agradable																		
Agradable																		
Poco agradable																		
Desagradable																		

2.- AROMA

Alternativas	Muestras																	
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
Característico																		
No característico																		

3.- SABOR

Alternativas	Muestras																	
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
Característico																		
No característico																		

4.- TAMAÑO DEL GRANO (GRANULOMETRÍA)

Alternativas	Muestras																	
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
Muy agradable																		
Agradable																		
Poco agradable																		
Desagradable																		

OBSERVACIONES

.....

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

ANEXO 6: Cuadros de valoración y ranqueo de Color

Valoración de la característica color

Degustadores	Tratamientos																	
	T1(A)	T1 (B)	T1 (C)	T2 (A)	T2 (B)	T2 (C)	T3(A)	T3 (B)	T3 (C)	T10 (A)	T10 (B)	T10 (C)	T11 (A)	T11 (B)	T11 (C)	T12(A)	T12(B)	T12 (C)
1	3	3	2	2	4	3	3	4	2	3	4	3	3	4	3	3	3	2
2	3	4	2	3	4	3	3	4	2	3	4	3	3	4	3	3	3	3
3	2	4	4	3	4	4	2	3	4	3	4	3	3	4	3	3	3	4
4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	2	3	4	2	4	4	2	2	3
5	2	4	3	3	3	4	2	4	3	3	4	4	3	4	4	3	3	3
6	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4	4	3	4	4	3	3	3
7	3	3	4	2	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	4	3	3	4
8	3	3	4	2	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4
9	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	4	4	3
10	3	4	3	2	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3
Σ	28	35	31	26	37	35	28	35	31	29	38	35	29	38	35	30	30	32
Media	2,8	3,5	3,1	2,6	3,7	3,5	2,8	3,5	3,1	2,9	3,8	3,5	2,9	3,8	3,5	3,0	3	3,2

Datos ranqueados de color

Degustadores	Tratamientos																	
	T1(A)	T1(B)	T1(C)	T2(A)	T2(B)	T2(C)	T3(A)	T3(B)	T3(C)	T10(A)	T10(B)	T10(C)	T11(A)	T11(B)	T11(C)	T12(A)	T12(B)	T12(C)
1	9,5	9,5	2,5	2,5	16,5	9,5	9,5	16,5	2,5	9,5	16,5	9,5	9,5	16,5	9,5	9,5	9,5	2,5
2	8	16	1,5	8	16	8	8	16	1,5	8	16	8	8	16	8	8	8	8
3	1,5	14,5	14,5	6,5	14,5	14,5	1,5	6,5	14,5	6,5	14,5	6,5	6,5	14,5	6,5	6,5	6,5	14,5
4	9	9	9	9	16	16	9	9	9	2,5	9	16	2,5	16	16	2,5	2,5	9
5	1,5	15	7	7	7	15	1,5	15	7	7	15	15	7	15	15	7	7	7
6	6	15	6	6	15	6	6	15	6	6	15	15	6	15	15	6	6	6
7	6,5	6,5	15	1	6,5	15	6,5	6,5	15	6,5	15	15	6,5	6,5	15	6,5	6,5	15
8	7	7	15,5	1	7	15,5	7	7	15,5	7	7	15,5	7	7	15,5	7	7	15,5
9	7	7	7	7	16	7	7	7	7	7	16	7	7	16	7	16	16	7
10	7,5	16	7,5	1	16	7,5	7,5	16	7,5	7,5	16	7,5	7,5	16	7,5	7,5	7,5	7,5
Σ	63,5	115,5	85,5	49	130,5	114	63,5	114,5	85,5	67,5	138,5	115	67,5	138,5	115	76,5	76,5	92
Media	6,35	11,55	8,55	4,9	13,05	11,4	6,35	11,45	8,55	6,75	13,85	11,5	6,75	13,85	11,5	7,65	7,65	9,2
Σ2	4032	13340	7310	2401	17030	12996	4032	13110	7310	4556	19182	13225	4556	19182	13225	5852	5852	8464

$\chi^2 = 46.3$

ANEXO 7: Cuadros de valoración y ranqueo de Aroma

Valoración de la característica aroma

Degustadores	Tratamientos																	
	T1(A)	T1 (B)	T1 (C)	T2(A)	T2 (B)	T2 (C)	T3(A)	T3 (B)	T3 (C)	T10(A)	T10(B)	T10 (C)	T11(A)	T11 (B)	T11(C)	T12(A)	T12 (B)	T12 (C)
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Σ	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Media	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Datos ranqueados de aroma

	Tratamientos																	
Degustadores	T1(A)	T1 (B)	T1 (C)	T2(A)	T2 (B)	T2 (C)	T3(A)	T3 (B)	T3 (C)	T10(A)	T10(B)	T10 (C)	T11(A)	T11 (B)	T11(C)	T12(A)	T12 (B)	T12 (C)
1	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
2	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
3	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
4	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
6	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
7	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
8	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
9	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
10	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Σ	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
Media	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Σ2	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025

$\chi^2 = 0.0$

ANEXO 8: Cuadros de valoración y ranqueo de Sabor

Valoración de la característica sabor

Degustadores	Tratamientos																	
	T1(A)	T1 (B)	T1 (C)	T2(A)	T2 (B)	T2 (C)	T3(A)	T3 (B)	T3 (C)	T10(A)	T10(B)	T10 (C)	T11(A)	T11 (B)	T11(C)	T12(A)	T12 (B)	T12 (C)
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Σ	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Media	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Datos ranqueados de sabor

	Tratamientos																	
Degustadores	T1(A)	T1 (B)	T1 (C)	T2(A)	T2 (B)	T2 (C)	T3(A)	T3 (B)	T3 (C)	T10(A)	T10(B)	T10 (C)	T11(A)	T11 (B)	T11 (C)	T12(A)	T12 (B)	T12 (C)
1	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
2	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
3	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
4	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
6	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
7	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
8	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
9	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
10	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Σ	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
Media	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Σ2	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025	9025

$\chi^2 = 0.0$

ANEXO 9: Cuadros de valoración y ranqueo de Granulometría

Valoración de la característica granulometría

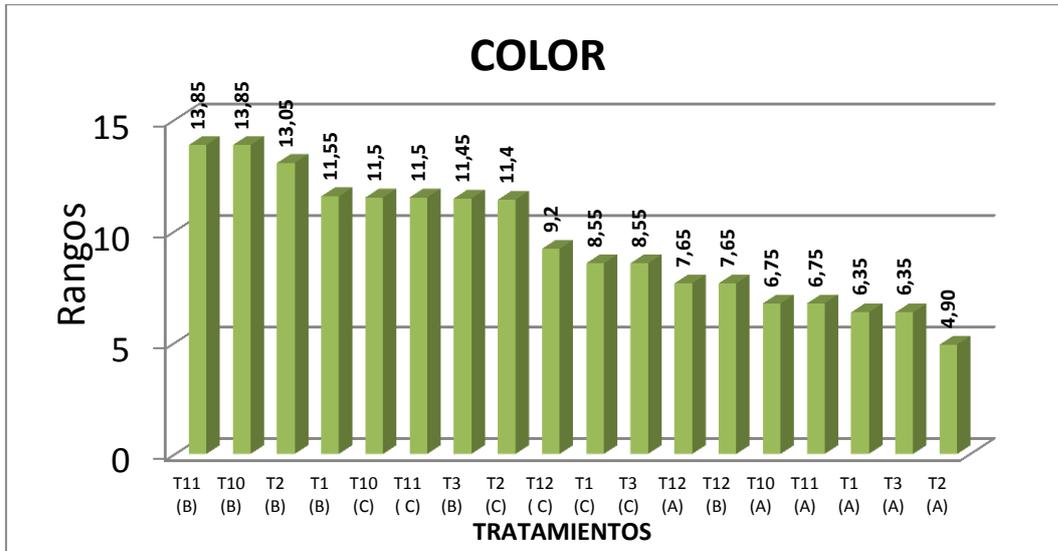
Degustadores	Tratamientos																	
	T1(A)	T1 (B)	T1 (C)	T2 (A)	T2 (B)	T2(C)	T3(A)	T3(B)	T3 (C)	T10 (A)	T10 (B)	T10 (C)	T11 (A)	T11 (B)	T11 (C)	T12(A)	T12(B)	T12 (C)
1	3	3	3	2	4	2	3	4	3	3	4	4	2	3	3	3	3	3
2	3	4	4	4	4	3	3	4	2	3	4	3	3	3	3	3	3	3
3	3	4	3	3	4	3	4	3	2	4	4	3	3	4	4	4	2	3
4	3	2	4	3	4	3	2	3	4	3	4	3	3	3	4	3	4	3
5	3	3	3	2	4	3	2	4	3	3	4	4	3	2	4	2	3	3
6	4	2	4	2	4	3	2	4	3	3	4	3	3	2	4	2	3	3
7	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	4	4
8	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4
9	3	3	4	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4	3
10	3	3	4	2	4	3	3	4	3	3	4	4	2	3	3	4	4	3
Σ	31	30	35	27	38	32	28	36	31	33	38	34	28	30	36	30	33	32
Media	3,1	3	3,5	2,7	3,8	3,2	2,8	3,6	3,1	3,3	3,8	3,4	2,8	3	3,6	3	3,3	3,2

Datos ranqueados de granulometría

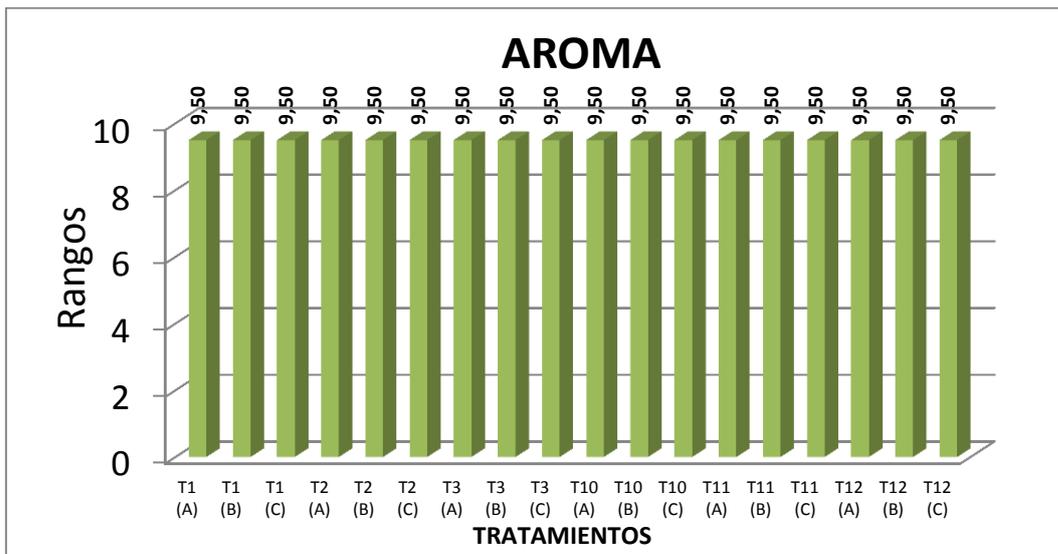
Degustadores	Tratamientos																	
	T1(A)	T1(B)	T1 (C)	T2 (A)	T2 (B)	T2 (C)	T3(A)	T3 (B)	T3 (C)	T10 (A)	T10 (B)	T10 (C)	T11 (A)	T11 (B)	T11 (C)	T12(A)	T12(B)	T12 (C)
1	9	9	9	2	16,5	2	9	16,5	9	9	16,5	16,5	2	9	9	9	9	9
2	7	15,5	15,5	15,5	15,5	7	7	15,5	1	7	15,5	7	7	7	7	7	7	7
3	6,5	14,5	6,5	6,5	14,5	6,5	14,5	6,5	1,5	14,5	14,5	6,5	6,5	14,5	14,5	14,5	1,5	6,5
4	7,5	1,5	15,5	7,5	15,5	7,5	1,5	7,5	15,5	7,5	15,5	7,5	7,5	7,5	15,5	7,5	15,5	7,5
5	9	9	9	2,5	16	9	2,5	16	9	9	16	16	9	2,5	16	2,5	9	9
6	15,5	3	15,5	3	15,5	9	3	15,5	9	9	15,5	9	9	3	15,5	3	9	9
7	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	15,5	6,5	6,5	15,5	15,5	6,5	6,5	6,5	6,5	15,5	6,5	15,5	15,5
8	7	7	7	7	7	16	7	16	7	7	16	16	7	7	7	7	7	16
9	5,5	5,5	14,5	5,5	14,5	14,5	5,5	5,5	14,5	14,5	5,5	5,5	5,5	14,5	14,5	5,5	14,5	5,5
10	7	7	15	1,5	15	7	7	15	7	7	15	15	1,5	7	7	15	15	7
Σ	80,5	78,5	114	57,5	136,5	94	63,5	120,5	89	100	136,5	105,5	61,5	78,5	121,5	77,5	103	92
Media	8,05	7,85	11,4	5,75	13,65	9,4	6,35	12,05	8,9	10	13,65	10,55	6,15	7,85	12,15	7,75	10,3	9,2
Σ2	6480	6162	12996	3306	18632	8836	4032	14520	7921	10000	18632	11130	3782	6162	14762	6006	10609	8464

$\chi^2 = 35.0$

ANEXO 10: Color del azúcar natural según el panel de degustadores



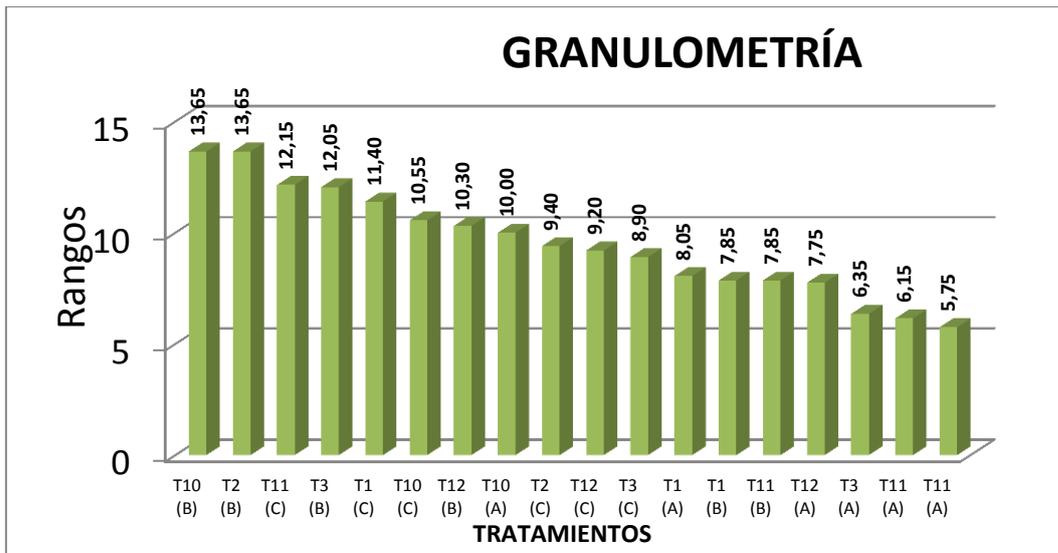
ANEXO 11: Aroma del azúcar natural según el panel de degustadores



ANEXO 12: Sabor del azúcar natural según el panel de degustadores



ANEXO 13: Granulometría del azúcar natural según el panel de degustadores



ANEXO 14: Fotografías de las degustaciones



ANEXO 15: Registro de producción mes de Septiembre 2012 de panela granulada “Gardenia”

Fecha	Kg de azúcar húmeda	Secado	Molienda	Envasado
		Kg de azúcar seca	Kg de azúcar seca granulada	Kg de azúcar saborizada
03-sep-12	902	856,90	831,19	831,11
04-sep-12	908	862,60	836,72	836,64
05-sep-12	897	852,15	826,59	826,50
06-sep-12	905	859,75	833,96	833,87
07-sep-12	903	857,85	832,11	832,03
Total	4515	4289,25	4160,57	4160,16

Fecha	Kg de azúcar húmeda	Secado	Molienda	Envasado
		Kg de azúcar seca	Kg de azúcar seca granulada	Kg de azúcar saborizada
10-sep-12	895	850,25	824,74	824,66
11-sep-12	914	868,30	842,25	842,17
12-sep-12	905	859,75	833,96	833,87
13-sep-12	905	859,75	833,96	833,87
14-sep-12	900	855,00	829,35	829,27
Total	4519	4293,05	4164,26	4163,84

Fecha	Kg de azúcar húmeda	Secado	Molienda	Envasado
		Kg de azúcar seca	Kg de azúcar seca granulada	Kg de azúcar saborizada
17-sep-12	902	856,90	831,19	831,11
18-sep-12	905	859,75	833,96	833,87
19-sep-12	900	855,00	829,35	829,27
20-sep-12	905	859,75	833,96	833,87
21-sep-12	900	855,00	829,35	829,27
Total	4512	4286,40	4157,81	4157,39

Fecha	Kg de azúcar húmeda	Secado	Molienda	Envasado
		Kg de azúcar seca	Kg de azúcar seca granulada	Kg de azúcar saborizada
24-sep-12	900	855,00	829,35	829,27
25-sep-12	903	857,85	832,11	832,03
26-sep-12	902	856,90	831,19	831,11
27-sep-12	905	859,75	833,96	833,87
28-sep-12	898	853,10	827,51	827,42
Total	4508	4282,60	4154,12	4153,71

Recepción de azúcar húmeda mensual: 18054 Kg

Pérdidas por secado: 902,7 Kg

Retención de masa durante la molienda: 314,54 Kg

Perdidas por producción de polvos: 90,00 Kg

Producción Mensual de azúcar saborizada: 16746,76 Kg

ANEXO 16: Escala de colores para azúcar natural

Color	Escala RGB
	227-108-10
	209-99-9
	196-93-8

Fuente: Los autores