



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL MÉTODO QUÍMICO (ERITORBATO
DE SODIO), FÍSICO (ESCALDADO) Y EL PROCESO DE SECADO SOBRE
EL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO Y NO ENZIMÁTICO DE ORITOS
Musa acuminata AA REBANADOS**

**Proyecto de tesis presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniera Agroindustrial**

Autora: Yesenia Mishel Peñafiel Solano

Director: Ing. Juan Carlos De la Vega Quintero, MEng.

Ibarra – Ecuador

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL MÉTODO QUÍMICO (ERITORBATO DE SODIO), FÍSICO (ESCALDADO) Y EL PROCESO DE SECADO SOBRE EL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO Y NO ENZIMÁTICO DE ORITOS *Musa acuminata* AA REBANADOS”

Tesis revisada por los Miembros del Tribunal, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

APROBADA:

Ing. Juan De la Vega Quintero MEng.

DIRECTOR DE TESIS

FIRMA

Dra. Lucía Cumandá Yépez Vásquez, M.Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

FIRMA

Ing. Alexandra Jácome Ortega, Mgs.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

FIRMA

Ing. Jimmy Cuarán. Mg.I.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

FIRMA



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	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100377128-2
APELLIDOS Y NOMBRES:	Peñañiel Solano Yesenia Mishel
DIRECCIÓN:	Atuntaqui – Andrade Marín
EMAIL:	penañiel.y@gmail.com
TELÉFONO MÓVIL:	0981480236
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL MÉTODO QUÍMICO (ERITORBATO DE SODIO), FÍSICO (ESCALDADO) Y EL PROCESO DE SECADO SOBRE EL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO Y NO ENZIMÁTICO DE ORITOS <i>Musa acuminata</i> AA REBANADOS
AUTOR:	Peñañiel Solano Yesenia Mishel
FECHA: AAAMMDD	2017-03-20
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agroindustrial
DIRECTOR	Ing. Juan De la Vega Quintero, MEng.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

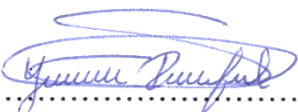
Yo, Yesenia Mishel Peñafiel Solano, con cédula de identidad número 100377128-2, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la 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 la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

La autora manifiesta 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 que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de marzo del 2017

Autora:



Peñafiel Solano Yesenia Mishel

C.C. 100377128-2

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita Peñafiel Solano Yesenia Mishel, bajo mi supervisión.



Ing. Juan De la Vega Quintero MEng

DIRECTOR DE TESIS

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

Yo, Peñafiel Solano Yesenia Mishel, con cédula de identidad Nro. 103771280-2, manifiesto mi 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 autora de la obra o trabajo de grado denominado: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL MÉTODO QUÍMICO (ERITORBATO DE SODIO), FÍSICO (ESCALDADO) Y EL PROCESO DE SECADO SOBRE EL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO Y NO ENZIMÁTICO DE ORITOS *Musa acuminata* AA REBANADOS**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERA AGROINDUSTRIAL** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 20 días del mes de marzo de 2017



.....
Peñafiel Solano Yesenia Mishel

C.C. 100377128-2

DECLARACIÓN

Manifiesto que la siguiente obra es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de marzo de 2017



.....

Peñañiel Solano Yesenia Mishel

C.C.100377128-2

Agradecimiento

A Dios, porque siempre ilumina mi camino y es mi fuente de fortaleza e inspiración para esforzarme cada día.

A mi familia, por su entrega en la labor de educarme con el ejemplo. Agradezco infinitamente sus enseñanzas que supieron guiarme en cada paso de mi vida e inculcar en mí, un espíritu soñador y diligente que me ha impulsado a luchar por lo que quiero.

A mis maestros de la Universidad Técnica del Norte, por proveerme de los conocimientos que me permitirán desenvolverme en la vida profesional. Al Ing. Juan De la Vega por guiarme constantemente en la realización de este trabajo. De igual manera, a la Dra. Lucía Yépez, Ing. Alexandra Jácome e Ing. Jimmy Cuarán por sus enseñanzas y asesoramiento. De manera especial a la Ing. Magali Cañarejo, cuya colaboración durante el desarrollo me ayudó inmensamente en el desarrollo de esta investigación.

A mis amigas, compañeras de camino y aprendizaje, quienes han convivido conmigo durante la etapa universitaria, por su hermosa amistad, consejos y por tomar parte en la construcción de mis mejores memorias.

Yesenia Peñafiel

DEDICATORIA

A Dios, mi máximo maestro, quien siempre me mostró que todo es posible con fe y esfuerzo.

A mis padres que me enseñaron a buscar el buen camino y que todo acontece para bien, basta con mirar diferente lo que más allá se presenta.

A mis familiares quienes me apoyaron incondicionalmente; todo ello es una maravillosa bendición.

A mis maestros y amigas quienes me acompañaron durante la etapa universitaria dejándome en el alma los mejores recuerdos.

Yesenia Peñafiel

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	viii
SUMMARY	ix
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. HIPÓTESIS	3
1.4.1. HIPÓTESIS NULA.....	3
1.4.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA.....	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. GENERALIDADES.....	4
2.1.1. CARACTERÍSTICAS	5
2.1.2. CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA.....	6
2.1.3. PROCESADO.....	7
2.1.4. PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO	13
2.1.5. PARDEAMIENTO NO ENZIMÁTICO	16

2.1.6. PRETRATAMIENTOS DE LAS FRUTAS ANTES DE LA DESHIDRATACIÓN	16
2.2. SECADO DE ALIMENTOS.....	19
2.2.1. ACTIVIDAD DE AGUA	19
2.2.2. PROCESO BÁSICO DE SECADO	22
2.2.3. PSICROMETRÍA	29
2.2.4. ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE SECADO DE LAS FRUTAS.....	31
2.2.5. DETERMINACIÓN DE LA SEQUEDAD DE LAS FRUTAS.....	33
2.2.6. TRANSICIONES DE FASE EN ALIMENTOS	33
CAPÍTULO III.....	35
MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1. LOCALIZACIÓN	35
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	36
3.2.1. MATERIA PRIMA E INSUMOS	36
3.2.2. MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO	36
3.3. MÉTODOS.....	36
3.3.1. EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL MÉTODO QUÍMICO (ERITORBATO DE SODIO).....	39
3.3.2. EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL MÉTODO FÍSICO (ESCALDADO)	41
3.3.3. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL PRODUCTO FINAL	43
3.4. MANEJO DEL EXPERIMENTO	44
3.4.1. DIAGRAMA DE BLOQUES.....	44
3.7.2. DIAGRAMA INGENIERIL.....	45
3.7.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	46

CAPÍTULO IV	49
RESULTADOS Y DISCUSIONES	49
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	49
4.2. DETERMINACIÓN DE VARIABLES EVALUADAS	50
4.2.1. LUMINOSIDAD (L*)	50
4.2.2. ÁNGULO DE TONO (HUE)	54
4.2.3. DIFERENCIA DE COLOR TOTAL (ΔE).....	60
4.2.4. HUMEDAD	64
4.2.5. RENDIMIENTO.....	66
4.2.6. SÓLIDOS SOLUBLES ($^{\circ}$ BRIX)	68
4.3. CURVAS DE SECADO.....	71
4.4. ANÁLISIS SENSORIAL.....	75
4.5. BALANCE DE MATERIALES PARA T6	80
CAPÍTULO V	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
5.1. CONCLUSIONES.....	81
5.2. RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXOS.....	95
7.1. ANEXO A: ÁRBOL DE PROBLEMAS	95
7.2. ANEXO B: CURVAS DE SECADO.....	96
7.3. ANEXO C: PROPIEDADES PSICROMÉTRICAS	102
7.4. ANEXO D: FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL	106
7.5. ANEXO E: FICHA TÉCNICA	108
GLOSARIO.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Toneladas de orito exportadas.....	4
Tabla 2. Composición nutricional del banano orito	7
Tabla 3. Descripción de iluminantes según la CIE	9
Tabla 4. Coordenadas CIELab iniciales promedio del banano sin procesar.....	11
Tabla 5. Referencias de medidas de color de bananos deshidratados	12
Tabla 6. Relación entre el juicio del observador y la diferencia de color medida por métodos objetivos.	13
Tabla 7. Recomendaciones para el secado de bananos	18
Tabla 8. Procesos de transporte durante el proceso de secado.....	22
Tabla 9. Valores de porosidad de bananos secados por diferentes métodos.....	22
Tabla 10. Ubicación y datos meteorológicos del área de experimentación	35
Tabla 11. Variables cuantitativas en materia prima	36
Tabla 12. Variables cuantitativas en producto terminado	37
Tabla 13. Descripción de los tratamientos	40
Tabla 14. Análisis de varianza	41
Tabla 15. Propiedades fisicoquímicas de banano orito en estado de madurez 5 ..	49
Tabla 16. Datos experimentales de luminosidad.....	51
Tabla 17. Análisis de varianza para la variable luminosidad (L*).....	52
Tabla 18. Prueba de Tukey para la interacción A x B (método x temperatura)....	53
Tabla 19. Datos experimentales ángulo de tono hue.....	56
Tabla 20. Análisis de varianza para el ángulo de tono hue.....	57
Tabla 21. Prueba de Tukey para la interacción A x B (método x temperatura)....	58
Tabla 22. Prueba de Tukey para la interacción B x C (temperatura x velocidad))	58
Tabla 23. Datos experimentales diferencia de color total (ΔE)	61
Tabla 24. Análisis de varianza diferencia de color total (ΔE)	62
Tabla 25. Prueba de Tukey para la interacción A x B x C (método x temperatura x velocidad).....	63
Tabla 26. Datos experimentales humedad en base húmeda.....	64
Tabla 27. Análisis de varianza humedad en base húmeda (Xbh)	65
Tabla 28. Prueba de Tukey para el factor B (temperatura)	66

Tabla 29. Datos experimentales rendimiento (%).....	66
Tabla 30. Análisis de varianza rendimiento.....	67
Tabla 31. Prueba de Tukey para el factor A (método de inactivación de enzimas)	68
Tabla 32. Datos experimentales °Brix	68
Tabla 33. Análisis de varianza °Brix	70
Tabla 34. Prueba de Tukey para el factor A (método de inactivación de enzimas)	70
Tabla 35. Resumen de resultados.....	71
Tabla 36. Resumen de resultados del análisis sensorial.....	79
Tabla 37. Propiedades psicrométricas del aire.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índices de madurez de banano	8
Figura 2. Atributos perceptuales del color	10
Figura 3. Espacio de color CIELAB	11
Figura 4. Estructura química de la dopamina.....	14
Figura 5. Reacción de oxidación de fenoles.....	15
Figura 6. Isoterma de equilibrio	20
Figura 7. Fenómeno de histéresis: sorción de vapor de agua en arroz crioconcentrado	21
Figura 8. Períodos de secado.....	24
Figura 9. Curva típica de velocidad de secado bajo condiciones constantes	25
Figura 10. Velocidad de reacciones químicas y bioquímicas	26
Figura 11. Esquema de un secador de bandejas.....	28
Figura 12. Diagrama psicrométrico a 101,325 KPa de presión barométrica	29
Figura 13. Representación de los componentes de una alimento.....	34
Figura 14. Secador de bandejas.....	42
Figura 15. Diagrama de bloques	44
Figura 16. Diagrama ingenieril	45
Figura 17. Datos experimentales de luminosidad	52
Figura 18. Diagrama de Pareto para luminosidad.....	53
Figura 19. Interacción de los factores A (método de inactivación de enzimas) y B (temperatura de secado) en la variable luminosidad (L^*)	54
Figura 20. Diagrama cromático (a^* , b^*) del espacio CIELAB	55
Figura 21. Ubicación de los ángulos de tono hue de los tratamientos	56
Figura 22. Diagrama de Pareto para el ángulo de tono hue	57
Figura 23. Datos experimentales para el ángulo de tono hue	59
Figura 24. Interacción de los factores A (método de inactivación de enzimas) y B (temperatura de secado) en la variable luminosidad (L^*)	59
Figura 25. Interacción de B (temperatura) x C (velocidad)	60
Figura 26. Datos experimentales de la diferencia de color total	61
Figura 27. Diagrama de Pareto para la diferencia de color total.....	63

Figura 28. Datos experimentales humedad en base húmeda.....	65
Figura 29. Datos experimentales de rendimiento.....	67
Figura 30. Datos experimentales de sólidos solubles.....	69
Figura 31. Curva de secado humedad en base seca vs. Tiempo	71
Figura 32. Serie de tiempo con transformación logarítmica para T5.....	72
Figura 33. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T5 ...	73
Figura 34. Curva de secado para T6, humedad seca vs. tiempo	73
Figura 35. Serie de tiempo con transformación logarítmica para T6.....	74
Figura 36. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T6	74
Figura 37. Puntuación para el atributo de color de rebanadas de orito deshidratado	76
Figura 38. Puntuación para el atributo de olor de rebanadas de orito deshidratado	77
Figura 39. Puntuación para el atributo de sabor de rebanadas de orito deshidratado	77
Figura 40. Puntuación para el atributo de textura de rebanadas de orito deshidratado	78
Figura 41. Puntuación para la aceptabilidad de rebanadas de orito deshidratado.	79
Figura 42. Balance de materiales	80
Figura 43. Humedad en base seca (Xbs) vs. tiempo para T1	96
Figura 44. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T1	96
Figura 45. Humedad en base seca vs. tiempo para T2.....	97
Figura 46. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T2	97
Figura 47. Humedad en base seca (Xbs) vs. tiempo para T3.....	98
Figura 48. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T3	98
Figura 49. Humedad en base seca vs. tiempo para T4.....	99
Figura 50. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T4	99
Figura 51. Humedad en base seca vs. tiempo para T7.....	100
Figura 52. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs).....	100
Figura 53. Humedad en base seca (Xbs) vs. tiempo para T8.....	101
Figura 54. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T8 ..	101

RESUMEN

El banano orito es una fruta de gran importancia desde el punto de vista económico y nutricional. La perecibilidad de esta fruta permitió plantear como alternativa de conservación y alargamiento de la vida de anaquel, el secado convectivo. El método de secado aplicado así como los cambios que suceden durante el proceso, ejercen su efecto sobre la calidad final de los productos deshidratados. Uno de los efectos más visibles son las reacciones oscurecimiento, fenómeno que afecta directamente el color y por lo tanto la vida comercial. En el presente estudio se evaluaron dos pretratamientos (químico y físico) y el proceso de secado sobre el pardeamiento de rebanadas de banano orito. Se empleó un Diseño completamente al azar con tres factores: método de inactivación de enzimas, temperatura del aire de secado y la velocidad del aire de secado. Sus efectos, se determinaron mediante análisis fisicoquímicos (color, sólidos solubles, humedad, rendimiento) y organolépticos. La medición de los parámetros del color en alimentos representa una fuente de información preciada para cuantificar el pardeamiento. Similares investigaciones se han realizado en manzana, kiwi, mango, piña, zanahoria, calabaza, setas, etc, para averiguar el efecto del método, condiciones de secado y los pretratamientos aplicados. Finalmente se llegó a determinar que el secado convectivo influye sobre el pardeamiento; sin embargo, en base a los análisis instrumentales y organolépticos los tratamientos que incluyeron eritorbato de sodio exhibieron un menor nivel pardeamiento que las muestras escaldadas. De los tratamientos estudiados destacaron T5 (eritorbato de sodio 1%, 60°C, 2 m/s) y T6 (eritorbato de sodio 1%, 60°, 4 m/s) como mejores tratamientos. Esto se debió a que el eritorbato de sodio actuó como un agente antioxidante y conservante del color; en tanto que el escaldado causó daño en los tejidos.

PALABRAS CLAVE

Orito, Pardeamiento, Secado convectivo, Pretratamientos

SUMMARY

Baby banana is a fruit of great importance from the economic and nutritional point of view. The perishability of this fruit allowed us to propose convective drying as an alternative for the conservation and lengthening of shelf life. The drying method applied as well as the changes that happen during the process, exert their effect on the final quality of the dehydrated products. One of the most visible effects are the browning reactions, a phenomenon that directly affects color and therefore commercial life. In the present study two pretreatments (chemical and physical) and the drying process on the browning of slices of baby banana were evaluated. A completely random design was employed with three factors: enzyme inactivation method, drying air temperature and drying air velocity. Its effects were determined by physicochemical analyzes (color, soluble solids, moisture, yield) and organoleptics. The measurement of color parameters in food represents a valuable source of information for quantifying browning. Similar investigations have been carried out on apple, kiwi, mango, pineapple, carrot, pumpkin, mushrooms, etc., to find out the effect of the method, drying conditions and applied pretreatments. Finally, it was determined that convective drying influences in browning; however, based on instrumental and organoleptic analyzes, treatments that included sodium erythorbate exhibited a lower level of browning than the blanched samples. Of the treatments studied, T5 (sodium erythorbate 1%, 60 ° C, 2 m / s) and T6 (sodium erythorbate 1%, 60 °, 4 m / s) were the best treatments. This was due to the fact that sodium erythorbate acted as an antioxidant and color preservative; while blanching caused tissue damage.

KEYWORDS

Baby banana, Browning, Convective drying, Pretreatment

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA

El orito (*Musa acuminata* AA) es conocido como baby banana dentro del mercado internacional. Proecuador (2013) afirma: “Los bananos oritos son cultivados en zonas tropicales con una mayor altitud, más dulces que el banano convencional, con pulpa de color marfil y piel fina y amarilla” (p.8). El problema (ver anexo A) radica en la perecibilidad de esta fruta, que hace necesario la aplicación de tecnologías especializadas para alargar su vida útil.

La vida útil se ve afectada principalmente, por las reacciones de pardeamiento enzimático manifestadas por el rápido oscurecimiento de la fruta y cambios indeseables tales como: pérdida de firmeza, olores extraños y cambios de color.

Si bien la vida útil se alarga considerablemente por la reducción del contenido de agua con la deshidratación, surge sin embargo, otro problema acuciante: el pardeamiento. Este fenómeno representa un reto para la industria de los alimentos ya que afecta directamente al color, el cual es el atributo inmediatamente perceptible por los consumidores de tal manera que, influye determinadamente en la aceptabilidad de los productos deshidratados, mismos que pueden llegar a perder su valor comercial por la pérdida de calidad del producto.

Por lo tanto el presente estudio se enfoca en la evaluación de dos métodos citados por Arrazola (2016) para prevenir el pardeamiento: 1) Inhibición química de las

enzimas y 2) La destrucción de estas enzimas mediante tratamiento térmico, denominado escaldado y juntamente se pretende evaluar el efecto de los parámetros de secado. El criterio de decisión se basará en las características del producto final.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El Ecuador es el primer exportador a nivel mundial de banano. Dentro de este rubro, el banano orito no ocupaba una posición importante hasta ahora, ya que pasó de ser un cultivo marginal a ser un producto de exportación. Considerando que la fruta que exporta el país es en su totalidad en estado fresco, se hace necesario promover estudios que contribuyan con conocimientos técnicos sobre la industrialización del banano orito. Este banano destaca por ser más apetecido en el mercado tanto nacional como extranjero por su sabor aún más dulce que las bananas regulares y su alto contenido de potasio y hierro.

Lo que se pretende con este trabajo es presentar alternativas para la diversificación de productos a partir de la industrialización de la fruta; dándole un valor agregado y características que la diferencien de la materia prima empleada, a través de las operaciones comprendidas en la industria de los alimentos, como es la deshidratación. De esa manera se estará contribuyendo a la transformación de la matriz productiva al aumentar el potencial de esta fruta; el consumidor se beneficiará de un producto atractivo y con mayor vida útil, a la vez que, los productores de oritos elevarán sus ingresos por la venta de sus cosechas. Es destacable además que la deshidratación es una operación que puede ser ejecutada por micro, pequeñas, medianas y grandes empresas.

El pardeamiento es un fenómeno común que suele suceder en la deshidratación, resulta primordial evaluar diferentes métodos que permitan disminuirlo ya que es un parámetro limitante de la vida útil de los productos procesados.

En la producción de oritos deshidratados es importante investigar los parámetros que inciden en las características de la calidad del producto final con el propósito de establecer condiciones en las cuales este producto mantenga características agradables al consumidor.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del método químico (eritorbato de sodio), físico (escaldado) y el proceso de secado sobre el pardeamiento enzimático y no enzimático de oritos *Musa acuminata* AA rebanados.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar mediante análisis físicos y químicos la materia prima y el producto final.
- Evaluar la influencia del método químico (eritorbato de sodio), sobre el pardeamiento enzimático y no enzimático de oritos rebanados.
- Evaluar la influencia del método físico (escaldado), temperatura de secado y velocidad de aire de secado sobre el pardeamiento enzimático y no enzimático de oritos rebanados.
- Evaluar las características sensoriales del producto final.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. HIPÓTESIS NULA

Ho: El método químico (eritorbato de sodio), físico (escaldado) y el proceso de secado no influyen sobre el pardeamiento enzimático y no enzimático de oritos *Musa acuminata* AA rebanados.

1.4.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Hi: El método químico (eritorbato de sodio), físico (escaldado) y el proceso de secado influyen sobre el pardeamiento enzimático y no enzimático de oritos *Musa acuminata* AA rebanados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES

El banano orito es una musácea de aproximadamente 12 cm, que puede cultivarse desde el nivel del mar hasta los 1.800 metros de altura, requiere suelos profundos de textura franco-arenosa, francos o franco limosos. El período vegetativo del cultivo puede variar entre 6,5 y 8 meses dependiendo de la altura sobre el nivel del mar y el sistema bajo el cual se maneje la plantación. Pertenece al orden Zingiberales, Familia Musácea, subfamilia Muzoidea, género Musa, especie acuminata, grupo Colla (AA), Clon diploide (Castellanos, 2012).

Tabla 1. Toneladas de orito exportadas

Año	Cantidad (Ton)
2007	69
2008	4297
2009	3228
2010	3405
2011	3695
2012	9963

Fuente: (Proecuador, 2013)

“El cultivo abarca alrededor de 8209 hectáreas y es el sustento para muchas familias ecuatorianas en las provincias: Guayas, Azuay, El Oro, Bolívar, Cotopaxi y Chimborazo” (Revista El Agro, 2012, p.1). “Alrededor de 403 Ha están como cultivo orgánico con una producción aproximada de 178.880 cajas anuales de 16 libras, que representa 1300 toneladas” (Exportadora SOPRISA S.A., 2016).

El banano orito se cultiva en las tres regiones del Ecuador. “En la región Sierra las provincias productoras de banano orito son: Cotopaxi, Pichincha, Chimborazo, Imbabura y Cañar; en la Amazonía: Morona Santiago, Sucumbíos, Napo, Pastaza, Orellana y Zamora Chinchipe y en la región Costa: Los Ríos, El Oro, Esmeraldas, Guayas y Manabí” (Camacho, 2007, p.5).

2.1.1. CARACTERÍSTICAS

El banano orito es una variedad comestible del género *Musa* perteneciente al grupo diploide (AA). Los frutos son cortos, lo que les da una apariencia de cilindro y conforman racimos de 6 a 11 manos, con un promedio de 20 frutos. Su crecimiento se propicia en monocultivo por la facilidad de absorción de nutrientes específicos para la planta. Su cosecha se realiza durante todo el año.

Según Castellanos (2012) “(...) se diferencia del banano común por su tamaño (longitud y calibre) y sus hojas brillantes. El cultivo requiere una menor atención y menos agroquímicos, lo que incrementa en las ganancias por la mejora en el precio de venta” (p.8). A lo cual se agrega su sabor más dulce, olor más concentrado, mayor contenido de almidones, tolerancia a la sigatoka negra y la morfología de sus hojas.

El banano orito siendo un fruto climatérico, tiene una vida postcosecha bastante corta, la cual es afectada por varios factores que contribuyen a su deterioro. Las técnicas de conservación buscan reducir la tasa de respiración del fruto, retardar la maduración y prevenir desórdenes fisiológicos (Castellanos, 2012).

La temperatura permite disminuir la tasa respiratoria y prolongar el estado pre climatérico, de esa manera se logra una maduración en el tiempo acorde a los requerimientos del mercado.

2.1.2. CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA

El banano orito una vez cosechado pasa por cuatro estados de desarrollo fisiológico: pre climatérico, climatérico, madurez de consumo y senescencia. A continuación se detallan los cambios que suceden durante la maduración.

2.1.2.1. Características bioquímicas

Como principal cambio, Santos et al. (2006) citado por Castellanos y Algecira (2012) refieren la hidrólisis del almidón en sacarosa, glucosa y fructosa, así como el aumento de la tasa de respiración, producción de etileno, solubilización de las sustancias pécticas, degradación de la clorofila, aumento de ácidos orgánicos, producción de sustancias volátiles, variaciones en enzimas, vitaminas y minerales.

El contenido de agua aumenta conforme avanza el desarrollo fisiológico. “El porcentaje de agua en la pulpa aumenta durante la maduración debido a la degradación del almidón originada por la respiración y el movimiento osmótico del agua desde la piel a la pulpa” (Robinson y Saúco, 2012, p.286).

La relación almidón: azúcar es aproximadamente de 20:1 en estado inmaduro y al madurar cambia a 1:20. Al inicio del desarrollo, la sacarosa es el azúcar predominante; posteriormente aumenta la concentración de glucosa y fructosa. Martínez, Lapo Calderón, Pérez Rodríguez, y Zambrano Cabrera (2015) mencionan que el contenido de almidón del banano orito en estado inmaduro es de 67,69% en base seca, los gránulos tienen un tamaño de 35,11µm y gelatinizan a temperaturas entre 72 y 75°C.

A medida que avanza la maduración aumentan las pectinas hidrosolubles y disminuyen las insolubles causando ablandamiento y pérdida de firmeza. Los ácidos orgánicos málico, cítrico y oxálico se concentran, provocando que “El pH disminuya durante la maduración y aumente la acidez libre en la pulpa” (Robinson y Saúco, 2012, p.292). Los principales componentes del banano orito se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Composición nutricional del banano orito

CONTENIDO NUTRITIVO EN 100g DE PORCIÓN APROVECHABLE DEL BANANO ORITO		
Humedad	g.	68,9
Calorías	Cal.	111
Proteína	g.	1,2
Extracto etéreo	g.	0,2
Carbohidratos totales	g.	29,2
Fibra	g.	0,6
Ceniza	g.	0,5
Calcio	mg.	6
Fósforo	mg.	21
Hierro	mg.	0,7
Caroteno	mg.	0,3
Tiamina (Vitamina B1)	mg.	0,02
Riboflavina (Vitamina B2)	mg.	0,03
Niacina (Vitamina B3)	mg.	0,57
Ácido Ascórbico (Vitamina C)	mg.	16

Fuente: (Instituto nacional de nutrición, (1975) citado por Valencia, (2012))

2.1.3. PROCESADO

Castellanos y Algecira (2012) afirman que esta especie posee una vida poscosecha reducida y que por lo tanto necesita de tecnologías que permitan alargar el tiempo de vida útil y así disminuir las pérdidas. La aplicación del secado permite alargar la vida útil de las frutas, adición de valor agregado a la materia prima, menores costos de transporte, distribución y almacenaje por reducción de peso y volumen final.

Los productos que se obtienen de los bananos se obtienen mediante el enlatado, secado, congelación, extracción, fritura o fermentación. El puré dirigido para bebés y deportistas destaca por su valor terapéutico: fácil digestibilidad, bajo contenido

de grasa y alto contenido de vitaminas y minerales. Se elaboran también néctares, dulces, jugos clarificados y concentrados, bebidas alcohólicas, etanol y vinagre.

Otro producto destacado es el banano pasa. La FAO (2006) citada por Vega (2014) sostiene que este producto: “Es típico de las zonas costeras de América Central, el proceso consiste en secar los bananos, enteros o en mitades, hasta un nivel de humedad del 15% o menos” (p.9).

2.1.3.1. Color de los frutos

El color es el resultado de la presencia de diversos pigmentos: la clorofila de color verde, los antocianos de colores entre rojo y púrpura y los carotenoides de colores amarillo, naranja y rojo. La maduración del banano se evidencia visualmente por el cambio de color de verde a amarillo, como consecuencia de la degradación de la clorofila; mientras que el pardeamiento de frutas y hortalizas se debe a la actividad de las enzimas. El color por lo tanto, se puede utilizar para determinar si una fruta está madura, o si hay signos de deterioro, es así que el color se puede utilizar como índice de transformaciones naturales de los alimentos o de cambios ocurridos durante el proceso industrial. El color es el índice físico más utilizado para apreciar el estado de madurez. En la figura 1 se presentan los índices de color de los bananos.

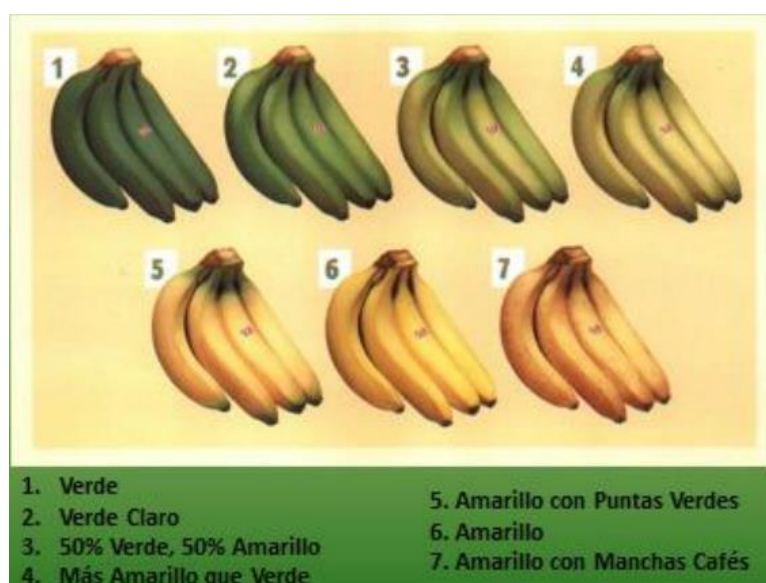


Figura 1. Índices de madurez de banano

Fuente: (AEBE, 2015 citado por Camacho, 2016)

El color es la sensación producida por las radiaciones luminosas tras su absorción en la retina y posterior procesamiento a nivel cerebral para hacerlo consciente (Valero, 2013). El color es un fenómeno perceptual que depende del observador y de las condiciones en las cuales el color es observado. Es una característica de la luz, la cual puede ser medida en términos de intensidad y longitud de onda (Pathare, Opara, y Al-Said, 2013)

Lo que llamamos “luz” cubre el intervalo de longitudes de onda entre 0,75 mm (color rojo) y 0,4 mm (color violeta), el cual puede ser percibido por nuestro sistema visual y que llamamos “espectro visible”, la luz de diferentes longitudes de onda se percibe en forma de colores diferentes. (La luz: ciencia y tecnología, 2015)

El color surge por la incidencia de la luz en intensidades mayores a ciertas longitudes de onda que en otras. Cuando la luz incide sobre un objeto, suele ocurrir que algunas de sus longitudes de onda, son absorbidas y otras reflejadas. Si el objeto parece blanco, es porque toda su radiación visible es reflejada. Pero cuando el objeto presenta un color distinto del blanco significa que parte de la radiación visible es absorbida, mientras otras longitudes de onda son reflejadas y causan una sensación de color cuando inciden en el ojo. Un objeto que absorbe toda la radiación que incide sobre él se conoce como cuerpo negro (Propagación de la luz (Prácticas de Física General), 2014).

La percepción del color requiere un objeto, un iluminante y un observador. La comisión internacional de iluminación CIE ha definido los iluminantes A, B, C, D que se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Descripción de iluminantes según la CIE

Iluminante	Simula a:
A	Lámpara de filamento de tungsteno
B	Luz solar directa del medio día
C	Luz diurna media del cielo en el hemisferio norte
D₆₅	Luz del día incluyendo la región ultravioleta

Fuente: (Valero, 2013)

La luz puede reflejarse, absorberse o transmitirse y la importancia relativa de cada uno de estos fenómenos determina la apariencia del objeto (Manresa, 2007).

Albert H. Munsell en el año 1990 estableció las diferencias entre matiz, luminosidad y cromaticidad como cualidades primarias del color. El matiz lo define también como tono, tinte, color o “hue” y está caracterizado por la longitud de onda de la radiación, por lo cual permite afirmar si un color es rojo, verde, amarillo, azul, violeta, etc. La luminosidad por su parte, la define como brillantez, brillo y “value”; está dada por el contenido total de energía y origina a las sensaciones de claros y oscuros de un color. El croma es la saturación, intensidad, pureza, “chroma” y define la intensidad o pureza espectral del color que va de los tonos pálidos, apagados o débiles a los más fuertes, intensos y vivos.

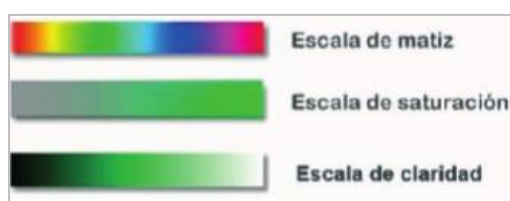


Figura 2. Atributos perceptuales del color
Fuente: (Valero, 2013)

El color puede expresarse en números y gráficamente, por lo tanto representa una herramienta útil y eficaz para entender y controlar los procesos industriales donde los productos adquieren su color en etapas iniciales, intermedias o finales. Uno de los equipos utilizados para este propósito es el espectrofotómetro. “Miden la cantidad de luz transmitida o reflejada (según sean líquidos transparentes o sólidos opacos) con relación a un blanco patrón. Se trabaja solo dentro del intervalo visible; aproximadamente entre 380 y 750 nm” (Instituto, P. N., 2010, p.284).

El lenguaje numérico y gráfico del color es el espacio de color. El espacio de color base es RGB. Taguchi (2016) afirma que algunos espacios de color corresponden al sistema visual humano en tanto que otros han sido formulados para el procesamiento del color en máquinas, tal es el caso del espacio RGB. Representa y muestra imágenes en sistemas electrónicos como por ejemplo, televisiones y computadoras. Su nombre proviene de las iniciales de los colores primarios. Éstos se adicionan para reproducir una gran variedad de colores.

Por otro lado, el espacio de color CIE LAB define un espacio de coordenadas L^* , a^* , b^* graficado en la figura 3.



Figura 3. Espacio de color CIELAB
Fuente: (Valero, 2013)

L^* : Lightness, claridad, (desde el 0, que indica negro, hasta el 100, que indica blanco). La coordenada en a^* : va desde el rojo al verde (valores negativos indican verde mientras que valores positivos indican rojo. Con valores que van del -120 al $+120$). La coordenada en b^* indica posición entre amarillo y azul (valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo (Valero, 2013).

El sistema CIE $L^*a^*b^*$ describe el color en términos de dos coordenadas cromáticas (a^* y b^*) y una de luminosidad (L^*) lo que permite inferir el color de una muestra y determinar la diferencia de color total entre pares de muestras (Manresa, 2007). El color del banano sin procesar se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Coordenadas CIELab iniciales promedio del banano sin procesar

	Valor promedio de:			
	L^*	a^*	b^*	Hue
Tejido del mesocarpio	97,309	-8,669	17,786	-64,014

Fuente: (Bejarano y Morales, 2005)

Los valores del color en la escala CIELAB para los bananos según las condiciones y métodos de secado se reportan en la tabla 5.

Tabla 5. Referencias de medidas de color de bananos deshidratados

Método y condiciones de secado	Contenido de	L*	a*	b*
Aire caliente, 90°C, %HRE = 25%	0,04 – 0,06	10 – 2	0,4 – 1	4 -10
Deshidratación osmótica 50 – 70° sucrosa	3	65	2	15
Aire caliente 70°C, %HRE = 10%	0.1	10	40,9	18,3
Liofilización		53	3,56	13,7

Fuente: (Krokida y Maroulis, 2001)

En la tabla 5 se puede evidenciar que para un mismo método de deshidratación (aire caliente) a diferentes temperaturas (90° y 70°C), los parámetros L*, a* y b* son diferentes.

2.1.3.2. Efecto de las condiciones de secado en las propiedades ópticas de los alimentos

El espacio de color CIElab es un método no destructivo para evaluar el color de las frutas deshidratadas. “Se ha comprobado que es valioso para describir la deterioración del color, además de proveer de información útil para el control de calidad de frutas, tales como kiwi, banano, guava y pulpa de mango durante el secado” (Adewale, Afam, Jideani y Patrick, 2015, p.13).

Al expresar el color en términos numéricos, se elimina la subjetividad de la percepción humana y se hace posible la comparación estadística (Manresa, 2007). Es necesario además, relacionarlo con la percepción sensorial. Cuando se conocen los valores L*, a*, b* de dos muestras dadas se puede determinar la diferencia de color (ΔE), mediante la ecuación 1.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

$$\Delta L^{*2} = L_f^{*} - L_0^{*} \text{ Diferencia de } L^{*}$$

$$\Delta a^{*2} = a_f^{*} - a_0^{*} \text{ Diferencia de } a^{*}$$

$$\Delta b^{*2} = b_f^{*} - b_0^{*} \text{ Diferencia de } b^{*}$$

La diferencia de color total entre dos muestras puede ser clasificada, según su magnitud como lo demuestra la tabla 6.

Tabla 6. Relación entre el juicio del observador y la diferencia de color medida por

Diferencia percibida Sensorialmente	Valor de ΔE (instrumentalmente)
Trazas	0 – 0,5
Ligera	0,5 – 1,5
Notable	1,5 – 3,0
Apreciable	3,0 – 6,0
Mucha	6,0 – 12,0
Extraordinaria	Más de 12,0

Fuente: (Manresa, 2007)

Pekke, Pan, Atungulu, Smith y Thompson (2013) mencionan que el color puede ser afectado por el pardeamiento de origen enzimático y no enzimático, usualmente se estudia la contribución de ambos al pardeamiento total.

Pekke et al., (2013) en su investigación, sostienen que el incremento de ΔE en las rebanadas de banano secadas por aire caliente, podría deberse al pardeamiento enzimático durante los primeros 20 minutos, causado por el incremento gradual de la temperatura hasta la temperatura óptima de acción de la enzima, posteriormente al subir la temperatura por encima de la óptima; las enzimas se inactivan.

2.1.4. PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO

Las frutas están formadas por tejidos vivos que naturalmente contienen enzimas. Las enzimas que catalizan la reacción de oscurecimiento o pardeamiento son las polifenoloxidasas clasificadas como óxido reductasas.

La reacción de pardeamiento enzimático genera pigmentos que van de un ligero amarillo a un intenso color café. Cuando el tejido interno del vegetal se expone al aire, sea por corte, mordedura o golpe, la reacción ocurre y requiere de tres elementos: una enzima, un sustrato y oxígeno (Badui, 2012, p.200).

Cuando los tejidos de la fruta permanecen íntegros, la enzima y el sustrato están separados por membranas sin embargo, al dañarse o romperse estas membranas, se

propicia el contacto de la enzima y el sustrato y la entrada de oxígeno. “El principal sustrato de las polifenoloxidasas son monofenoles, ortodifenoles y polifenoles que se oxidan para formar melaninas que contiene hierro” (Badui, 2012, p.201)

“El pardeamiento enzimático, es uno de los principales problemas que afectan la calidad y limitan la vida útil de frutas y hortalizas mínimamente procesadas.” (Denoya, Ardanaz, Sancho, Benítez, González y Guidi, 2012, p. 1).

Bello (2008), afirma que la polifenoloxidasa es una metaloenzima que contiene un 0,2% de cobre como grupo prostético y es capaz de catalizar dos tipos de reacciones: El paso de monofenoles a orto-difenoles mediante una actividad que implica una hidroxilación y luego la conversión de orto-difenoles a orto-quinonas, a través de una actividad catecolasa, que implica una oxidación.

En general, el sistema es activo en la zona situada entre los pH 5,0 y 7,0, con preferencia por el rango 6,0-6,5. El sistema se inactiva cuando el pH del medio alcanza las zonas ácidas inferiores a 3,0.

En las bananas el sustrato fenólico principal es la dopamina y se encuentran en mayor cantidad en las cáscaras que en la pulpa. La fig. 4 muestra la estructura de la dopamina evidenciando que es un compuesto hidrofílico.

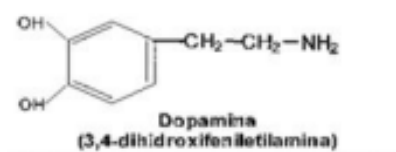


Figura 4. Estructura química de la dopamina

Fuente: (Soto, 2011)

2.1.4.1. Mecanismo de reacción de la enzima Polifenoloxidasa

Las polifenoloxidasas realizan la hidroxilación de los monofenoles en o-difenoles y posteriormente la oxidación de estos para generar o-quinonas. Los compuestos fenólicos son incoloros la mayoría de veces, las quinonas son ligeramente coloreadas de amarillo, naranja, rosa, rojo o marrón, dependiendo del pH y de los compuestos fenólicos de los que provienen (Jeantet, Croguennec, Schuck y Brulé, 2013). Las o-quinonas tienen la característica de ser muy reactivas y dan lugar a

una variedad de sustancias que luego de múltiples reacciones de oxidación, adición y polimerización generan pigmentos denominados melaninas figura 5.

“La dopamina principal sustrato en el banano pasa a 2,3-dihidroindol-5,6-quinona e indol-5,6-quinona, luego es oxidada para dar pigmentos de color marrón”.

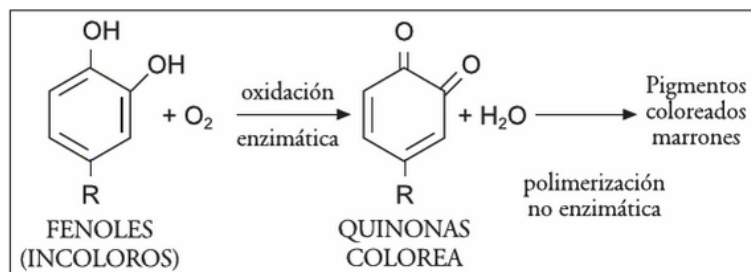


Figura 5. Reacción de oxidación de fenoles
Fuente: (Medín y Medín, 2011)

2.1.4.2. Inhibición de la enzima polifenoloxidasas

La polifenoloxidasas puede ser inhibida mediante varios procedimientos: escaldado por períodos de tiempo cortos y a temperaturas que sobrepasen aquellas a las cuales la enzima permanece activa, uso de agentes que reduzcan el pH hasta un valor de 3, uso de agentes secuestrantes del cobre, inmersión en soluciones de sulfitos a dosis muy bajas y la eliminación de oxígeno. Se han realizado muchas investigaciones sobre agentes antipardeantes y su efectividad para inhibir la enzima polifenoloxidasas, a continuación se mencionan algunas:

Un estudio de inhibición de la enzima polifenoloxidasas de banano, sugiere el uso de compuestos fenólicos provenientes de una planta. Como resultados muestran que el isoespintanol, metabolito principal de la planta, demostró ser la mejor respuesta sin embargo, menos efectivo que el ácido ascórbico utilizado como referencia. El isoespintanol realizó una inhibición competitiva y el ácido ascórbico actuó como un agente reductor. (Gil, Rojano y Guerrero, 2013).

Los agentes L-Cisteína, Metabisulfito de sodio y ácido ascórbico resultaron efectivos para inhibir la enzima de la pulpa de plátano *Awak*. El ácido cítrico presentó una efectividad media y la sal es un inhibidor débil (Palacín, 2012).

Varios autores mencionan que el agente antipardeante más efectivo es el metabisulfito de sodio sin embargo la tendencia es disminuir su uso por los efectos secundarios que produce. La FDA ha prohibido su uso, desde 1986 en los productos frescos y se han fijado límites residuales para otros productos.

En el control del pardeamiento enzimático por acidificación se han empleado ácidos orgánicos: cítrico, ascórbico, iso-ascórbico y la sal eritorbato de sodio. En el trabajo de Alarcón, López y Restrepo (2012) se menciona que en la operación del pelado de los bananos se utilizó una solución de eritorbato de sodio al 1% y ácido cítrico al 0,5% para evitar el pardeamiento enzimático.

2.1.5. PARDEAMIENTO NO ENZIMÁTICO

El pardeamiento no enzimático se puede producir por tres vías: la reacción de Maillard, degradación del ácido ascórbico y caramelización de azúcares. La más representativa es la reacción de Maillard, que requiere azúcares reductores como la ribosa, glucosa, etc. y grupos amino provenientes de aminoácidos libres o proteínas.

El pardeamiento no enzimático se frena a bajas temperaturas pero puede ocurrir aún por debajo de 0°C. Ocurre a velocidad máxima a una actividad de agua entre 0,6 – 0,8. A mayor o a menor actividad de agua de este rango la velocidad disminuye ya que implica una disolución de los reactivos o bien su mayor dificultad de difusión. “Los alimentos deshidratados son estables por debajo de la temperatura de transición vítrea donde la movilidad molecular es nula” (Jeantet et al., 2013, p.136)

El bloqueo de las reacciones se consigue con sustancias que logren reaccionar con el grupo carbonilo de los azúcares reductores como los sulfitos y aminoácidos que tienen azufre en su estructura.

2.1.6. PRETRATAMIENTOS DE LAS FRUTAS ANTES DE LA DESHIDRATACIÓN

Los pretratamientos están incluidos en el acondicionamiento de las frutas y son operaciones específicas para cada tipo de alimento y se utilizan, ya sea para mejorar la calidad del producto, coadyuvar a que el proceso de deshidratación se realice de manera adecuada, o bien, a incrementar la vida útil del alimento deshidratado (Colina, 2010, p. 67).

El objetivo de los pretratamientos es conservar el color claro y brillante durante el secado y almacenamiento. Los pretratamientos comunes aplicados a las frutas antes del secado incluyen el escaldado, jugo de limón, ácido ascórbico, sulfitación, inmersión en miel, soluciones salinas, deshidratación osmótica, hidróxido de sodio, aceite de oliva, ultrasonido, entre otros (Omolola, Jideani y Kapila, 2015).

2.1.6.1. Escaldado

“Para llevar a cabo el escaldado, los vegetales y frutas se sumergen en agua hirviendo o se exponen a vapor de agua durante un breve período de tiempo, a temperaturas que oscilan entre los 70 y los 100 °C” (Paulete, 2013, p. 27).

Castro (2011) afirma que el tiempo puede ir de 1 a 15 minutos, sin embargo dependerá de la forma, tamaño y cantidad del alimento, además debe ser suficiente para inactivar enzimas resistentes a las altas temperaturas como la catalasa.

El escaldado fija los pigmentos de las frutas al atraparlos entre los tejidos, destruye enzimas y extrae el oxígeno presente. La desventaja del escaldado con agua radica en que el agua puede arrastrar vitaminas y el alto consumo de agua.

La polifenoloxidasas puede ser desnaturalizada mediante escaldado a temperaturas de 70 a 90°C. En bananos *Musa Cavendish* se reportó actividad a una temperatura óptima de 30°C y una inactivación térmica a temperaturas entre 60 – 75°C. Castro, Andrade y Cornejo (s.f) encontraron que se logra este objetivo utilizando agua a 100°C por un tiempo de 45 segundos.

2.1.6.2. Utilización de agentes antipardeantes

Generalmente se aplican mediante inmersión de las frutas en disoluciones. Pueden actuar sobre la enzima, el sustrato o los productos de la reacción.

Ácido láctico: El ácido láctico y sus sales se utilizan en los alimentos por su acción antioxidante. No existe límite en la cantidad utilizada que la buena práctica de fabricación.

Eritorbato de sodio: El eritorbato de sodio es un tipo de agente de antioxidación, antisepsia y conservación. Es un isómero sintético de la vitamina C y por lo tanto

comparte su actividad antioxidante. En los escabeches, el eritorbato de sodio puede evitar la formación de nitrosaminas, puede eliminar los fenómenos nocivos sobre el color y turbidez de alimentos y bebidas. Se utiliza sobre todo en el pescado, carne, frutas, verduras, alimentos enlatados, vinos y otras bebidas (Sodium erythorbate industry projected to witness Swift growth in 2015, 2016).

“El eritorbato de sodio actúa mediante la inhibición del oxígeno en los alimentos, ayuda a conservar el color natural y el sabor de los productos alimenticios, además puede extender la vida útil de tales productos, sin efectos nocivos” (Sodium erythorbate industry projected to witness Swift growth in 2015, 2016). “El eritorbato de sodio y el ácido eritórbito reducen fuertemente el oxígeno molecular. La mayoría de investigaciones sugiere que tienen similares propiedades antioxidantes al ácido ascórbico por lo que es económicamente conveniente utilizarlos” (Parzanese, s.f., p.35).

Ventura, Colinas, Martínez y Valle (2011) en su investigación encontraron que los mejores resultados de minimización del pardeamiento en *Pleurotus ostreatus* se consiguieron con eritorbato de sodio y ácido cítrico.

Metabisulfito de sodio: Es el compuesto generalmente utilizado. La concentración final de sulfito que se permite es de 0,035%. El metabisulfito evita también, el oscurecimiento no enzimático por reacciones de Maillard (Colina, 2010). Los pretratamientos para secar bananos según Harrison y Andress (s. f.) se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Recomendaciones para el secado de bananos

Fruta	Preparación	Pretratamientos	Tiempo de secado
Bananos	Usar bananos amarillos o ligeramente salpicadas de café. Evitar usar bananos magulladas o sobremaduras. Pelar y rebanar en rodajas de 1/4 a 3/8 plg.	*Baño de miel *Solución de ácido ascórbico. *Inmersión en jugo de frutas (piña, limón). *Inmersión en soluciones de sulfitos.	8 – 10 horas

Fuente: (Harrison y Andress, s.f)

2.2. SECADO DE ALIMENTOS

El secado es una de las técnicas más antiguas para preservar los alimentos, puesto que la reducción del contenido de agua presente, evita que los hongos, mohos y levaduras puedan proliferar y dañar los alimentos.

El secado se fundamenta en la extracción del agua del alimento para reducir su Actividad de agua (a_w). El contenido de agua de las frutas está presente en forma de agua libre y agua ligada, cuyo porcentaje está relacionado con la estructura celular y la composición del alimento (Jurado, 2013, p.62).

El agua libre está disponible para las reacciones enzimáticas y microbiológicas y se puede extraer fácilmente por presión o aumento de temperatura; mientras que el agua ligada está unida estructuralmente a los constituyentes de los alimentos. En el proceso de secado se extrae primero el agua libre de forma fácil y por último se extrae agua fuertemente ligada y por ello necesita más energía.

La naturaleza del agua presente en el alimento ocasiona que durante el proceso de secado de los alimentos, se presenten las siguientes etapas: Movimiento de solutos, Retracción y Endurecimiento superficial. La calidad de los alimentos durante el secado varía según el método de secado y las condiciones del proceso. El color, la porosidad, la textura pueden resultar diferentes en una misma materia prima inicial secada por métodos diferentes.

2.2.1. ACTIVIDAD DE AGUA

La actividad de agua es la disponibilidad o grado de libertad del agua de un producto. Se expresa mediante la ecuación 2.

$$a_w = \frac{p_w}{p_w^0} \quad (2)$$

p_w : presión de vapor del agua en equilibrio con el alimento.

p_w^0 : presión de vapor del agua pura a la misma temperatura.

La actividad de agua es la humedad relativa de equilibrio y puede ser encontrada midiendo la humedad relativa del aire alrededor de la muestra, después de alcanzar un equilibrio en humedad y temperatura, en estas condiciones los productos no

ganan ni pierden humedad. La humedad relativa de equilibrio (HRE) se relaciona con la actividad de agua por la ecuación 3 (Martínez, Nuria, Ana, Chiralt y Amparo, 2010).

$$HRE (\%) = 100a_w \quad (3)$$

El agua pura posee una actividad de agua igual a 1 ya que al estar en estado libre, $p = p_0$. Cuando el agua se encuentra ligada al sustrato seco por fuerzas de unión fisicoquímicas $p < p_0$, por lo tanto el valor de la actividad de agua se localizará entre 0 y 1. El valor tiende hacia cero cuando las fuerzas de unión son más fuertes, por el contrario, si tiende a 1 cuando el agua se aproxima al estado libre y se evapora como el agua pura hacia el aire.

En el caso de un producto, la actividad de agua es siempre menor a 1 porque sus constituyentes retienen el agua de manera parcial; esto significa que su capacidad de vaporizarse es menor. “La disminución de la actividad de agua está directamente relacionada con la concentración de los solutos en la solución o alimento” (Medin y Medin, 2011, p.34).

El agua dentro de un producto puede encontrarse en varias formas: agua libre y agua ligada. El agua libre al comportarse como el agua pura requiere 2400 KJ/kg de energía para evaporarse, mientras que el agua ligada requiere una cantidad mayor. La relación entre el contenido de humedad en base seca y la actividad de agua a temperatura constante se conoce como isoterma de equilibrio.

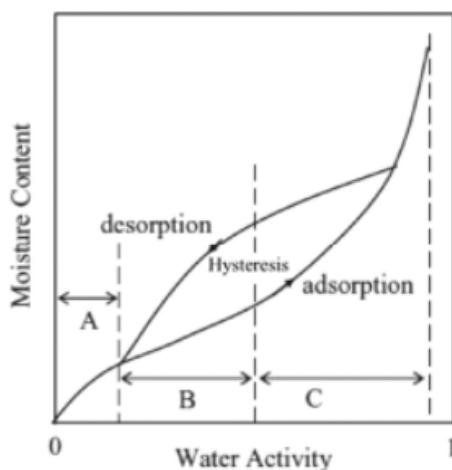


Figura 6. Isoterma de equilibrio
Fuente: (Andrade, Lemus y Pérez, 2011)

En la figura 6 se observa que la a_w disminuye conforme disminuye el contenido de humedad (W). La forma de la curva refleja como el agua se une al sistema alimentario, una isoterma de sorción puede ser dividida en tres partes dependiendo de si el efecto que prevalece en la a_w se deba a la sorción pura, condensación capilar o efecto de soluto (Andrade, Lemus y Perez, 2011).

Los mismos autores mencionan que la región A representa el agua fuertemente ligada y su entalpía de vaporización es considerablemente mayor a la del agua pura. Incluye el agua estructural que está adsorbida por los componentes hidrofílicos o polares del alimento, no se puede congelar y tampoco está disponible para las reacciones químicas. La región B corresponde al agua que se encuentra en los capilares finos, se encuentra en continua transición entre el agua ligada y el agua libre. Por último el agua en la región C se comporta como agua libre y está retenida en los capilares grandes y poros.

Las isotermas de sorción se pueden construir a partir de procesos de adsorción y de desorción, la diferencia entre las curvas que generan estos procesos se conocen como histéresis, como indica la figura 7.

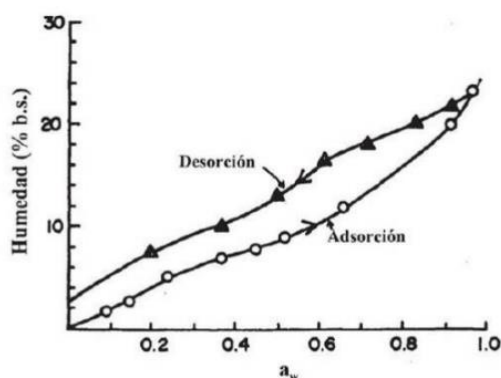


Figura 7. Fenómeno de histéresis: sorción de vapor de agua en arroz crioconcentrado
Fuente: (Martínez, Andrés y Chiralt, 2010).

La figura 7 demuestra que la isoterma de adsorción presenta a una actividad de agua determinada, un menor contenido de agua que la isoterma de desorción. Este fenómeno tiene especial importancia cuando se rehidrata un producto. La forma de las isotermas de sorción de agua está influida por la composición de los alimentos, el estado físico de sus componentes y la temperatura.

2.2.2. PROCESO BÁSICO DE SECADO

En el secado ocurre una transferencia simultánea de calor y masa, según la tabla 8.

Tabla 8. Procesos de transporte durante el proceso de secado

1. Transmisión de calor desde el gas para evaporar la humedad superficial.	Depende del mecanismo de transferencia: conducción, convección y radiación o como resultado de las combinaciones de estos mecanismos.
2. Transmisión de la humedad interna a la superficie del material alimentario y la subsecuente evaporación.	Depende de la temperatura externa, humedad relativa, velocidad de aire, área de secado expuesta y presión.

Fuente: (Wiley, 2012)

La transferencia de masa y las propiedades finales de un alimento deshidratado dependen de la estructura del mismo. La estructura de un material alimentario, según Krokida et al., (2001) puede ser caracterizada a partir de la determinación de la densidad aparente, densidad verdadera, porosidad y volumen específico. La porosidad de los bananos según el tipo de secado se examina en la tabla 9.

Krokida et al., mencionan: “La porosidad caracteriza la estructura abierta general de un material deshidratado y representa la fracción del volumen vacío.” (p.4).

Tabla 9. Valores de porosidad de bananos secados por diferentes métodos

Método y condiciones de secado	Humedad en base seca (Kg H₂O/Kg SS)	Porosidad
Aire caliente 70°C, 10%.	0,1	0,2
Secado al vacío 300 – 900 mbar.		0,2 – 0,7
Deshidratación osmótica		0,15
Liofilización		0,9 – 0,84

Fuente: (Krokida y Maroulis, 2001)

En la tabla 9 se puede observar que la porosidad cambia según el método de secado, siendo el valor de porosidad más alto para la liofilización, en donde el agua se elimina en mayor cantidad.

Para el caso de las frutas, Krokida et al., manifiestan que: “las manzanas desarrollan altos valores de porosidad, mientras que el encogimiento es menos intenso; por otra parte, en los bananos el encogimiento es muy intenso, y la porosidad muy baja” (p.7). Por lo tanto la textura final del banano deshidratado es más compacta, puesto que la proporción de espacios vacíos es mucho menor. En el estudio del proceso de secado es necesario conocer las siguientes definiciones:

Contenido de humedad de un sólido (X): Se expresa por lo común como la cantidad de humedad por unidad de peso de sólido seco o húmedo.

Contenido de humedad en base húmeda (X_{bh}): Se expresa mediante la ecuación 4:

$$X_{bh}(\%) = \frac{W_a}{W_a + W_{ms}} * 100 \quad (4)$$

X_{bh}: Contenido de humedad en base húmeda (%).

W_a: Peso del agua (g).

W_{ms}: Peso de la materia seca (g).

Contenido de humedad en base seca (X_{bs}): es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso del sólido seco. Se define por la ecuación 5.

$$X_{bs}(\%) = \frac{W_a}{W_{ms}} * 100 \quad (5)$$

X_{bs}: Contenido de humedad en base seca (%).

W_a: Peso del agua (Kg).

W_{ms}: Peso de la materia seca (Kg).

Humedad libre (X_{libre}): Es la diferencia entre el contenido de humedad de un sólido X_T y la humedad de equilibrio X*. Es el contenido de humedad en base húmeda en exceso de la humedad de equilibrio (por lo tanto libre para ser retirado) a la humedad del aire y temperatura dadas (Mujumdar, 1997).

$$X_{libre} = X_T - X^* \quad (6)$$

Humedad de equilibrio X^* : Es el límite teórico del secado, y es la porción de humedad de un sólido que no puede ser removida por el aire caliente que ingresa ya que están en equilibrio.

2.2.2.1. Cinética de secado

El secado por convección se divide en tres fases por lo general, tal y como se muestra en la figura 8. La primera corresponde a una fase inicial de precalentamiento, a la cual le sigue el período de velocidad de secado constante y por último una o más fases de velocidad de secado decreciente.

En el período de calentamiento, el producto y el agua que contiene se calientan hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo, la velocidad de transferencia de masa es muy baja, mas no la velocidad de transferencia de calor, puesto que el gradiente de temperatura es elevado. El período de velocidad de secado constante se caracteriza porque la velocidad de eliminación de agua por unidad de superficie uniforme; la evaporación sucede a la temperatura de bulbo húmedo.

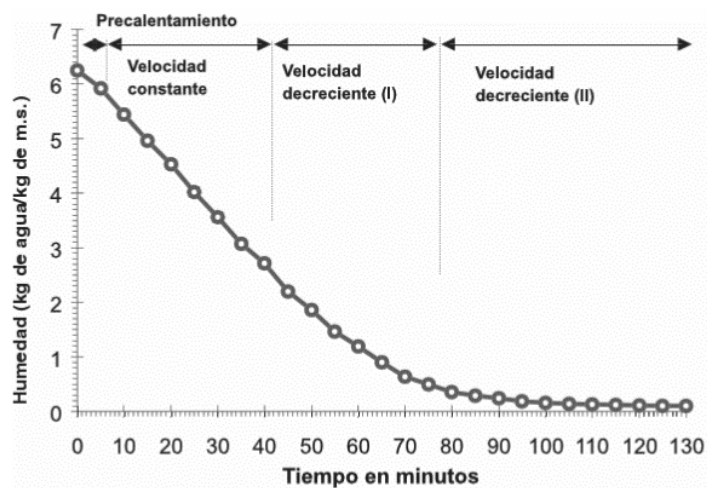


Figura 8. Períodos de secado
Fuente: (Casp y Abril, 2003 citado por Lara, 2017)

Pekke et al., (2013) encontraron en su investigación sobre deshidratación de bananos la ausencia del período de velocidad constante, lo cual es ratificado por Vega, Uribe, Lemus y Miranda (2007) quienes afirman que en el secado con aire caliente de productos de origen vegetal, el período de velocidad constante no se

observa y existe un período de velocidad decreciente marcada debido a la eliminación rápida de la humedad de las muestras.

En el período de velocidad de secado decreciente, la velocidad de secado disminuye debido a que la superficie efectiva de transferencia disminuye y el agua no puede movilizarse por capilaridad. El mecanismo de transporte de masa predominante es la difusión del vapor. En esta etapa el sólido absorbe calor del aire caliente y la temperatura se va cada vez aproximando a la temperatura del termómetro con bulbo seco del deshidratador. El período de velocidad constante y el período de velocidad decreciente están delimitados por un punto llamado contenido de humedad crítica. La humedad crítica depende del tamaño de la partícula y de las condiciones del aire de secado (Parikh, 2014).

El segundo período de velocidad decreciente el transporte de masa se reduce más rápidamente. Esta fase finaliza al llegar a la humedad de equilibrio. Las fases de velocidad decreciente se pueden visualizar como se muestra en la figura 9.

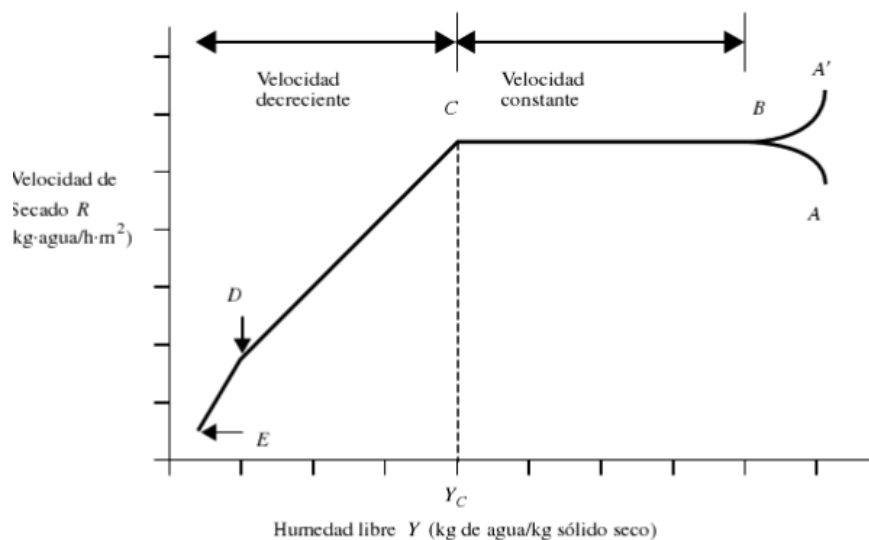


Figura 9. Curva típica de velocidad de secado bajo condiciones constantes

Fuente: (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005 citado por Benavides, 2017)

La velocidad de secado de un producto, bajo condiciones constantes se define mediante la ecuación 7:

$$N = -\frac{M_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (7)$$

N: Velocidad de secado y se expresa en Kg. m⁻². h⁻¹

A: área de evaporación

M_s: masa del sólido seco

Si se conoce la curva graficada en la figura 9, el tiempo total (t) que se necesita para reducir la humedad desde X₁ hasta X₂, puede ser calculado por la ecuación 8:

$$t = - \int_1^2 \frac{M_s}{A} \frac{dX}{N} \quad (8)$$

2.2.2.2. Modificaciones producidas en el producto con la deshidratación

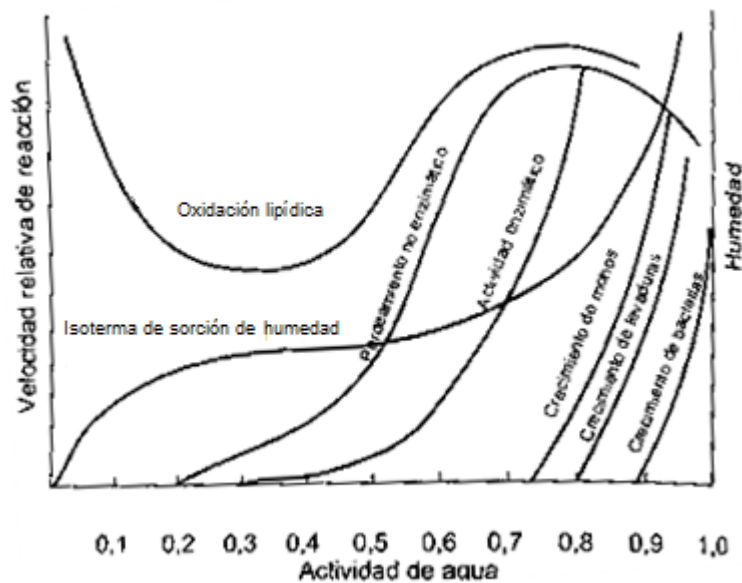


Figura 10. Velocidad de reacciones químicas y bioquímicas

Fuente: (Miranda y Teixeira, 2012)

Según muestra la figura 10, la proliferación de mohos, bacterias y levaduras se hace imposible a actividades de agua de 0,7 o menores. La tasa de actividad enzimática disminuye a medida que disminuye la actividad de agua y desaparece a actividades de agua menores a 0,3. La oxidación lipídica puede manifestarse en cualquier valor de actividad de agua, excepto entre aquellas que van de 0,9 a 1. El pardeamiento no enzimático no procede a actividades de agua menores a 0,2. La principal alteración de naturaleza física es la deformación plástica que se produce como resultado de

las pérdidas de fluido celular al aire, provocando la contracción del volumen de las células.

2.2.2.3. Secadores utilizados en la industria alimentaria.

Los secadores utilizados en la industria son de diversos tipos dependiendo de las características y propiedades físicas del producto y de acuerdo con el procedimiento por el cual se desea que se transfiera el calor. El procedimiento de transferencia del calor y la velocidad a la cual sucede dicha transferencia influye directamente en la calidad del producto final.

Los secadores se clasifican según el mecanismo por el cual se efectúe la transferencia de calor: convección, conducción y radiación. A su vez estos se dividen de acuerdo al tipo de contenedor del secador: bandejas, tambor, túnel y aspersion.

Secadores directos o convectivos: Utilizan gases calientes (aire calentado por vapor de agua, productos de la combustión, gases inertes, vapor recalentado, aire calentado por resistencias eléctricas, aire calentado por radiación solar) para suministrar el calor en contacto directo con el alimento, esencialmente mediante convección (Galaviz, 2012). Entre los secadores directos que se pueden encontrar están:

- **Secadores de horno:** Es el secador más sencillo, el aire calentado por un quemador en la parte inferior circula por convección natural o forzada sobre el lecho del alimento húmedo (Galaviz, 2012).
- **Secadores de bandejas o de armario:** Este tipo de secadores están formados por una cámara metálica rectangular donde se coloca un cierto número de bandejas separadas convenientemente. Disponen de un ventilador que permite la circulación del aire por los calentadores y después entre las bandejas, el aire húmedo sale del sistema a través de un ducto. La figura 11 muestra un secador de bandejas típico.

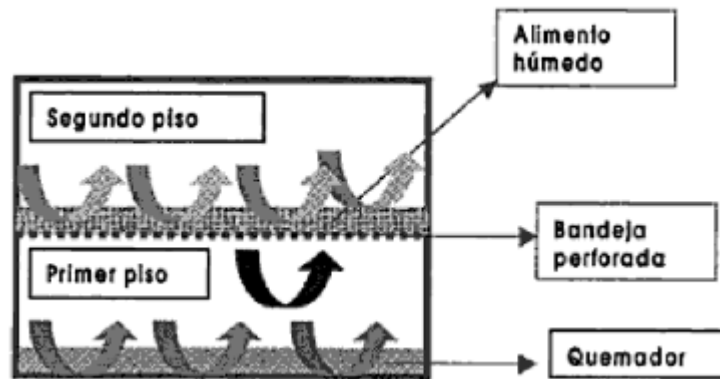


Figura 11. Esquema de un secador de bandejas
Fuente: (Galaviz, 2012)

El calor es transmitido por el aire por convección. La eficiencia de este tipo de secadores oscila entre el 20 y 60%. Estos secadores se utilizan a pequeña escala, en laboratorios y en plantas piloto. La desventaja que poseen es que no secan el producto de manera uniforme por lo cual se hace necesario cambiar de ubicación las bandejas durante el proceso.

- **Secadores de cinta transportadora:** El aire circula a través del material húmedo que se traslada sobre un transportador de cinta perforada dentro de un túnel de secado. Este túnel puede dividirse en dos o en tres secciones independientes de manera que pueda establecerse en cada una condiciones de secado diferentes (Galaviz, 2012).
- **Secadores de torre o bandejas giratorias:** Es un secador de bandejas de funcionamiento continuo. Consiste en una envoltura vertical, cilíndrica o hexagonal, dentro de la cual hay una serie de bandejas en forma de anillo acopladas unas sobre otras sobre un eje que gira lentamente a razón de 0,1 a 1,0 r.p.m. (Galaviz, 2012).

Los secadores directos son los más utilizados en la industria de los alimentos, en general constan de las siguientes partes: recinto, sistema de calefacción y sistema de impulsión de aire. Presentan la ventaja de aprovechar el contacto entre los gases calientes y los alimentos para calentarlos y separar el vapor. En este tipo de secadores la eficiencia mejora al aumentarse la temperatura del aire de secado de entrada.

Secadores por conducción o indirectos: El alimento recibe calor por conducción a través de la pared (metálica) que lo contiene, ésta a su vez puede recibir calor proveniente de vapor que condensa, agua caliente, aceites térmicos, gases de combustión y resistencias eléctricas (Galaviz, 2012). El agua vaporizada se separa de manera independiente del medio de calentamiento, por lo tanto la velocidad de secado depende del contacto que llegue a haber entre el alimento y la superficie caliente. La ventaja radica en que si utilizan fluidos de condensación, permiten la recuperación del disolvente y son apropiados para la desecación a presiones reducidas y en atmósferas inertes por lo cual, son idóneos para secar materias sensibles, fácilmente oxidables (Galaviz, 2012). Entre estos secadores, se citan:

- **Secadores de bandeja a vacío:** Se utilizan para el secado de polvos, pastas o líquidos densos destinados a la industria química y farmacéutica.
- **Liofilizadores:** “Su principio se fundamenta en la sublimación del agua que solo se consigue si se alcanza el punto triple del agua situado a 610 Pa de presión y a 0,01 °C” (Jurado, 2013, p. 87).

2.2.3. PSICROMETRÍA

La psicrometría es la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo, a través del uso de los diagramas psicrométricos (ver figura 12).

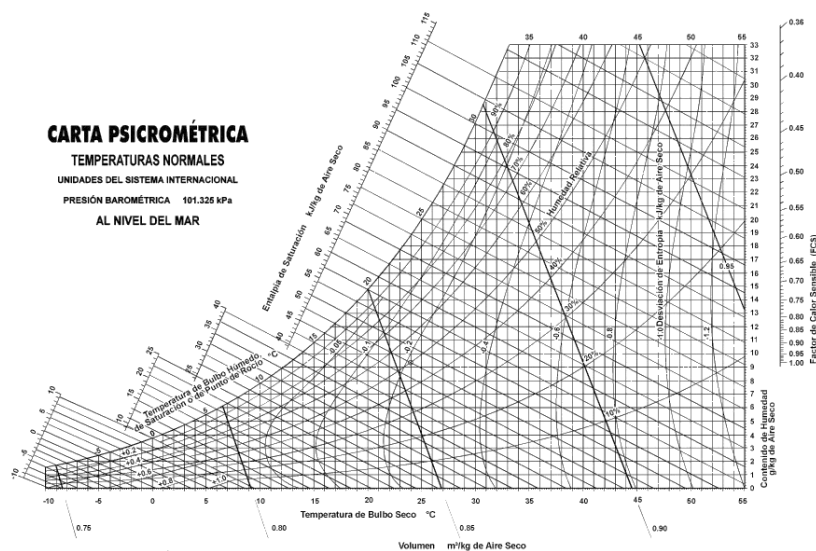


Figura 12. Diagrama psicrométrico a 101,325 KPa de presión barométrica
Fuente: (Vega, 2013)

El aire es una mezcla de gases altamente sobrecalentados, cuando se calienta o enfría un aire seco, solamente se le añade o quita calor sensible. Cuando el aire se calienta a presión constante, se expande y por lo tanto su densidad disminuye; mientras que cuando se lo enfría su densidad aumenta. En un aire húmedo todos los constituyentes están en la misma proporción, excepto el vapor de agua, comúnmente, un aire húmedo es la mezcla del aire seco y el vapor de agua.

La humedad expresa la presencia de vapor de agua en el aire. Las palabras "vapor" y "gas", se diferencia en que un gas es un vapor altamente sobrecalentado, muy lejos de su temperatura de saturación, como el aire. Un vapor está en sus condiciones de saturación o no muy lejos de ellas, como el vapor de agua. Así pues, el vapor de agua o "humedad" en un espacio, puede estar en una condición de saturación o ligeramente arriba de ella. Si lo enfriamos unos cuantos grados, hacemos que se condense, y si le aplicamos calor, lo sobrecalentamos. Las propiedades del vapor de agua también pueden ser tabuladas ya que varían según la presión y temperatura.

2.2.3.1. Variables psicrométricas

Presión total: Según la Ley de Dalton, la presión total será la suma de las presiones parciales del aire seco y del vapor de agua; como se muestra en la ecuación 9.

$$P_T = P_{as} + P_v \quad (9)$$

P_T : Presión absoluta total

P_{as} : Presión absoluta del aire seco

P_v : Presión del vapor de agua

Presión del aire seco: Dada por la ley de los gases ideales, en la ecuación 10.

$$P_{as}V = \frac{m_{as}}{M_{as}}RT_s \quad (10)$$

V : Volumen del recinto m^3

m_{as} : Masa de aire seco en el recinto (kg)

M_{as} : Masa molecular del aire seco = 28,965 (Kg/Kmol)

T_s : Temperatura del aire seco (K)

R: Constante universal de gases perfectos = 8314,4 J/Kmol K

Presión del vapor de agua (P_v): Se puede aplicar la misma fórmula anterior por considerarse un gas ideal.

Humedad absoluta: Es el contenido en humedad de un volumen de aire o gas expresado en Kg agua/Kg aire seco.

Humedad relativa (%HRE): Expresa la cantidad de humedad en una muestra dada de aire, en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría estando totalmente saturado y a la misma temperatura, se define por la ecuación 11.

$$\%HRE = \frac{p_v}{p_s} * 100 \quad (11)$$

P_v : es la presión parcial del vapor de agua en la fase gas.

P_s : presión de saturación.

Punto de rocío (T_r): Es la temperatura por debajo de la cual el vapor de agua presente en el aire empieza a condensarse.

Temperatura de bulbo húmedo (T_{bh}): Es la temperatura de equilibrio que alcanza una superficie húmeda que se está evaporando en condiciones adiabáticas hacia una corriente de aire no saturado.

Temperatura de bulbo seco (T_{bs}): Es la temperatura del aire como mide el termómetro.

2.2.4. ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE SECADO DE LAS FRUTAS

Temperatura del aire: La temperatura debe ser baja al inicio para evitar en lo posible pérdidas nutricionales y alteraciones de la forma del alimento, suele

ascender a 90-100°C en cuanto el alimento se ha calentado y descender a 50°C al perder su mayor humedad (Jurado, 2013).

Esto permitirá la transmisión del calor primeramente, desde el aire a la superficie del producto, luego el calor se transmitirá hasta el interior del sólido y por último sucede la transferencia del agua hacia el aire. La temperatura del aire entrante determina la capacidad del aire para llevar la humedad. La relación entre la temperatura del aire y su capacidad de retención de vapor es directa (Parikh, 2014).

En las referencias consultadas se menciona la aplicación de temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C (Pekke, et. al., 2013). Los mismos autores mencionan que debido al alto contenido de azúcares, el proceso de deshidratación de bananas normalmente requiere altas temperaturas y tiempos prolongados, lo cual afecta el sabor, color, textura y capacidad de rehidratación.

Humedad del aire: Se debe emplear aire seco para que pueda absorber la mayor cantidad de agua del alimento (Jurado, 2013). Por lo tanto, es necesario que la humedad del aire sea menor que la humedad del producto para que se facilite la extracción del agua por el aire caliente.

La presión del medio: Debe ser menor que la presión interna del alimento para que el agua evaporada de este salga (Jurado, 2013). La diferencia en las presiones de vapor del aire y del alimento promueve la evaporación del agua del alimento.

Superficie del alimento: Se debe aumentar la superficie para acelerar el secado, ya que el alimento se calienta más rápido al ser la superficie en contacto con aire mayor (Jurado, 2013). El estudio realizado por Boudhrioua, Giampaoli y Bonazzi (2002) del proceso de secado de bananas, fija un espesor de las rebanadas en 3 mm.

Velocidad del aire de secado: La velocidad del aire de secado es importante ya que se estima que mientras más aire haya disponible por unidad de tiempo, mayor será la cantidad de calor disponible lo cual, hará posible la extracción de una cantidad mayor de agua en un tiempo dado.

En la investigación realizada por Carranza y Sánchez (2003) sobre la cinética de secado de cubos de plátano *Musa Paradisiaca* se interpretó que al mantener constante cada una de las temperaturas de secado (40°C, 50°C y 60°C), aumentando

la velocidad de aire ocurre un descenso en el tiempo de secado ya que aumenta con ella la rapidez de transferencia de calor y de masa.

La resistencia que opone la capa límite de aire que se encuentra en la superficie de los productos a la transferencia de materia y energía depende de la velocidad del aire. A medida que aumenta la velocidad del aire, disminuye el espesor de la capa límite, la resistencia se reduce y la velocidad de secado aumenta (Elías, 2012, p.703).

2.2.5. DETERMINACIÓN DE LA SEQUEDAD DE LAS FRUTAS

Harrison y Andress (s. f.) afirman “Las frutas deshidratadas generalmente son consumidas sin ser rehidratadas, por ello, no deberían ser deshidratadas hasta el punto de la fragilidad.”(p.4). A falta de instrumentos para detectar la sequedad de un producto, se han descrito características, en base a la experiencia, que toman las frutas cuando han terminado de deshidratarse. Estas características son evaluadas una vez que las frutas se han dejado enfriar por 30 minutos. En general, una fruta está deshidratada cuando se la puede describir como flexible y correosa, sin que llegue a escurrir agua al presionarla. Los bananos deben presentarse correosos, flexibles y no muy duros para poder ser consumido en su estado seco. El punto final para los bananos deshidratados según la FAO está determinado por el contenido de humedad y por la textura del producto, que debe ser hulosa.

2.2.6. TRANSICIONES DE FASE EN ALIMENTOS

Los alimentos son sistemas multicomponente y multifásicos. Los componentes pueden cambiar de fase por efecto de las condiciones de temperatura y presión en las cuales son procesados, almacenados o consumidos. Los componentes de los alimentos pueden o no encontrarse disueltos en el agua, dependiendo de su solubilidad, tal como muestra la figura 13. Aquellos componentes insolubles y solubles describen cada uno una fase que puede tener sus propias transiciones dependiendo de la temperatura.

El cambio de movilidad molecular, consecuencia de las transiciones de fase, involucra cambios en las propiedades físicas, entre ellas las propiedades mecánicas

referidas al comportamiento de los productos frente a esfuerzos y deformaciones; y las propiedades difusionales que influyen en la velocidad con que se producen algunas reacciones como el pardeamiento no enzimático, la pérdida y oxidación de lípidos o aromas encapsulados, reacciones enzimáticas, etc. Es importante conocer las temperaturas de transición y sus relaciones con la composición para controlar los procesos de elaboración, almacenamiento y manipulación de los alimentos.

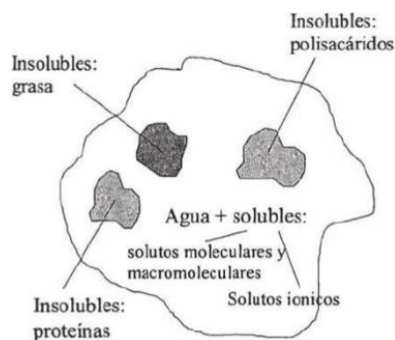


Figura 13. Representación de los componentes de un alimento

Fuente: (Martínez, Andrés, y Chiralt, 2010)

La temperatura a la cual ocurre la transición vítrea se denomina temperatura de transición vítrea (T_g). Al aumentar la temperatura de almacenamiento por encima de T_g , la viscosidad disminuye bruscamente, y la movilidad molecular aumenta el alimento se encuentra en estado gomoso, mientras que por debajo de T_g , el alimento está en estado vítreo. Las macromoléculas de los alimentos experimentan una transición de fase cuando existe un cambio en el contenido de humedad y la temperatura, dando como resultado cambios en las propiedades de los alimentos.

2.2.6.1. Transiciones de fase de los carbohidratos

Entre las transiciones de fase más destacables se encuentran la gelatinización del almidón y las que tienen que ver con la sacarosa, correspondiendo a transiciones de primer y segundo orden respectivamente.

En los procesos industriales que buscan la formación de estructuras amorfas es necesario basar la estabilidad de los productos en el almacenamiento de los mismos por debajo de la temperatura de transición vítrea.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

La experimentación se realizó en las Unidades Eduproductivas de la carrera de Agroindustria y sus condiciones ambientales se muestran en la tabla 10. Los análisis de la materia prima y del producto final se realizaron en el Laboratorio de análisis físicos, químicos y microbiológicos de la Universidad Técnica del Norte.

Tabla 10. Ubicación y datos meteorológicos del área de experimentación

Provincia:	Imbabura
Cantón:	Ibarra
Parroquia:	El Sagrario
Altitud:	2250 m.s.n.m.
Latitud y longitud geográfica:	00° 19' 47" N 78° 07' 56" O
Humedad relativa promedio:	62%
Precipitación:	550,3 mm/año
Temperatura media:	17,7°C
Pluviosidad:	503 – 1000 mm. Año

Fuente: (INAMHI, 2015)

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. MATERIA PRIMA E INSUMOS

- Banano orito (*Musa acuminata* AA) en estado de madurez 5, (Ver figura 1).
- Eritorbato de sodio

3.2.2. MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO

Equipos: refractómetro de mesa (modelo 1310499), espectrofotómetro de reflectancia (modelo Specord 250 plus), balanza analítica, balanza gramera, termómetro, secador de bandejas, selladora, cocina eléctrica, Aw-metter, estufa, desecador.

Materiales: cuchillos, bowls, rallador, ollas, tinas, fundas con cierre hermético, crisoles, probeta, bureta, agitador magnético, colador de acero inoxidable.

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Caracterización de la materia prima y el producto final deshidratado

Los oritos en estado de madurez 5 fueron analizados en cuanto a las variables especificadas en la tabla 11 y en las rebanadas deshidratadas se determinaron las variables especificadas en la tabla 12.

Tabla 11. Variables cuantitativas en materia prima

Variables en materia prima	Método/Equipo	Unidades
Color	Espectrofotómetro de reflectancia (modelo Specord 250 plus)	---
Acidez titulable	AOAC 954.07	%
Sólidos solubles	AOAC 932.14C	°Brix
Humedad	AOAC 925.10	%
Actividad de agua (aw)	Aw-metter	---

Tabla 12. Variables cuantitativas en producto terminado

Variables en producto terminado	Método/Equipo	Unidades
Color	Espectrofotómetro de reflectancia (modelo Specord 250 plus)	---
Sólidos solubles	AOAC 932.14C	°Brix
Humedad	AOAC 925.10	%
Rendimiento	Cálculo	%
Actividad de agua (aw)	Aw-metter.	---

3.3.1.1. Determinación de Acidez titulable

La acidez titulable se determinó según la norma AOAC 954.07 mediante titulación con hidróxido de sodio 0,1007 N hasta el cambio de color y se expresó en porcentaje de ácido málico presente.

$$\% \text{ Ácido Málico} = \frac{V \times N \times \text{meq. ác. málico} \times 100}{g \text{ muestra}} \quad (12)$$

V: Volumen de NaOH utilizado

N: Normalidad del NaOH → 0,1007N

3.3.1.2. Determinación de la Humedad

Se determinó en base a la norma AOAC 925.10 y correspondió al porcentaje de humedad en base húmeda.

$$\%X_{bh} = \frac{\text{Peso del crisol} + \text{Peso de la muestra} - \text{Peso seco}}{\text{Peso de la muestra}} \quad (13)$$

3.3.1.3. Determinación del Color

Los atributos de color CIE L*, a*, b* se determinaron a través del espectrofotómetro de reflectancia (modelo Specord 250 plus). Donde L* representa la diferencia entre el blanco (L*= 100) y el negro (L*= 0). La componente a*

representa la diferencia entre el verde (-a*) y el rojo (+a*) y la componente b* representa la diferencia entre el azul (-b*) y el amarillo (+b*). Si se conocen las coordenadas L*, a* y b*, entonces no solamente el color está descrito, sino que también está localizado en el espacio. El color de las rebanadas de orito fue medido en la materia prima y después del proceso de secado en el espectrofotómetro, utilizando el iluminante C y el ángulo estándar de 2°. Los valores de las mediciones fueron comparados con aquellos correspondientes a la materia prima.

Con los valores de L*, a*, b* se caracterizó la variación del color mediante la diferencia total de color (ΔE). El valor de 0 estuvo referida al orito fresco al inicio del experimento. Una gran ΔE expresa un gran cambio de color comparado con la muestra fresca. El ángulo de tono Hue (°) se calculó con la ecuación 14.

Cabe destacar que dos colores distintos pueden tener las mismas coordenadas cromáticas siempre que tengan distinta coordenada de luminosidad (Tortajana, 2014).

$$h = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad (14)$$

Según Antal (2015), “El ángulo Hue es un indicador del grado de oscurecimiento, expresa el matiz o tono y sus valores se definen como: rojizo-violeta (0°), amarillo (90°), azulado-verde (180°) y azul (270°)” (p. 869).

3.3.1.4. Determinación de los Sólidos solubles (°Brix)

Se utilizó para su medición el refractómetro de mesa (Modelo 1310499) de acuerdo con el método AOAC 932.14C. La muestra se diluyó en 50 ml de agua y de esta solución se colocó una gota en la lente y el valor arrojado por el equipo se utilizó en la ecuación 15 para determinar los sólidos solubles en base seca.

$$^{\circ}\text{Brix en base seca} = \frac{^{\circ}\text{Brix} * \text{Volumen } H_2O}{\text{peso muestra}} \quad (15)$$

3.3.1.5. *Determinación de la Actividad de agua (a_w)*

Se estimó la cantidad de agua disponible con el equipo a_w -WERT-MESSER.

3.3.1.6. *Determinación del Peso*

Las mediciones se obtuvieron con la balanza para determinar el peso al inicio del proceso de deshidratación y su disminución al avanzar la deshidratación.

3.3.1.7. *Rendimiento*

Se determinó relacionando el peso inicial y final como porcentaje, como indica la ecuación 16. Corresponde al producto deshidratado obtenido.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (16)$$

3.3.1. EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL MÉTODO QUÍMICO (ERITORBATO DE SODIO)

El diseño que se utilizó tuvo como finalidad la experimentación de parámetros de operación del secado de rebanadas de orito, por lo tanto se utilizó un Diseño Completamente al Azar DCA con un arreglo factorial $A \times B \times C$, donde A representa el método de inactivación de enzimas, B representa la temperatura del aire de secado y C, la velocidad del aire de secado.

3.3.1.1. *Factores en estudio*

Factor A: Método de inactivación de las enzimas

A1: Escaldado Temperatura de 90 °C por 15 segundos.

A2: Eritorbato de sodio al 1 % p/V, inmersión por cinco minutos.

Factor B: Temperatura de secado

B1: 60°C

B2: 70°C

Factor C: Velocidad del aire de secado

C1: 2 m/s

C2: 4 m/s

3.3.1.2. *Tratamientos en estudio*

De la combinación de los factores en estudio resultaron 8 tratamientos para realizar el secado y la incidencia de cada factor en las características del producto final; los tratamientos se detallan en la tabla 13.

Tabla 13. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Combinaciones	Descripción
1	A1B1C1	Escaldado, 60°C, 2 m/s
2	A1B1C2	Escaldado, 60°C, 4 m/s
3	A1B2C1	Escaldado, 70°C, 2 m/s
4	A1B2C2	Escaldado, 70° C, 4 m/s
5	A2B1C1	Solución de eritorbato de sodio 1%, 60°C, 2 m/s
6	A2B1C2	Solución de eritorbato de sodio 1%, 60°C, 4 m/s
7	A2B2C1	Solución de eritorbato de sodio 1%, 70°C, 2 m/s
8	A2B2C2	Solución de eritorbato de sodio 1%, 70° C, 4 m/s

3.3.1.3. *Características del experimento.*

Se evaluaron 8 tratamientos con tres repeticiones, resultando 24 unidades experimentales constituidas por 400g de rebanadas. El esquema del análisis de varianza se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	23
Tratamientos	7
Factor A	1
Factor B	1
Factor C	1
AxB	1
AxC	1
BxC	1
AxBxC	1
Error experimental	16

3.3.1.4. Análisis Funcional

Al existir diferencia significativa entre tratamientos se aplicó la prueba de Tukey al 5%. La evaluación de las variables cualitativas se realizó utilizando la prueba de Friedman al 5%.

3.3.2. EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL MÉTODO FÍSICO (ESCALDADO)

La evaluación se realizó conforme al diseño experimental descrito en 3.3.1. En el análisis de la evolución del secado se utilizó la siguiente metodología:

3.3.2.1. Métodos experimentales de las curvas de velocidad de secado

Los datos de las masas que se obtuvieron del experimento de secado, se expresaron como peso total W del sólido húmedo (sólido seco más humedad) cada 0,5 horas en el período de secado. Si W es el peso del sólido húmedo en kilogramos totales de agua más sólido seco y W_s es el peso del sólido seco en kilogramos, se calculó la humedad en base seca según la ecuación 5.

$$X_{bs} = \frac{W - W_s \text{ Kg totales de agua}}{W_s \text{ Kg sólido seco}}$$

“Como la cantidad de sólido seco es constante, la variación de humedad con el tiempo a de ser igual a la variación de peso total con el tiempo, por tanto, es lo mismo representar el peso total frente al tiempo que la humedad frente al tiempo” (Ocon y Tojo, 1980, p.246)

La velocidad de secado se calculó incluyendo el peso del sólido seco y el área de secado expuesta, asumiendo que permanecen constantes, según la ecuación 7.

$$\text{Velocidad de secado (N)} = -\frac{M_s dX}{A dt}$$

La curva de velocidad de secado (N frente a X) se construyó tomando los valores medios de la velocidad correspondiente a cada intervalo de tiempo. El secador utilizado para la experimentación se esquematiza en la figura 14. El secador consiste en una cámara rectangular que contiene las bandejas perforadas; el aire es impulsado por un ventilador en donde la velocidad del aire se controla mediante un variador de frecuencia.

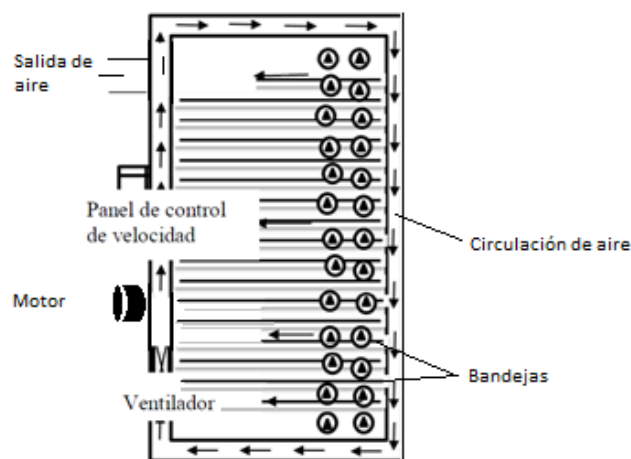


Figura 14. Secador de bandejas

3.3.3. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL PRODUCTO FINAL

Se aplicó el panel degustador. Se presentaron los ocho tratamientos a cada uno de los 17 panelistas. Las variables evaluadas fueron color, olor, sabor, textura y aceptación. La información que se recolectó fue analizada mediante la prueba de Friedman. Las características evaluadas se componen de las siguientes notas:

- 1 **Color:** Las rebanadas deshidratadas deben tener un color atractivo entre el color crema, amarillo claro y café claro.
- 2 **Olor:** El acetato de isoamilo y butanoato de etilo, además de otros ésteres y alcoholes otorgan el olor característico de la variedad de banano, atribuyéndole olores frutales.
- 3 **Sabor:** Debe ser característico de la variedad de banano considerando notas frutales y dulces, debe estar libre de sabores anormales o fermentados, amiláceos y astringentes.
- 4 **Textura:** Según la FAO la textura debe ser correosa y flexible.
- 5 **Aceptación:** Reúne las características anteriores.

Los descriptores del color, olor y sabor se consideraron en base a lo mencionado en las especificaciones de musáceas deshidratadas por la Organización africana para la estandarización en el año 2012 y en base a los descriptores emitidos por Coste, Picallo, Bauzá y Sance (2010) y Tobin, Moane y Larkin (2012). La ficha de análisis sensorial descrita en el anexo D maneja para cada atributo una escala hedónica de 5 puntos, donde 1 corresponde a disgusta mucho y 5, a gusta mucho.

El estadístico de prueba se calculó según la ecuación 17. La diferencia estadística entre los tratamientos se evidenció cuando $X^2_{cal} > X^2_{tab}$:

$$x^2 = \frac{12}{b \cdot t(t + 1)} \sum R^2 - 3b(t + 1) \quad (17)$$

b= Número de panelistas, t= Tratamientos, R= Rangos

3.4. MANEJO DEL EXPERIMENTO

3.4.1. DIAGRAMA DE BLOQUES

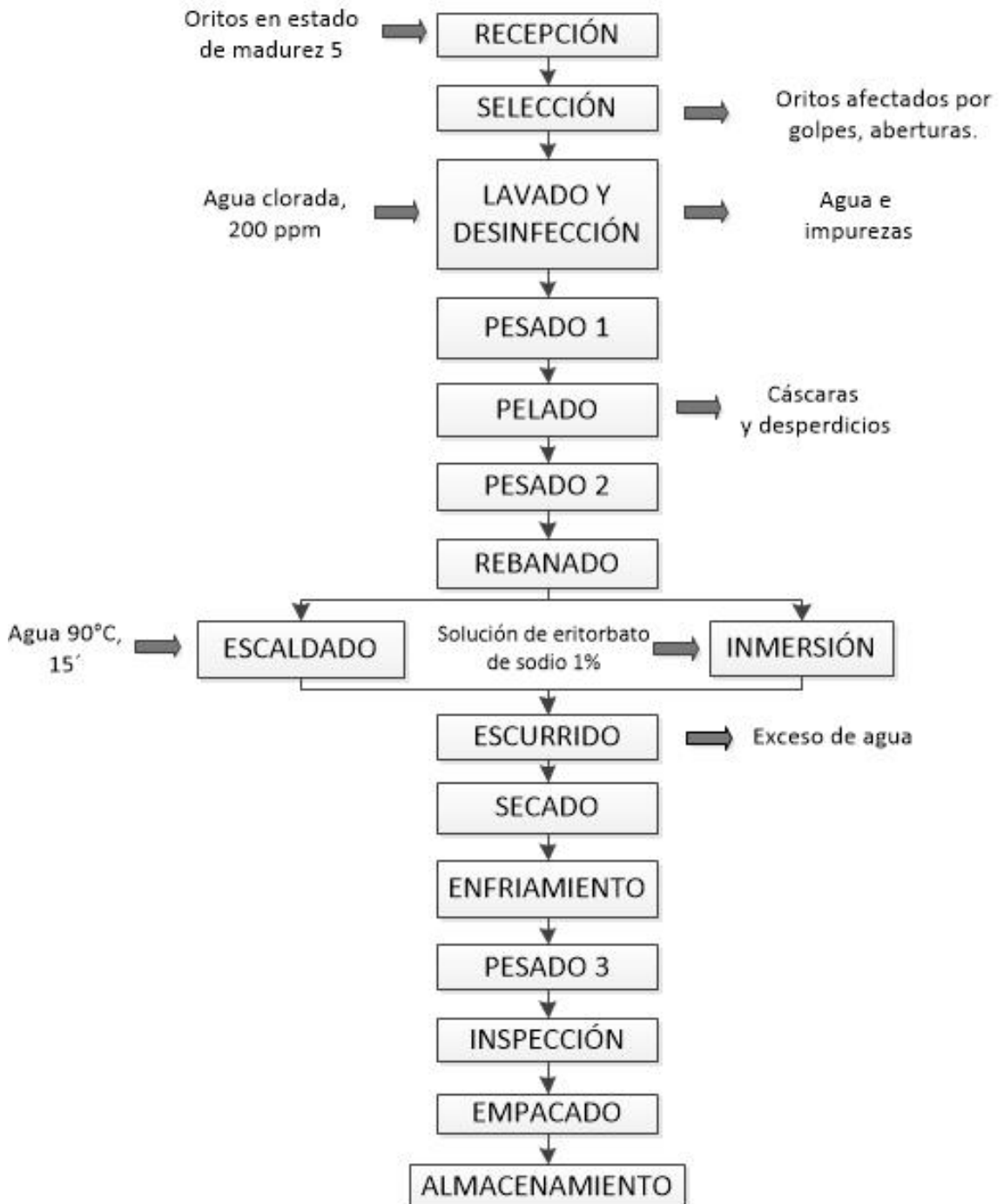


Figura 15. Diagrama de bloques

3.7.2. DIAGRAMA INGENIERIL

En la figura 16 se representa cada etapa de la experimentación.

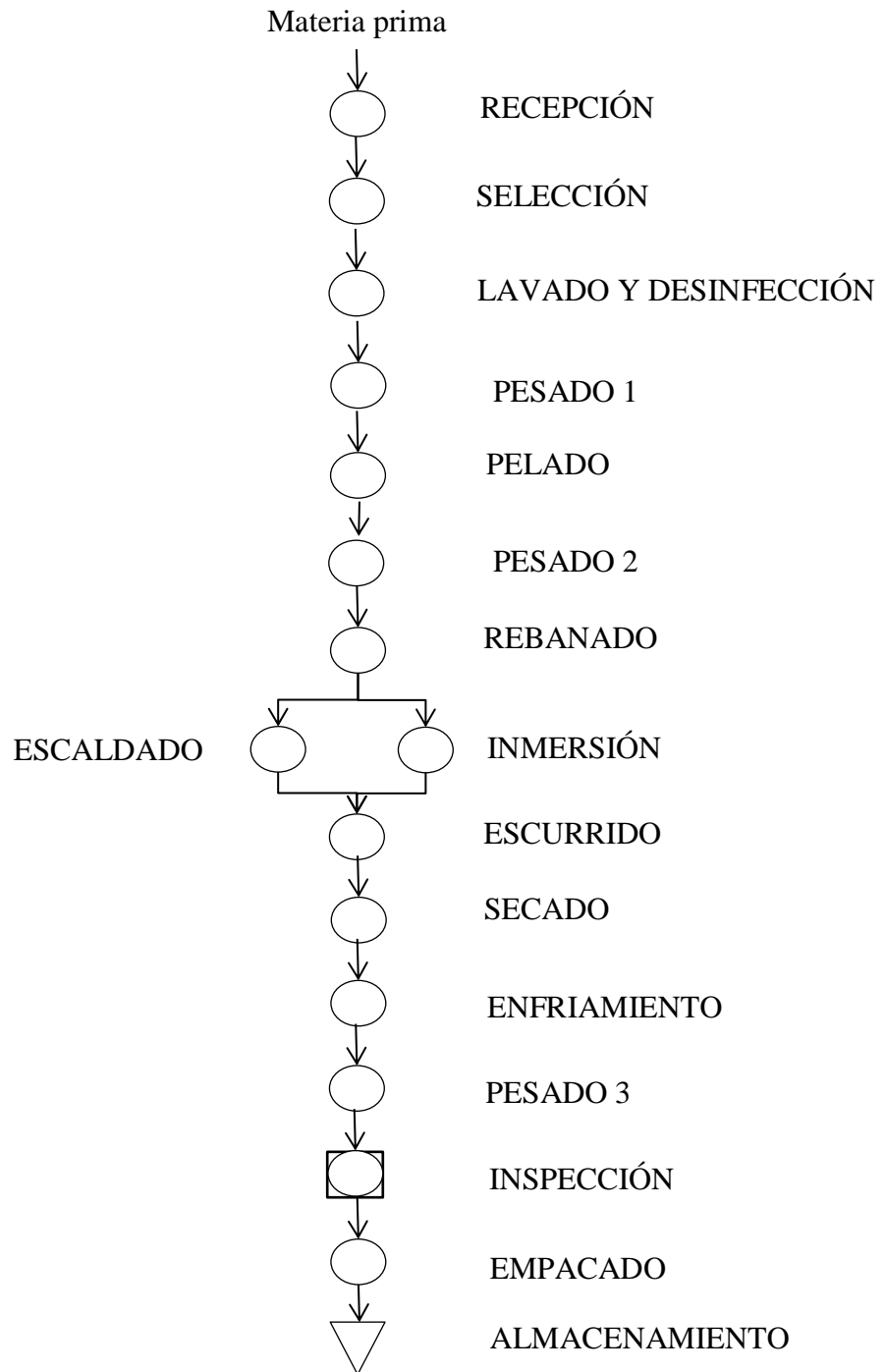


Figura 16. Diagrama ingenieril

3.7.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

RECEPCIÓN: La materia prima fue adquirida en el mercado local en estado de madurez 5 y se transportó a las unidades Eduproductivas.



Fotografía 1. Recepción de materia prima

SELECCIÓN: Los bananos fueron seleccionados para excluir del proceso aquellos que no presentaron características adecuadas (daños por golpes, aberturas, etc)



Fotografía 2. Selección

LAVADO Y DESINFECCIÓN: Para eliminar impurezas y materias extrañas se realizó el lavado con agua potable para luego proceder con la desinfección, los bananos oritos se sumergieron en una disolución con 200 ppm de hipoclorito de sodio durante 5 min.



Fotografía 3. Lavado y Desinfección

PESADO 1: Los bananos oritos fueron pesados con el fin de determinar la masa de la materia prima que ingresa al proceso.

PELADO: Se realizó el pelado manual de la cáscara con cuchillos de filo liso y la eliminación de las partes terminales de cada fruto.



Fotografía 4. Pelado manual

PESADO 2: Se pesaron los bananos oritos para conformar la unidad experimental.



Fotografía 5. Pesado 2

REBANADO: Los oritos se rebanaron con un rallador a 3 mm de grosor. Se prosiguió posteriormente, según la figura 13 con las operaciones de escaldado e inmersión.



Fotografía 6. Rebanado

ESCALDADO: El escaldado es el tratamiento térmico que se realizó utilizando agua a 90°C por 15 segundos.



Fotografía 7. Escaldado con agua

INMERSIÓN: Las rebanadas de oritos se sumergieron en la solución de eritorbato de sodio al 1% p/V por cinco minutos.

ESCURRIDO: Se realizó con el fin de eliminar el exceso de agua proveniente de las operaciones anteriores.



Fotografía 8. Escurrido

SECADO: Las rebanadas se colocaron en las bandejas para realizar el secado según los tratamientos establecidos. Se realizó el pesado de las bandejas para determinar la pérdida de humedad.



Fotografía 9. Secado

ENFRIAMIENTO: Las rebanadas de oritos deshidratados se enfriaron con el fin de evaluar su sequedad.



Fotografía 10. Enfriamiento

PESADO 3: Las rebanadas de oritos fueron pesadas nuevamente para determinar el peso final de las muestras deshidratadas.

INSPECCIÓN: La inspección fue visual para observar que no haya materiales extraños en el producto.

EMPACADO: Las rebanadas de oritos fueron empacados en bolsas aptas para alimentos para protegerlas de las condiciones externas y evitar que vuelvan a absorber humedad.

ALMACENAMIENTO: Por último los paquetes fueron almacenados en condiciones para proteger su integridad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima fue adquirida del Mercado Mayorista de la ciudad de Ibarra, en estado de madurez 5. Los bananos presentaron las características de la tabla 15.

Tabla 15. Propiedades fisicoquímicas de banano orito en estado de madurez 5

Parámetro	Valor
L*	99,26 ± 0,98
a*	-3.84 ± 0,16
b*	6,82 ± 0,38
Hue	119,39° ± 1,13
Relación pulpa/cáscara	1,39 ± 0,15
Longitud de onda (nm)	568 ± 1,00
Actividad de agua (a_w)	0,93 ± 0,10
Acidez titulable (% de ácido málico)	0,1604 ± 0,01
Humedad (%)	71,17 ± 0,79
Sólidos solubles (°Brix)	18 ± 1,01

El valor de L^* de 99,26 indica que es brillante, el ángulo de tono hue de $119,39^\circ$ no corresponde a un tono amarillo puro (90°) y según a^* posee cromaticidad en verde, por lo tanto es amarillo verdoso brillante. La relación pulpa/cáscara para el banano orito 1,39 está por debajo del rango de 1,58 - 2,16 reportado para banano *musa cavendish*, seguramente debido a que se trata de bananos más grandes y según Rodríguez, Penteadó, Waczynskyj y Joerke (2010) este rango corresponde a bananos que se encuentran en un estado de madurez 6 o 7.

El valor de actividad de agua (0,93) lo ubica entre los alimentos con altos contenidos de humedad ($a_w > 0,9$) y por lo tanto muy susceptible al deterioro. Si bien tiene el banano orito tiene un alto contenido de humedad no se clasifica como una fruta jugosa ya que estas últimas tienen un contenido de humedad entre 75 y 90%. La acidez promedio del banano orito es baja por lo que está categorizado como una fruta de baja acidez (Rosenthal, Torreza, Schmidt y Narain, 2011). El valor de 0,16 está por debajo de la acidez de bananos *musa cavendishi* (0,6) reportado por Rodríguez, Penteadó, Waczynskyj y Joerke, (2010), lo cual explica su mayor dulzura en comparación de otros bananos. Los sólidos solubles del banano orito corresponden a 18 °Brix, valor que es superior al reportado por Wainwright y Hughes, (1990) citado por León y Mejía, (2002) para el banano Gross Michel en estado 5 (13,5° Brix). Este parámetro se encuentra dentro de los límites fijados para el procesamiento del banano 17,5 y 19% (Rosenthal, Torreza, Schmidt y Narain, 2011).

4.2. DETERMINACIÓN DE VARIABLES EVALUADAS

4.2.1. LUMINOSIDAD (L^*)

Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks modificado por Mahibbur y Govindarajulu (1997) y la prueba de Levene para verificar el supuesto de normalidad ($p = 0,16$) y homocedasticidad ($p = 0,26$) respectivamente. En el análisis de varianza, las diferencias significativas se evidenciaron cuando $F_0 > F$. tabular.

Las escala de luminosidad es: $L^*= 0$ negro y se refiere a la sensación de oscuro, $L^*=100$ para blanco y se refiere a la sensación de claro. Este parámetro ha sido

considerado como indicador de pardeamiento. Ibarz, Pagán y Garza, (2010); Giri y Prasad, (2013); Amami, Khezami, Jemai, y Vorobiev, (2014); Akoy, (2014) mencionan que L* es un parámetro útil para estudiar el avance del pardeamiento ya que, hay una correlación inversa: la disminución de L* es una consecuencia del incremento del oscurecimiento en los alimentos. Giri y Prasad (2013) mencionan que esto se debe tanto al pardeamiento enzimático como no enzimático.

Tabla 16. Datos experimentales de luminosidad

Tratamiento	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
Materia prima					99,26
T1 A1B1C1	97,47	96,79	97,43	291,69	97,23
T2 A1B1C2	97,23	97,78	96,40	291,41	97,14
T3 A1B2C1	97,63	98,32	98,34	294,28	98,09
T4 A1B2C2	99,09	98,13	99,14	296,36	98,79
T5 A2B1C1	98,79	99,53	98,79	297,08	99,04
T6 A2B1C2	98,79	99,81	99,03	297,63	99,21
T7 A2B2C1	99,40	98,60	99,11	297,14	99,03
T8 A2B2C2	99,29	98,49	98,83	296,60	98,87

En la figura 17 se observa que L* presenta valores menores para los tratamientos escaldados, en comparación al valor de L* arrojado por la materia prima y las muestras de los tratamientos con inmersión en solución de eritorbato de sodio. Al igual que en el presente experimento, Argyropoulos, Khan y Muller (2011) mencionan que durante el secado convectivo de *Boletus edulis*, el escaldado causó un deterioro intenso del color evidenciado en la disminución de L*. “Se obtuvieron mejores valores de L* para muestras sumergidas en solución de agentes químicos” (p.1896). Los mismos autores mencionan que estos cambios son efectos del pardeamiento no enzimático y la formación de pigmentos oscuros por el secado.

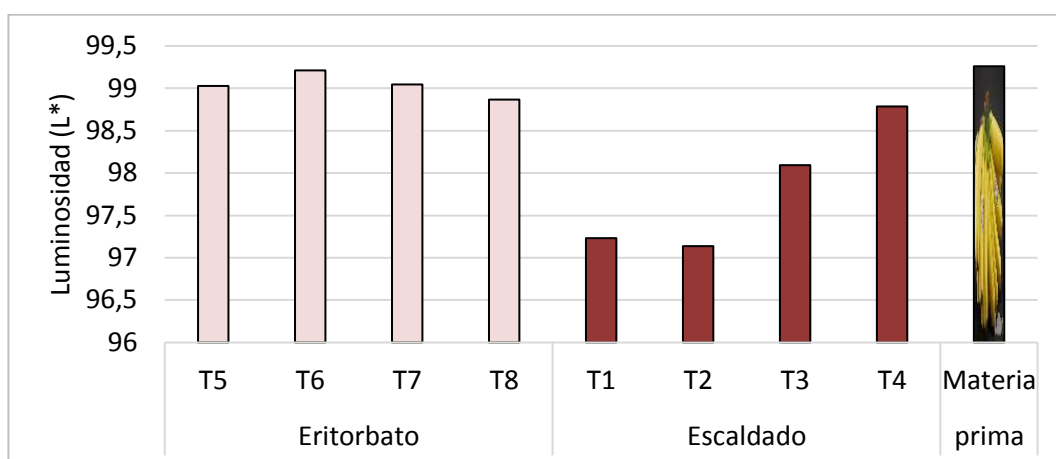


Figura 17. Datos experimentales de luminosidad

El análisis de varianza realizado en la tabla 17 y la figura 18 revelan que influyen significativamente: A (Método de inactivación de enzimas), B (Temperatura) y su interacción A x B (Método x Temperatura). Al existir interacción se realizó la prueba de Tukey en la tabla 18.

Tabla 17. Análisis de varianza para la variable luminosidad (L*)

Fuente de variación	SC	GL	CM	F ₀	
Total	18,43	23			
Tratamientos	14,65	7	2,09	8,88	*
Método (A)	9,02	1	9,02	38,23	**
Temperatura (B)	1,79	1	1,79	7,58	*
Velocidad (C)	0,14	1	0,14	0,58	
Método x Temperatura (A x B)	3,02	1	3,02	12,80	**
Temperatura x Velocidad (B x C)	0,07	1	0,07	0,29	
Método x Velocidad (A x C)	0,13	1	0,13	0,56	
Método x Temperatura x Velocidad (AxBxC)	0,50	1	0,50	2,10	
Error	3,77	16	0,24		

Nota: **: altamente significativo, *: significativo

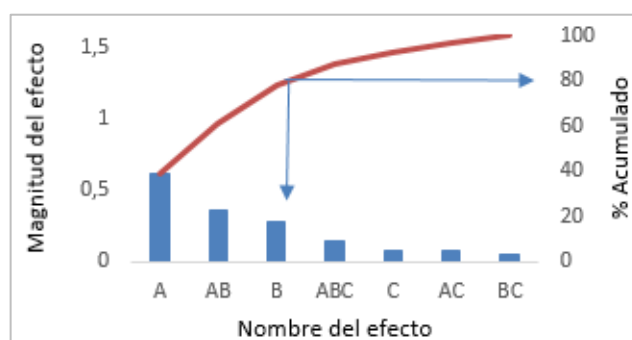


Figura 18. Diagrama de Pareto para luminosidad

Tabla 18. Prueba de Tukey para la interacción A x B (método x temperatura)

Método	Temperatura	Medias
Escaldado	60°C	97,18 a
Escaldado	70°C	98,44 b
Eritorbato	70°C	98,96 b
Eritorbato	60°C	99,12 b

Nota: Medias con letras iguales no son significativamente diferentes

De acuerdo con la prueba de Tukey no hay diferencia estadística significativa entre las muestras tratadas con eritorbato de sodio a 60°C o a 70°C y las muestras escaldadas y secadas a 70°C.

Según la figura 17, se puede observar que en los tratamientos escaldados donde se utilizó aire caliente a una temperatura de 60°C (T1, T2) existe una mayor disminución de L* que los tratamientos con temperatura de aire caliente de 70°C (T3, T4). Estos resultados son consistentes con estudios realizados sobre el secado de muestras de rosa mosqueta. Koyuncu, Tosun y Ustun (2003) afirman que el valor L* está influido por la temperatura de secado y las temperaturas bajas ocasionan una mayor disminución de la luminosidad.

Baini y Langrish (2009) argumentan que esto se debe a que la tasa de pérdida de humedad es baja a menores temperaturas en comparación de la que se obtiene a temperaturas más altas, por lo tanto el agua está más disponible para participar en las reacciones de pardeamiento.

De las muestras tratadas con eritorbato de sodio, los tratamientos presentan un valor de luminosidad más cercano al valor de la materia prima, destacando T6. Según la prueba de Tukey no existe diferencia estadística significativa entre T5, T6, T7 y T8 ya que se agrupan en el mismo rango b, no obstante se consideran mejores los valores más altos de luminosidad.

Por lo tanto emplear una solución de eritorbato de sodio como agente antioxidante y conservador del color, permite preservar la luminosidad y minimizar el pardeamiento.

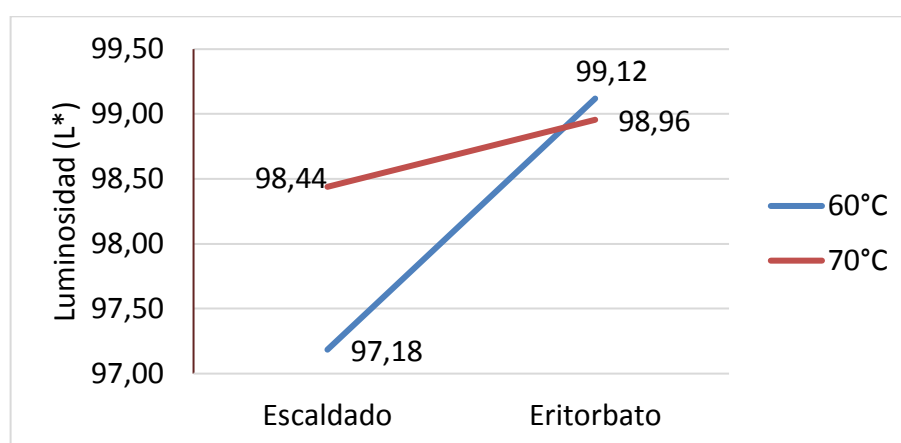


Figura 19. Interacción de los factores A (método de inactivación de enzimas) y B (temperatura de secado) en la variable luminosidad (L*)

Los niveles de luminosidad más altos se obtienen utilizando eritorbato de sodio; si se utiliza escaldado a 60 o 70°C se obtiene una luminosidad más baja, por lo tanto la figura 19 sugiere que el pardeamiento podría reducirse empleando una solución de eritorbato de sodio y una temperatura de 60°C del aire de secado, al obtenerse un valor más alto de L*, reflejando un menor oscurecimiento de las muestras de orito deshidratado.

4.2.2. ÁNGULO DE TONO (HUE)

Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks modificado y la prueba de Levene para verificar el supuesto de normalidad ($p = 0,75$) y homocedasticidad ($p = 0,66$) del modelo, respectivamente.

El ángulo de tono es el color en sí y se refiere al tipo de longitud de onda reflejada o frecuencia de las ondas electromagnéticas de cada color. Está medido en el plano con los colores dispuestos en una circunferencia tal como muestra la figura 20 los valores pueden ir de 0 a 360°. El ángulo de tono se define comenzando en el eje $+a^*$ y se expresa en grados: 0° es $+a^*$ (rojo), 90° es $+b^*$ (amarillo), 180° es $-a^*$ (verde) y 270° es $-b^*$ (azul).

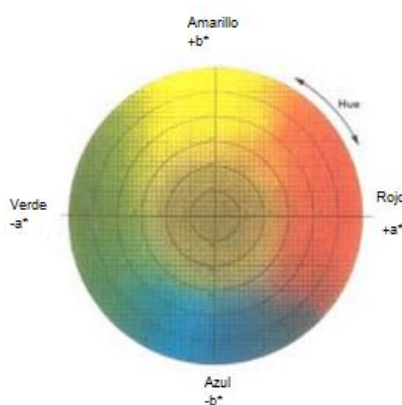


Figura 20. Diagrama cromático (a^* , b^*) del espacio CIELAB

La disminución del ángulo de tono se utiliza como indicador del pardeamiento. Diamante, Durand, Savage y Vanhanen (2010) aseveran que la disminución del ángulo hue en kiwi amarillo deshidratado por aire caliente a 60°C de 86,48° (kiwi fresco) a 80,79° se atribuye a la degradación de carotenoides y pardeamiento no enzimático, reacciones, que ocurren como consecuencia del secado. De la misma manera Sommano, y Siritana (2011) afirman que existe una buena correlación entre el ángulo hue y el pardeamiento por lo tanto, y junto a L^* , fueron tomados como indicadores de la formación de pigmentos oscuros en su estudio.

Tabla 19. Datos experimentales ángulo de tono hue

Tratamiento	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
Materia prima					119,39
T1 A1B1C1	78,32	78,54	71,57	228,43	76,14
T2 A1B1C2	80,27	81,64	88,88	250,79	83,60
T3 A1B2C1	81,56	84,00	88,73	254,29	84,76
T4 A1B2C2	87,00	86,85	85,55	259,41	86,47
T5 A2B1C1	112,27	108,78	108,28	329,33	109,78
T6 A2B1C2	112,93	118,32	119,50	350,75	116,92
T7 A2B2C1	104,58	108,84	105,89	319,32	106,44
T8 A2B2C2	99,85	97,32	98,97	296,14	98,71

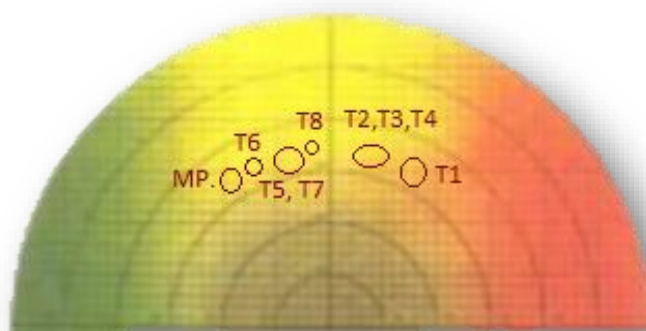


Figura 21. Ubicación de los ángulos de tono hue de los tratamientos

De los resultados obtenidos se observa que el ángulo hue presenta valores menores para las muestras escaldadas (T1, T2, T3 y T4); en comparación al valor de hue arrojado por la materia prima (119.39°) y las muestras que se deshidrataron previa inmersión en solución de eritorbato de sodio (T5, T6, T7, T8). Argyropoulos, Khan y Muller (2011) afirman: “La aplicación del escaldado resulta en un incremento de la humedad inicial, lo que podría afectar la actividad de agua del material y la

movilidad molecular causando las reacciones de deterioro” (p. 1897), como consecuencia el ángulo de tono disminuye.

El análisis de varianza realizado y el diagrama de Pareto de la figura 22 muestran que los efectos que influyen significativamente son el factor A (Método) y las interacciones de los factores A x B (Método x Temperatura) y B x C (Temperatura x velocidad). Al existir interacción se realizaron las pruebas de Tukey en las tablas 21 y 22.

Tabla 20. Análisis de varianza para el ángulo de tono hue

Fuente de variación	SC	GL	CM	F ₀	
Total	4665,29	23			
Tratamientos	4516,61	7	645,23	69,44	**
Método (A)	3815,94	1	3815,94	410,66	**
Temperatura (B)	37,84	1	37,84	4,07	
Velocidad (C)	27,56	1	27,56	2,97	
Método x Temperatura (A x B)	409,23	1	409,23	44,04	**
Temperatura x Velocidad (B x C)	159,26	1	159,26	17,14	**
Método x Velocidad (A x C)	35,63	1	35,63	3,83	
Método x Temperatura x Velocidad (AxBxC)	31,17	1	31,17	3,35	
Error	148,68	16	9,29		

Nota: **: altamente significativo, *: significativo

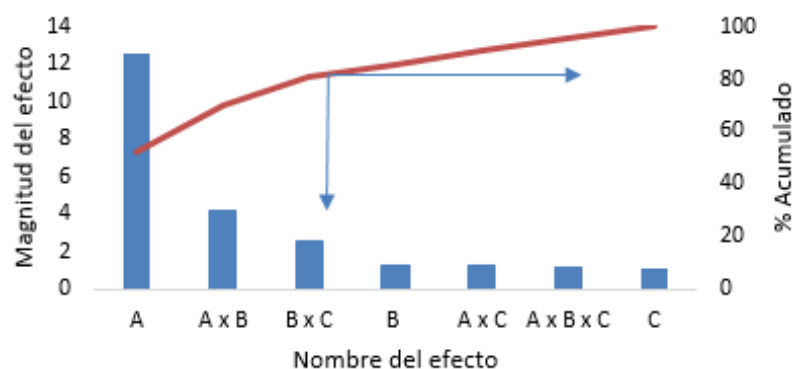


Figura 22. Diagrama de Pareto para el ángulo de tono hue

Las medias para la interacción A x B son estadísticamente diferentes. El mayor valor de hue corresponde a las muestras que se sumergieron en eritorbato de sodio y se secaron a 60°C.

Tabla 21. Prueba de Tukey para la interacción A x B (método x temperatura)

Método	Temperatura	Medias	
Escaldado	60°C	79,87	a
Escaldado	70°C	85,62	b
Eritorbato de sodio	70°C	102,58	c
Eritorbato de sodio	60°C	113,35	d

Nota: Medias con letras iguales no son significativamente diferentes

Tabla 22. Prueba de Tukey para la interacción B x C (temperatura x velocidad)

Temperatura	Velocidad	Medias	
70°C	4 m/s	92,59	a
60°C	2 m/s	92,96	a
70°C	2 m/s	95,3	a
60°C	4 m/s	100,26	b

Nota: Medias con letras iguales no son significativamente diferentes

Según la figura 23, el escaldado provocó una mayor disminución del ángulo de tono tanto a la temperatura del aire de secado de 60°C como a 70°C. Azarpazhooh y Ramaswamy (2011) mencionan que si el valor del ángulo de tono es mayor de 90°, significa que el producto es menos amarillo y más verde, por otra parte, si es menor a 90°, el producto es rojo anaranjado. Por lo tanto se puede afirmar que T1, T2, T3 y T4 están dentro de esta última descripción.

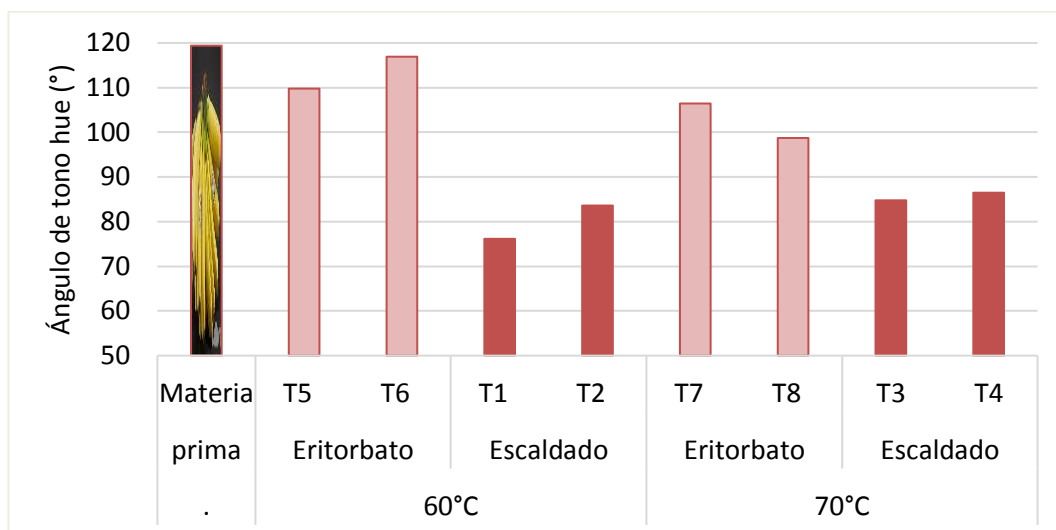


Figura 23. Datos experimentales para el ángulo de tono hue

Los valores más altos del ángulo de tono se obtienen utilizando eritorbato de sodio; si se utiliza escaldado a 60 o 70°C se obtiene un valor más bajo, por lo tanto la figura 24 sugiere que el pardeamiento podría reducirse empleando una solución de eritorbato de sodio y una temperatura de 60°C del aire de secado, al obtenerse un valor más alto de hue, reflejando un menor oscurecimiento de las muestras de orito deshidratado.

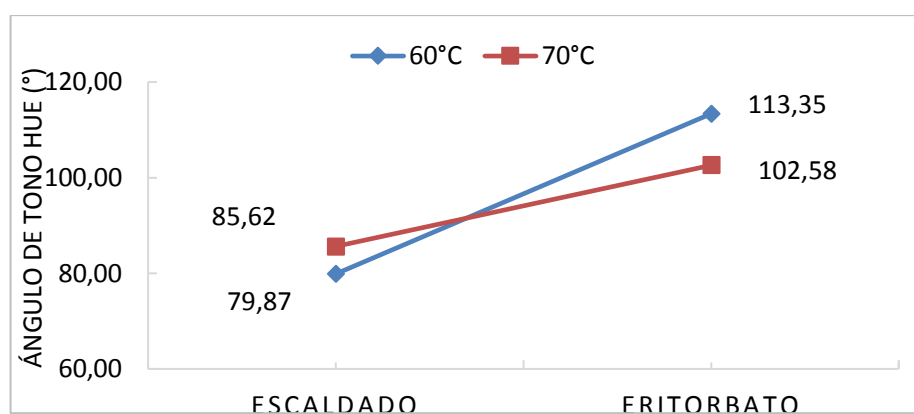


Figura 24. Interacción de los factores A (método de inactivación de enzimas) y B (temperatura de secado) en la variable luminosidad (L*)

Estos datos permiten afirmar que definitivamente el secado convectivo provoca la disminución del ángulo de tono sin importar si se realizó un pretratamiento de escaldado o eritorbato de sodio. Sin embargo, este último permite obtener valores

de Hue más cercanos a la materia prima, como afirman Chonlada, Somkiat, Adisak, y Somchart (2014) en su investigación: cuando los bananos fueron escaldados por 30 s o 1 min, el color en términos de hue fue significativamente diferente en comparación de las muestras tratadas con metabisulfito de potasio y ácidos. El escaldado afectó fuertemente el color de los bananos, posiblemente debido a la gelatinización del almidón. Los autores afirman además que el escaldado podría ocasionar una difusividad de humedad efectiva más baja y mayor grado de contracción para muestras de 3,5 mm de espesor.

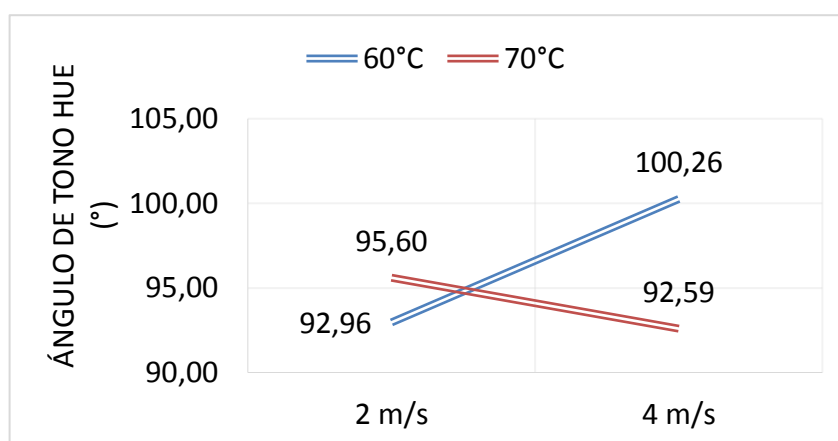


Figura 25. Interacción de B (temperatura) x C (velocidad)

La figura 25 muestra que el mejor nivel de velocidad de aire es 4m/s ya que permite obtener un valor más alto del ángulo de tono, demostrando así un menor pardeamiento.

4.2.3. DIFERENCIA DE COLOR TOTAL (ΔE)

Esta variable compara numéricamente el color de las muestras con el estándar. Indica las diferencias en coordenadas absolutas de color. Se calcula para identificar inconsistencias y permite controlar mejor el color de los productos (Konika minolta, 2014). La diferencia de color total combina las diferencias en L^* , a^* y b^* y ha sido usada extensivamente para presentar la variación del color en alimentos durante su procesamiento (Azarpazhooh y Ramaswamy, 2011).

Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks modificado y la prueba de Levene para verificar el supuesto de normalidad ($p = 0,72$) y homocedasticidad ($p = 0,98$) del modelo, respectivamente. Los datos experimentales se muestran en la tabla 23.

Tabla 23. Datos experimentales diferencia de color total (ΔE)

Tratamiento	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
Materia prima					0
T1 A1B1C1	7,15	7,32	7,30	21,77	7,26
T2 A1B1C2	7,80	7,61	7,76	23,17	7,72
T3 A1B2C1	7,29	7,21	7,06	21,57	7,19
T4 A1B2C2	7,47	7,56	7,48	22,51	7,50
T5 A2B1C1	5,35	5,74	5,63	16,72	5,57
T6 A2B1C2	5,52	5,07	5,06	15,65	5,22
T7 A2B2C1	6,18	6,45	6,35	18,97	6,32
T8 A2B2C2	6,91	6,98	7,05	20,94	6,98

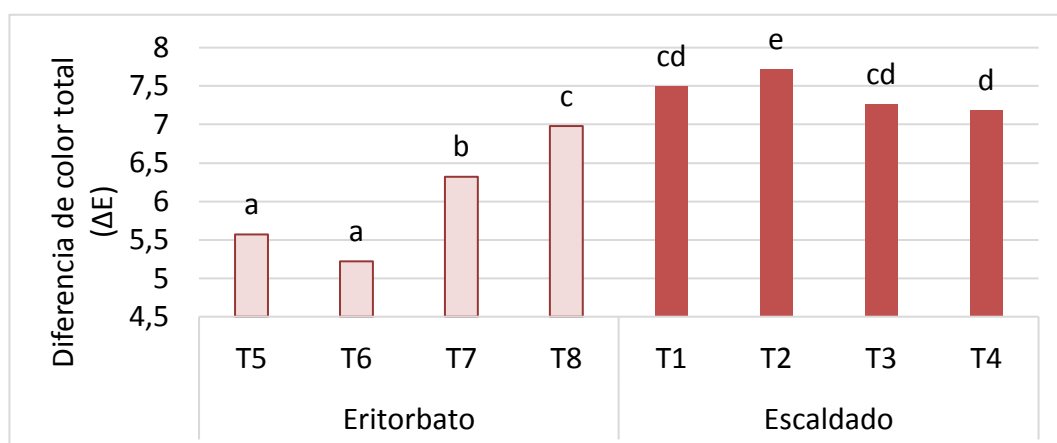


Figura 26. Datos experimentales de la diferencia de color total

La diferencia total de color entre las muestras de los tratamientos en estudio y las muestras frescas, es menor para los tratamientos en los cuales se utilizó eritorbato

de sodio previo al secado (T5, T6, T7 y T8) y mayor para los tratamientos sometidos a escaldado (T1, T2, T3 y T4). Fernandes, Rodrigues, Law, y Mujumdar, (2011) mencionan que en el secado de guava el cambio de color por el escaldado incrementó al aumentarse la temperatura de escaldado y el tiempo de inmersión.

El análisis de varianza realizado y el diagrama de Pareto demuestra que los efectos que influyeron significativamente fueron A (método), B (temperatura), A x B (método x temperatura) y la interacción A x B x C (método x temperatura x velocidad). Al existir la interacción triple se realizó la prueba de Tukey en la tabla 25.

Tabla 24. Análisis de varianza diferencia de color total (ΔE)

Fuente de variación	SC	gl	CM	F ₀
Total	18,12	23		
Tratamientos	17,79	7	2,54	121,25 **
Método (A)	11,67	1	11,67	556,79 **
Temperatura (B)	1,86	1	1,86	88,7 **
Velocidad (C)	0,44	1	0,44	20,98 **
Método x Temperatura (A x B)	2,95	1	2,95	140,73 **
Temperatura x Velocidad (B x C)	0,28	1	0,28	13,17 **
Método x Velocidad (A x C)	0,09	1	0,09	4,11
Método x Temperatura x Velocidad (A x B x C)	0,51	1	0,51	24,23 **
Error	0,34	16	0,02	

Nota: **: altamente significativo, *: significativo

La prueba de Tukey en la tabla 25 muestra que las condiciones de secado empleadas en los tratamientos 6 y 5 conllevan a la menor ΔE , a tales condiciones sus medias son estadísticamente iguales. El tratamiento 7 también consigue un valor de ΔE menor que el resto de tratamientos pudiendo considerarse aceptable.

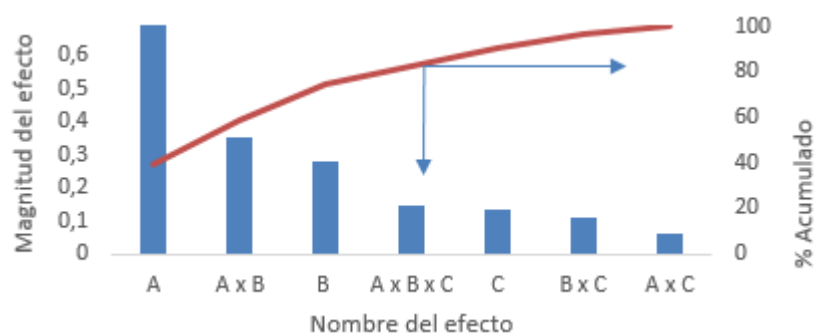


Figura 27. Diagrama de Pareto para la diferencia de color total.

Tabla 25. Prueba de Tukey para la interacción A x B x C (método x temperatura x velocidad)

Método	Temperatura	Velocidad	Tratamiento	Medias	
Eritorbato	60°C	4 m/s	T6	5,22	a
Eritorbato	60°C	2 m/s	T5	5,57	a
Eritorbato	70°C	2 m/s	T7	6,32	b
Eritorbato	70°C	4 m/s	T8	6,98	c
Escaldado	70°C	2 m/s	T3	7,19	c d
Escaldado	60°C	2 m/s	T1	7,26	c d
Escaldado	70°C	4 m/s	T4	7,5	d e
Escaldado	60°C	4 m/s	T2	7,72	e

Los resultados concuerdan con los resultados de las variables anteriormente estudiadas ya que el escaldado en comparación del eritorbato de sodio genera mayor deterioro del color en muestras de orito deshidratado. El diferente comportamiento de las muestras deshidratadas, bajo varios tipos de pretratamientos, muestra que éstos afectan las propiedades del color de forma diferente (Azarpazhooh y Ramaswamy, 2011; Krokida y Maroulis, 2001).

De los valores obtenidos en esta variable, se observa que en todos los tratamientos hay una diferencia clasificada como apreciable ya sea utilizando escaldado o solución de antioxidante, lo cual se corrobora con la literatura consultada. “El secado convectivo afecta en gran medida el cambio total de color, en comparación

de otros métodos de secado” (Shaw, Meda, Tabil y Opoku, 2006, p. 63). En el trabajo de Moreno, Sierra y Díaz, (2012) sobre tomate, igualmente se encontró que el proceso de secado promueve cambios significativos de color.

4.2.4. HUMEDAD

Se verificó el supuesto de normalidad ($p = 0,52$) y homocedasticidad ($p = 0,91$) del modelo. La humedad se expresó en porcentaje de humedad en base húmeda.

Tabla 26. Datos experimentales humedad en base húmeda

Tratamiento	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
Materia prima					71,17
T1 A1B1C1	4,28	4,51	4,40	13,19	4,40
T2 A1B1C2	4,88	4,79	4,12	13,79	4,60
T3 A1B2C1	3,91	3,59	4,50	12,00	4,00
T4 A1B2C2	3,22	2,80	4,12	10,14	3,38
T5 A2B1C1	4,21	4,20	4,50	12,91	4,30
T6 A2B1C2	4,28	4,38	4,12	12,78	4,26
T7 A2B2C1	3,61	3,52	3,28	10,41	3,47
T8 A2B2C2	3,73	4,02	3,57	11,32	3,77

Las medias de la variable humedad presentan valores entre 3,38 y 4,60%. A este nivel el producto ha alcanzado una humedad que limita la contaminación microbiológica.

Según el análisis de varianza realizado en la tabla 27 existió significancia estadística únicamente para el factor B (temperatura del aire de secado).

Tabla 27. Análisis de varianza humedad en base húmeda (Xbh)

Fuente de variación	SC	GI	CM	F ₀
Total	4,25	23		
Método (A)	0,37	1	0,37	4,7
Temperatura (B)	2,36	1	2,36	30,22 **
Velocidad (C)	0,03	1	0,03	0,33
Método x Temperatura (A x B)	0,01	1	0,01	0,08
Método x Velocidad (A x C)	0,02	1	0,02	0,32
Temperatura x Velocidad (B x C)	9,40E-04	1	9,40E-04	0,01
Método x Temperatura x Velocidad (A x B x C)	0,21	1	0,21	2,65
Error	1,25	16	0,08	

Nota: **: altamente significativo, *: significativo

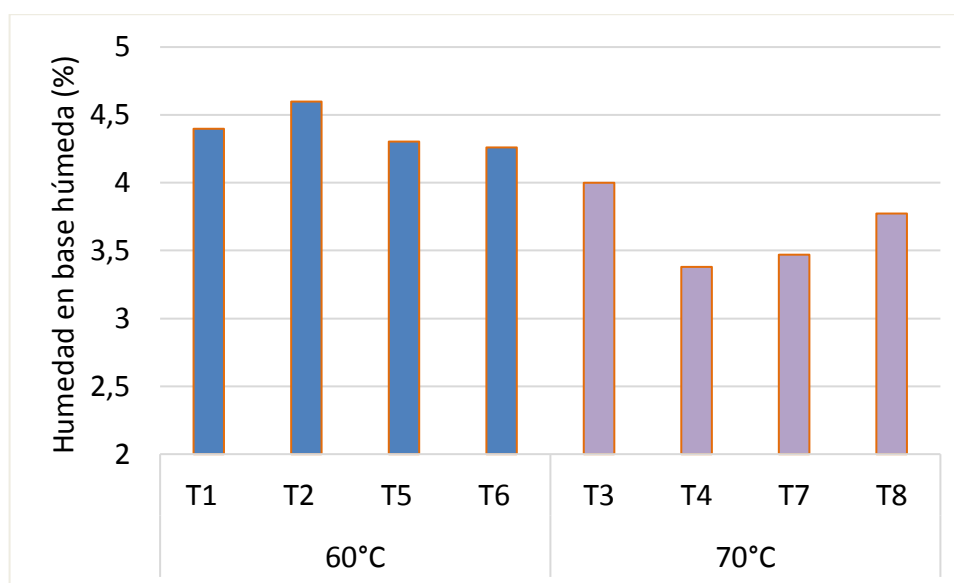


Figura 28. Datos experimentales humedad en base húmeda

La figura 28 muestra que los tratamientos secados a 70°C alcanzaron un contenido de humedad más baja que los tratamientos secados a 60°C. La velocidad del aire de secado no tuvo efecto significativo, lo cual concuerda con los resultados encontrados en rosa mosqueta. “La velocidad de aire de secado no tuvo influencia

significativa en el contenido de humedad” (Koyuncu, Tosun y Ustun, 2003, p.1379).

De acuerdo con la prueba de Tukey la temperatura de 70°C permite obtener valores de humedad más bajos y consecuentemente mayor estabilidad microbiológica.

Tabla 28. Prueba de Tukey para el factor B (temperatura)

Factor B	Descripción	Medias	
B2	70°C	3,69	a
B1	60°C	4,41	b

Nota: Medias con letras diferentes se consideran estadísticamente diferentes.

4.2.5. RENDIMIENTO

El rendimiento se refiere a la cantidad de producto terminado deshidratado que se obtuvo a partir de una cantidad de materia prima dada. Para el análisis estadístico se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks modificado y la prueba de Levene para verificar el supuesto de normalidad ($p = 0,08$) y homocedasticidad ($p = 0,66$) del modelo.

Tabla 29. Datos experimentales rendimiento (%)

Tratamiento	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1 A1B1C1	28,64	28,70	26,90	84,25	28,08
T2 A1B1C2	27,42	27,55	27,93	82,91	27,64
T3 A1B2C1	28,87	26,77	27,01	82,65	27,55
T4 A1B2C2	26,81	27,68	27,08	81,57	27,19
T5 A2B1C1	26,90	26,68	27,48	81,06	27,02
T6 A2B1C2	27,15	26,21	26,67	80,02	26,67
T7 A2B2C1	26,56	26,38	26,67	79,60	26,53
T8 A2B2C2	27,73	26,46	26,57	80,76	26,92

El rendimiento de las rebanadas de orito oscila entre 26,53% y 28,08%. Puesto el objetivo principal de la deshidratación es la pérdida de humedad para disminuir la actividad de agua se consideró como mejores los rendimientos más bajos.

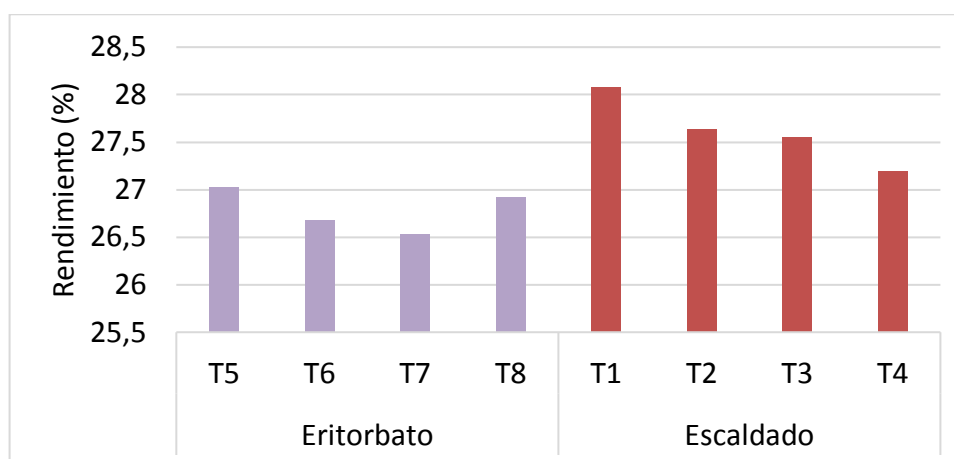


Figura 29. Datos experimentales de rendimiento

El análisis de varianza realizado permite afirmar que el rendimiento depende del factor A (Método de inactivación de enzimas), la prueba de Tukey ubicó en rangos diferentes las medias de este factor.

Tabla 30. Análisis de varianza rendimiento

Fuente de variación	SC	GL	CM	F ₀
Total	12,84	23		
Tratamientos	5,77	7	0,82	1,86
Método	4,11	1	4,11	9,30 **
Temperatura	0,56	1	0,56	1,26
Velocidad	0,22	1	0,22	0,50
Método x Temperatura	0,20	1	0,20	0,46
Temperatura x Velocidad	0,25	1	0,25	0,57
Método x Velocidad	0,27	1	0,27	0,60
Método x Temperatura x Velocidad	0,16	1	0,16	0,36
Error	7,07	16	0,44	

Nota: **: altamente significativo, *: significativo

Al existir significancia se realizó la prueba de Tukey al 5%. El rendimiento más bajo se alcanza utilizando eritorbato de sodio, con el escaldado se alcanzan rendimientos más altos posiblemente debido a la gelatinización del almidón como afirma Fernandes, Rodrigues, Law, Mujumdar (2011), después del escaldado las células se vuelven densas por la gelatinización del almidón.

Tabla 31. Prueba de Tukey para el factor A (método de inactivación de enzimas)

Factor A	Descripción	Medias	
A2	Eritorbato de sodio	26,79	a
A1	Escaldado	27,61	b

4.2.6. SÓLIDOS SOLUBLES (°BRIX)

Los sólidos solubles expresan la cantidad de sacarosa y equivale a porcentaje en peso de sacarosa presente. Como consecuencia de la deshidratación, los sólidos solubles totales aumentan. Se verificó el supuesto de normalidad ($p = 0,97$) y homocedasticidad ($p = 0,23$). El análisis estadístico se condujo de forma similar a las variables anteriores.

Tabla 32. Datos experimentales °Brix

Tratamiento	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
Materia prima					18
T1 A1B1C1	66,44	69,67	77,61	213,72	71,24
T2 A1B1C2	73,02	76,11	71,69	220,81	73,60
T3 A1B2C1	67,11	69,97	67,59	204,66	68,22
T4 A1B2C2	74,66	69,65	64,92	209,23	69,74
T5 A2B1C1	77,76	77,67	74,56	229,99	76,66
T6 A2B1C2	69,70	75,05	78,90	223,65	74,55
T7 A2B2C1	76,89	77,91	73,44	228,24	76,08
T8 A2B2C2	76,19	71,83	70,59	218,61	72,87

El promedio de los valores son menores para los tratamientos que se sometieron a escaldado, en comparación de las muestras que se trataron con eritorbato de sodio. La diferencia es explicada por Barreiro y Sandoval (2006); Gil (2010): el escaldado en agua conlleva una pérdida de materiales hidrosolubles debido al efecto térmico y a los arrastres por disolución. El aumento de los grados brix se debió a la concentración de los azúcares durante la deshidratación.

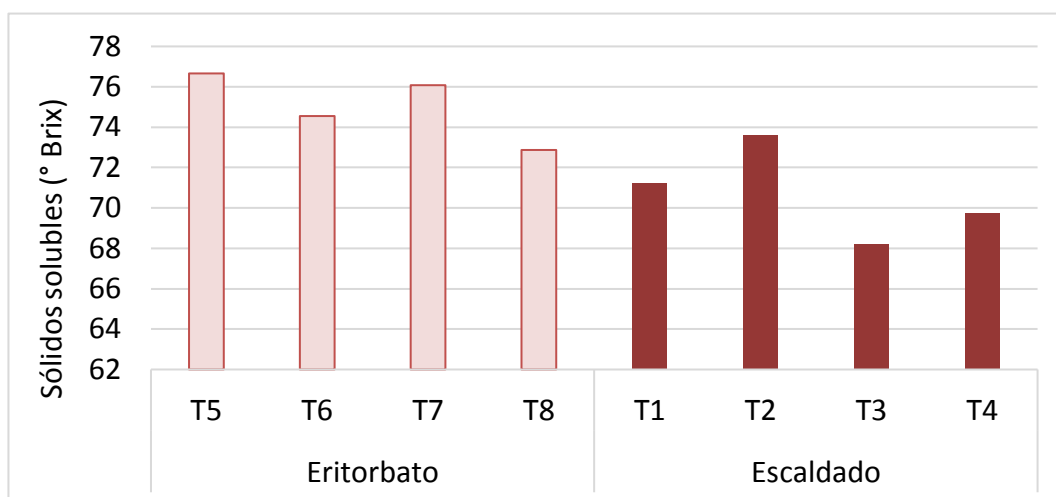


Figura 30. Datos experimentales de sólidos solubles

De acuerdo con el análisis de varianza en la tabla 33 realizado el contenido final de sólidos solubles depende del método de inactivación de enzimas. Las condiciones del aire empleadas no tienen efecto apreciable sobre los sólidos solubles del producto final.

Al existir significancia estadística para el factor A, se realizó la prueba de Tukey presentada en la tabla 34. El mayor contenido de °Brix se alcanza cuando se emplea el nivel A2 (eritorbato de sodio), este valor es diferente del que se obtiene con A1, no solo matemáticamente sino, estadísticamente puesto que están en rangos distintos.

Tabla 33. Análisis de varianza °Brix

Fuente de variación	SC	GL	CM	F ₀
Total	392,34	23		
Tratamientos	186,28	7	26,61	2,07
Método (A)	112,96	1	112,96	8,77 **
Temperatura (B)	31,33	1	31,33	2,43
Velocidad (C)	0,77	1	0,77	0,06
Método x Temperatura (A x B)	7,99	1	7,99	0,62
Temperatura x Velocidad (B x C)	1,41	1	1,41	0,11
Método x Velocidad (A x C)	31,80	1	31,80	2,47
Método x Temperatura x Velocidad (AxBxC)	0,02	1	0,02	0,00
Error	206,05	16	12,88	

Nota: **: altamente significativo, *: significativo

Tabla 34. Prueba de Tukey para el factor A (método de inactivación de enzimas)

Factor A	Descripción	Medias	
A1	Escaldado	70,7	a
A2	Eritorbato de sodio	75,04	b

Nota: Medias con letras diferentes se consideran estadísticamente diferentes

En la tabla 35 se resumen los valores de las variables estudiadas con su respectiva desviación estándar para cada tratamiento, destacando T5 y T6.

Los tratamientos 5 y 6 presentaron una actividad de agua de 0,53 y 0,51 respectivamente, lo cual permite afirmar que el producto es estable microbiológicamente; al estar por debajo de los valores de actividad de agua requeridos por microorganismos. Badui (2012) menciona que el crecimiento de hongos, se propicia cuando $a_w > 0,69$; crecimiento de levaduras $a_w > 0,88$ y el crecimiento de bacterias, cuando $a_w > 0,91$. “La mayoría de reacciones enzimáticas requiere actividades de agua de 0,85 o mayores.” (Berk, 2013, p.17). Por lo cual, estando el producto fuera de este rango; estas reacciones no ocurrirán. A continuación se presentan las curvas de secado para los mejores tratamientos.

Tabla 35. Resumen de resultados

	Variables evaluadas					
	L*	Hue °	ΔE	Rendimiento	°Brix	Humedad (%)
MP	99,26	119,39	0	-	18	71,17
T1	97,23 ± 0,38	76,14±3,96	7,26±0,10	28,08 ± 1,02	71,24 ± 5,75	4,40 ± 0,17
T2	97,14 ± 0,69	83,59±4,63	7,72±0,10	27,64 ± 0,27	73,60 ± 2,27	4,60 ± 0,47
T3	98,09 ± 0,40	84,76±3,65	7,18±0,12	27,55 ± 1,15	68,22 ± 1,53	4,00 ± 0,68
T4	98,79 ± 0,57	86,47±0,80	7,50±0,05	27,19 ± 0,45	69,74 ± 4,87	3,38 ± 0,67
T5	99,04 ± 0,43	109,77±2,17	5,56±0,20	27,02 ± 0,41	76,66 ± 1,82	4,30 ± 0,26
T6	99,21 ± 0,53	116,91±3,50	5,22±0,26	26,67 ± 0,47	74,55 ± 4,62	4,26 ± 0,33
T7	99,04 ± 0,41	106,43±2,18	6,31±0,14	26,53 ± 0,15	76,08 ± 2,34	3,47 ± 0,17
T8	98,87 ± 0,40	98,71±1,28	6,97±0,07	26,92 ± 0,70	72,87 ± 2,94	3,77 ± 0,23
CV	0,49	3,20	2,15	2,44	4,92	8,71

4.3. CURVAS DE SECADO

La pérdida de humedad se describe en función del tiempo en términos de un decaimiento exponencial. A continuación se presentan las curvas de secado para los tratamientos 5 y 6, las curvas del resto de tratamientos se encuentran en el anexo B. La metodología de los cálculos para la construcción de las curvas de secado se exponen en el Anexo C. La figura 31 muestra la curva de secado para T5.

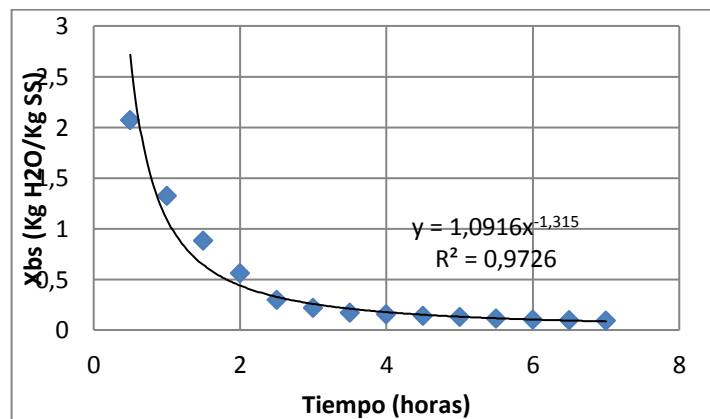


Figura 31. Curva de secado humedad en base seca vs. Tiempo

El tiempo necesario para alcanzar el peso constante se situó en las siete horas y la tasa de pérdida de humedad fue marcadamente alta durante las primeras 2 horas para luego disminuir, lo cual corresponde con lo reportado por Cruz, Riera, Comet y Abreu, (2017). El modelo de regresión que mejor se ajusta a los datos es el potencial, al tener un coeficiente de determinación alto: $R^2 = 0,973$. El análisis de la serie de tiempo se realizó utilizando los logaritmos de la variable humedad en base seca y se calcularon los coeficientes para la nueva ecuación de la función lineal.

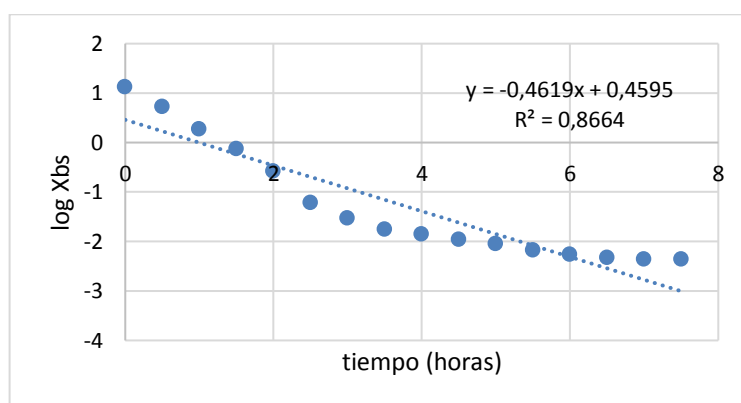


Figura 32. Serie de tiempo con transformación logarítmica para T5

La figura 32 demuestra que mientras el tiempo de secado avanza el logaritmo de la humedad en base seca del material disminuye. La confiabilidad del modelo, dada por el coeficiente de determinación $R^2 = 0.86$, indican que el 86% de los valores de los logaritmos naturales de X_{bs} están estimados por la ecuación de regresión lineal indicada en la figura 32.

La figura 33 presenta la relación entre la velocidad de secado (N) y la humedad en base seca (X_{bs}) para el tratamiento 5. En las condiciones de secado sostenidas no existió período de velocidad constante. La inexistencia del período de velocidad constante también fue reportada en la deshidratación de bananos *Musa sapientum*. “En el secado convectivo de banano se encontraron dos períodos de velocidad decreciente, el primero sucede predominantemente por la difusión de la humedad; y a medida que el secado continúa sucede el endurecimiento superficial. Como consecuencia, la humedad toma mayor tiempo en llegar a la superficie, disminuyendo drásticamente la velocidad de secado” (Amankwah, Agyabeng,

Marmah y Boxtel, 2014). Los autores reportaron que durante su experimentación la velocidad de secado fue alta en las primeras horas, debido a la mayor cantidad de agua libre; y al existir solamente período de velocidad decreciente, la transferencia de humedad se da por difusión.

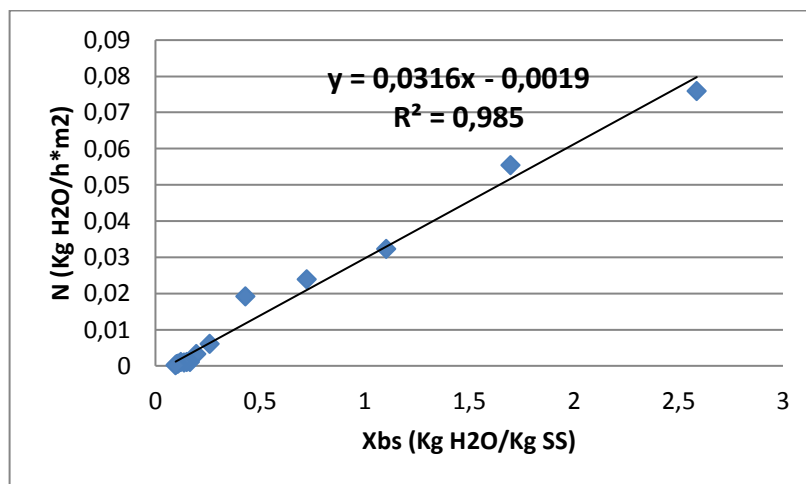


Figura 33. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T5

La figura 34 muestra la curva de secado para el tratamiento 6. El tiempo necesario para alcanzar el peso constante se situó en las siete horas y media. La tasa de deshidratación es alta durante las dos primeras horas, Cazar (2015) afirma que ésta empieza a disminuir a medida que se forma más costra en la superficie del alimento.

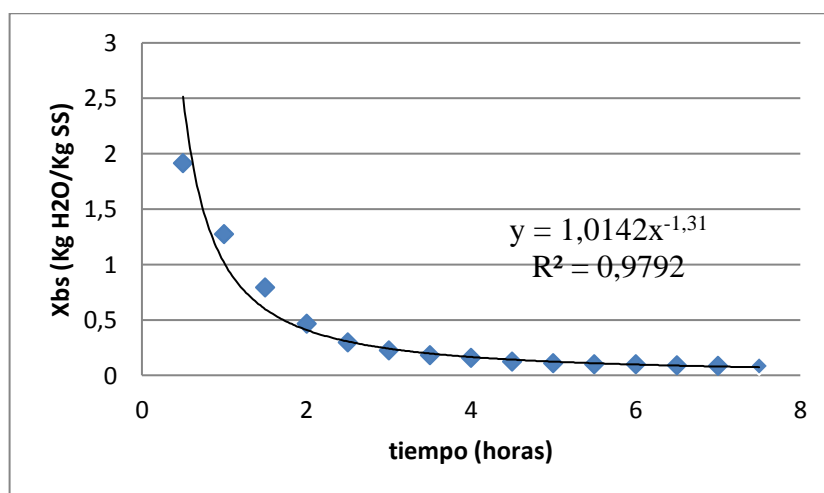


Figura 34. Curva de secado para T6, humedad seca vs. tiempo

Para analizar el comportamiento de las variables se utilizó la herramienta series de tiempo con transformación logarítmica; posteriormente, se calcularon los logaritmos de la variable humedad en base seca, y la ecuación de la función lineal.

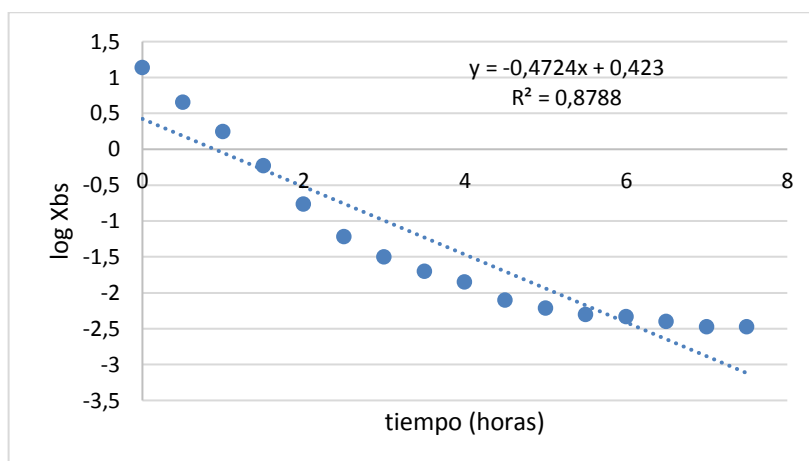


Figura 35. Serie de tiempo con transformación logarítmica para T6

La figura 35 demuestra que con el transcurso del tiempo los logaritmos de la humedad en base seca disminuyen.

La figura 36 presenta la relación entre la velocidad de secado (N) y la humedad en base seca (Xbs) para el tratamiento 6. En las condiciones de secado sostenidas no existió período de velocidad constante por lo tanto, el secado se realizó únicamente en un período de velocidad decreciente.

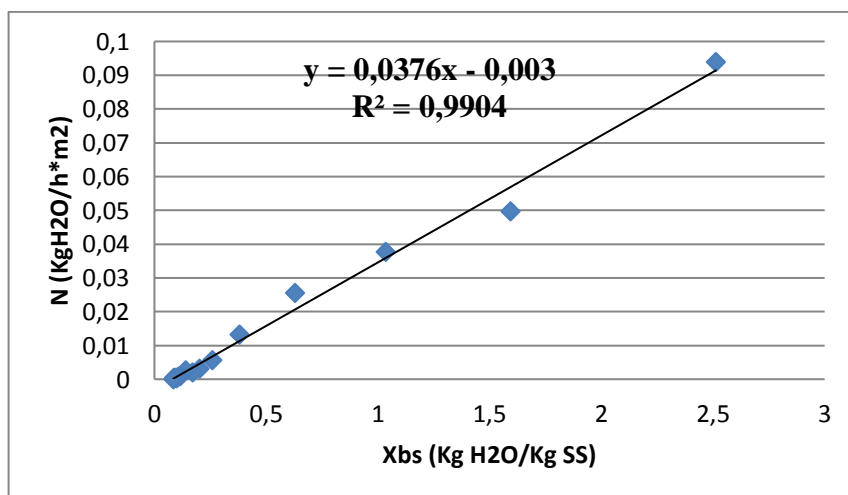


Figura 36. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T6

La figura 36 muestra la inexistencia de período de velocidad constante en banano orito, este comportamiento también fue observado en el secado de plátano *Roatán* (Sandoval, Rodríguez, Méndez y Sánchez, 2006) y en otros frutos como kiwi, mango, piña y zapote (Fernandes, Rodrigues, Law, y Mujumdar, 2011). El marcado período de velocidad decreciente es característico de ciertos tipos de frutas donde la naturaleza de la transferencia de masa tiene que ver esencialmente con la influencia de la combinación de sus constituyentes (Vega et al., 2007).

4.4. ANÁLISIS SENSORIAL

Stone y Sidel (1993) citados por González, Rodeiro, Sanmartín y Vila Plana (2014) definen el análisis sensorial como la identificación, medida científica, análisis e interpretación de las respuestas a los productos percibidas a través de los sentidos del gusto, vista, olfato y tacto. A continuación se definen las características de importancia tomadas en cuenta para el análisis sensorial de rebanadas de orito deshidratado.

“El color es la parte de la energía radiante que se percibe mediante las sensaciones visuales, que se generan por la estimulación de la retina del ojo. El color se debe a la emisión que realizan algunos compuestos químicos con características específicas debidas a su estructura” (Mendoza y Calvo, 2011, p. 81). El color tal como se describe llega a ser un punto clave, ya que representa la primera impresión y da paso a que el consumidor sea capaz de intuir y asociarlo con el valor nutritivo, el dulzor o su estado (fresco o podrido).

Cuando el alimento es aproximado a la boca se percibe su olor. Mendoza y Calvo (2011) lo definen: “El olor es la propiedad organoléptica que presentan algunas sustancias, que puede ser percibida por inhalación en la cavidad buconasal”. Cuando el alimento llega a la boca, sus moléculas pasan a la saliva y se unen a los receptores de la superficie de las papilas de la lengua, dando la sensación de sabor.

El sabor puede definirse como la suma de aquellas características de cualquier material introducido en la boca y percibido por los sentidos de gusto y olfato, así como las sensaciones químicas, térmicas o dolorosas (táctil superficial) bucales, tal como son recibidas e interpretadas por el cerebro, o más sencillamente como la combinación de gusto y olfato evocadas por una sustancia en la boca (Mendoza y Calvo, 2011, p. 93).

La textura es una importante propiedad organoléptica dada por la porosidad, agregación, gelificación, elasticidad y la microestructura, es decir está determinada por la estructura del alimento. Todos los atributos descritos permiten apreciar la calidad de un alimento. El deterioro de uno afecta la calidad en general y resulta en una menor aceptación por parte del consumidor.

El análisis sensorial se realizó con la participación de 17 degustadores, quienes registraron su percepción de los atributos de color, olor, sabor, textura y aceptabilidad en la ficha de análisis sensorial (ver anexo D). Los resultados se analizaron a través de la prueba no paramétrica de Friedman, mediante la comparación entre chi cuadrado (X^2) calculado y tabular al 0.05 de nivel de significancia. Las puntuaciones promedio para cada atributo se ilustran a continuación.

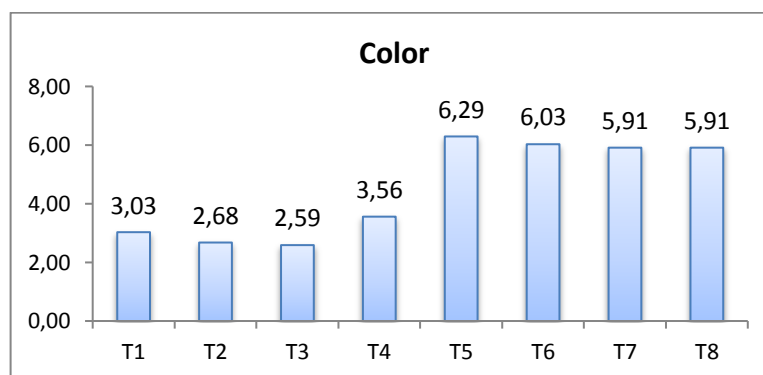


Figura 37. Puntuación para el atributo de color de rebanadas de orito deshidratado

La prueba de Friedman al 5% muestra diferencia estadística altamente significativa, lo cual permite afirmar que los tratamientos no son iguales. El color de las muestras de orito deshidratado tiene puntuaciones más altas para los tratamientos T5, T6, T7 y T8, y que por lo tanto se acercaron más a los descriptores del color: crema, amarillo claro y café claro.

La figura 38 muestra las puntuaciones otorgadas por los degustadores para el atributo de olor. Las puntuaciones más altas para T5, T6, T7 y T8, reflejan el nivel de gusta mucho dentro de la escala utilizada en la ficha de análisis sensorial. Estos tratamientos reunieron las características de olor característico frutal conferido por el acetato de isoamilo.

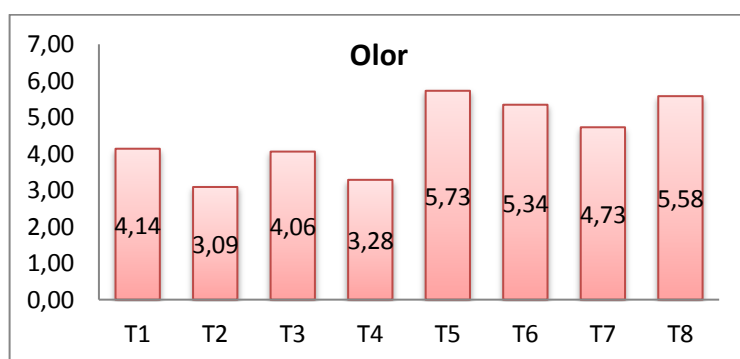


Figura 38. Puntuación para el atributo de olor de rebanadas de orito deshidratado

La figura 39 ilustra las puntuaciones dadas a cada tratamiento por los degustadores, los tratamientos mejor puntuados reflejan de mejor manera el conjunto todas las sensaciones que se incluyen en la percepción del sabor, detalladas anteriormente, las puntuaciones más altas corresponden a los tratamientos 5, 6 y 7. Considerando que esto se debe a que las muestras presentaron un sabor frutal, dulce y libre de sabores fermentados o amiláceos.

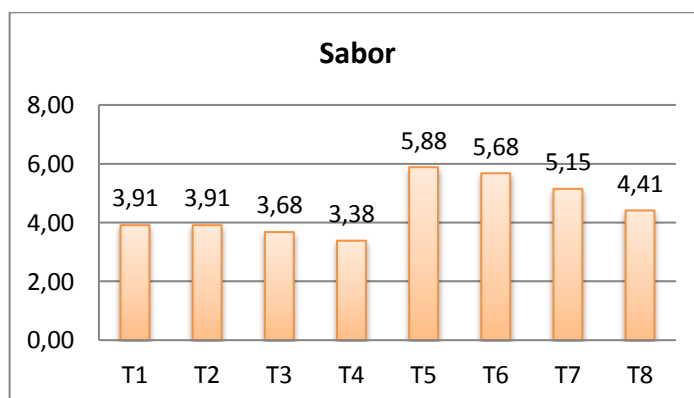


Figura 39. Puntuación para el atributo de sabor de rebanadas de orito deshidratado

La figura 40 muestra que la calificación para la textura de T5 y T6 destaca sobre el resto de tratamientos, el atributo de textura es característico de las frutas deshidratadas y está influenciado en gran medida por el método de secado que ocasiona cambios estructurales por la forma en la que se da la transferencia de masa. “La estructura molecular, supramolecular, micro y macro estructuras de los alimentos están influidas por las condiciones de secado aplicadas y por lo tanto cambian significativamente; entre los cambios que pueden darse están la gelatinización del almidón, transformación de sustancias cristalinas a amorfas y la

desnaturalización de proteínas” (Palzer, Dubois y Gianfrancesco, 2012, p. 97). La textura fue correosa y hulosa.

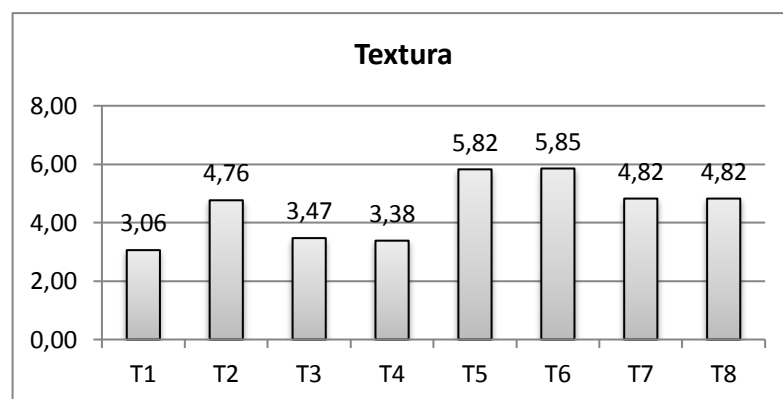


Figura 40. Puntuación para el atributo de textura de rebanadas de orito deshidratado

Los cambios mencionados son producto, en conjunto, de una serie de aspectos que tienen que ver con la materia prima y las condiciones de deshidratación. “La tecnología de deshidratación, contenido de sólidos del alimento, composición, fluctuaciones de presión durante el secado y la cinética de transferencia de masa influyen en la generación de la microestructura” (Palzer, Dubois y Gianfrancesco, 2011, p. 97)

“Los atributos texturales de las muestras escaldadas demuestran una dureza más alta que las muestras de banano deshidratadas no tratadas” (Raikham, Prachayawarakorn, Nathakaranaakule y Soponronnarit, 2015, p.915). De la misma manera, Kotwaliwale et al. citados por Argyropoulos, Khan y Muller (2011) encontró que las muestras de champiñones escaldadas exhibieron una dureza mayor comparada con otras muestras deshidratadas.

Los autores argumentan que este comportamiento podría deberse a que el escaldado promueve la expulsión del aire intercelular y como consecuencia hay una reorganización más estrecha dentro de los tejidos.

La figura 41 reúne las puntuaciones de aceptabilidad mostrando en orden descendente sus calificaciones: T5, T6, T7, T2, T8, T4, T3 y T1.

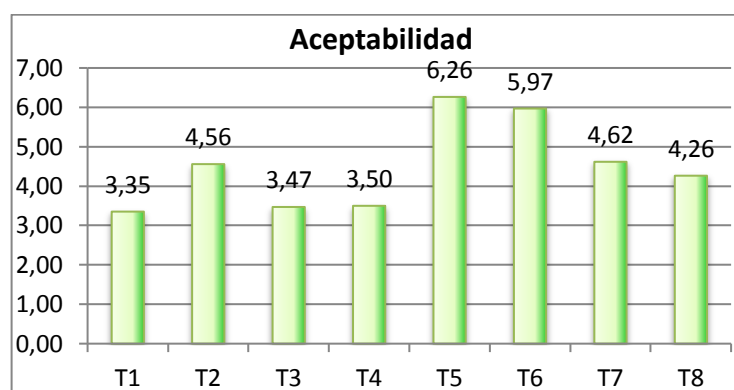


Figura 41. Puntuación para la aceptabilidad de rebanadas de orito deshidratado

El análisis sensorial con consumidores indica que los tratamientos T5, T6, T7 y T8 son los preferidos. Correlacionando estos resultados con las medidas instrumentales, se observa que las muestras de T5 y T6 están claramente diferenciadas. En la tabla 38 se resumen los resultados del análisis sensorial.

Tabla 36. Resumen de resultados del análisis sensorial

	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad
T1	3,03 ± 1,64	4,14 ± 2,10	3,91 ± 2,27	3,06 ± 2,04	3,35 ± 1,68
T2	2,68 ± 1,06	3,09 ± 1,19	3,91 ± 1,73	4,76 ± 2,06	4,56 ± 1,34
T3	2,59 ± 1,51	4,06 ± 1,93	3,68 ± 2,64	3,47 ± 1,49	3,47 ± 1,53
T4	3,56 ± 1,13	3,28 ± 1,87	3,38 ± 1,52	3,38 ± 1,65	3,50 ± 1,93
T5	6,29 ± 1,41	5,73 ± 1,87	5,88 ± 1,75	5,82 ± 1,78	6,26 ± 1,77
T6	6,03 ± 1,34	5,34 ± 1,70	5,68 ± 2,12	5,85 ± 2,13	5,97 ± 2,00
T7	5,91 ± 1,84	4,73 ± 1,67	5,15 ± 1,71	4,82 ± 2,03	4,62 ± 2,10
T8	5,91 ± 1,95	5,58 ± 1,52	4,41 ± 2,15	4,82 ± 2,17	4,26 ± 2,19

Nota. $\bar{x} \pm \sigma$ (n=17)

4.5. BALANCE DE MATERIALES PARA T6

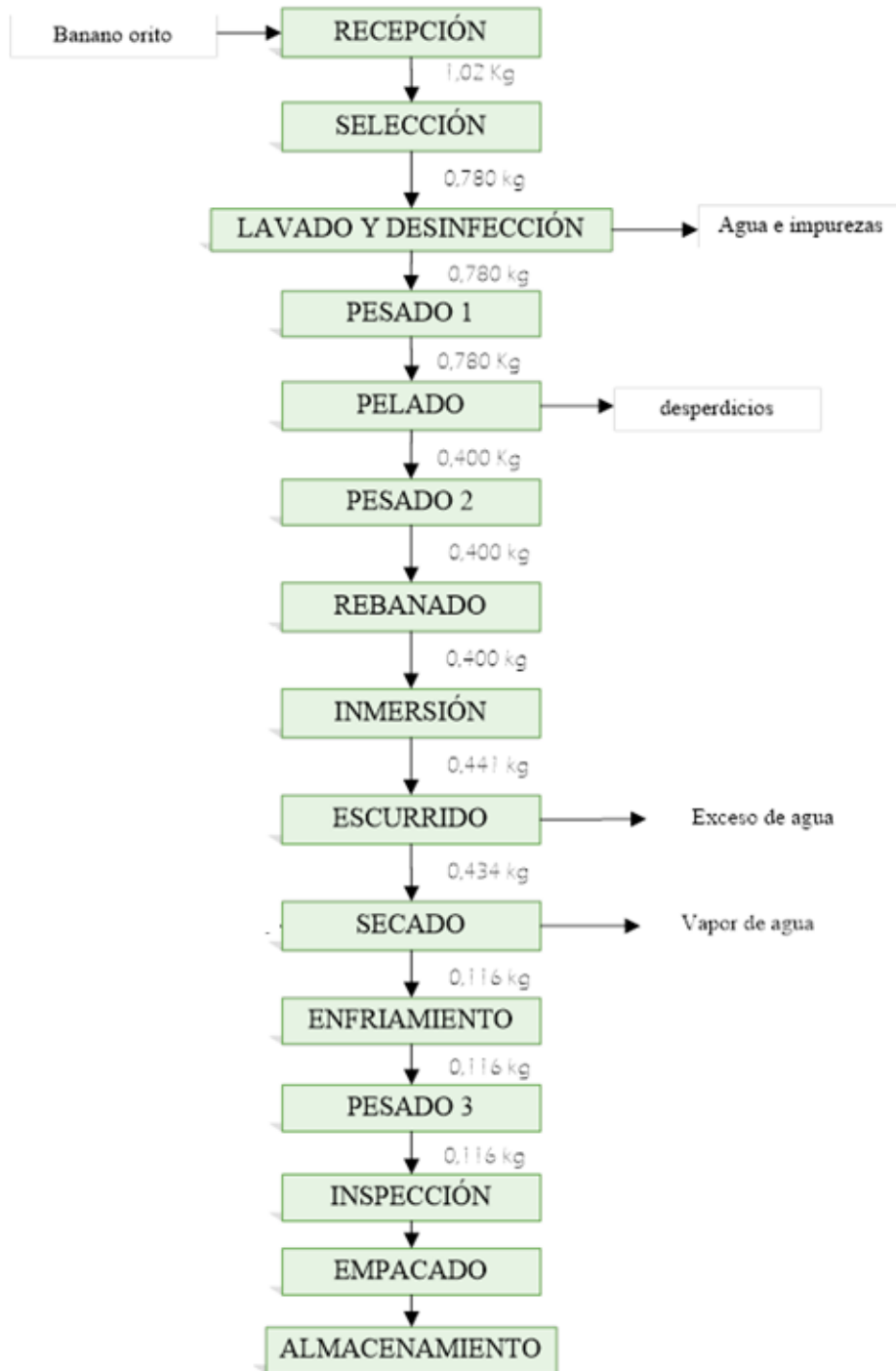


Figura 42. Balance de materiales

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Una vez realizadas las discusiones de las variables evaluadas, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Al realizar los análisis físicos y químicos del banano orito en estado de madurez 5 se determinaron las características que permitieron clasificarlo como una fruta con alto contenido de humedad, sin llegar a ser jugosa. Además se evidenció que su palatabilidad se debe al alto contenido de azúcares y al bajo contenido de acidez.
- Una vez realizados los análisis físicos y químicos del producto final, se determinó que los valores de las variables evaluadas, en general, disminuyeron como consecuencia de las condiciones sostenidas en el procesamiento de la fruta; a excepción de los sólidos solubles, que se concentraron por efecto del secado.
- En función a las variables asociadas al color de la materia prima y el producto final, la solución de eritorbato de sodio y la temperatura del aire de secado de 60°C resultaron ser las mejores condiciones ya que generan los valores más cercanos al estado inicial de la fruta, debido a la naturaleza del eritorbato de sodio como agente antioxidante y preservante del color.

- En función a las variables asociadas al color de la materia prima y el producto final el método físico de escaldado no es recomendado para el pre-procesamiento del banano orito ya que afectó negativamente la calidad del producto por la mayor diferencia entre los valores iniciales y finales.
- Evaluadas las curvas de secado para los diferentes tratamientos se determinó que no existe período de velocidad constante; solamente se reporta el período de velocidad decreciente debido a que el mecanismo de transferencia de masa predominante fue la difusión de la humedad en la superficie.
- En función a los análisis estadísticos realizados, los factores estudiados sí influyeron sobre el pardeamiento enzimático y no enzimático de oritos rebanados concluyendo así, que se acepta la hipótesis alternativa.
- Una vez realizado el análisis sensorial del producto final se encontró que los tratamientos cinco (Eritorbato de sodio 1%, 60°C, 2 m/s) y seis (Eritorbato de sodio 1%, 60°C, 4 m/s) tuvieron una mayor aceptabilidad ya que sus características organolépticas fueron calificadas con puntajes más altos que el resto de tratamientos; confirmando que el color es un aspecto crítico para la aceptación de un producto.

5.2. RECOMENDACIONES

De las conclusiones presentadas en base a las variables estudiadas en la presente investigación, se presentan las siguientes recomendaciones.

- Para posteriores estudios y experimentos se recomienda trabajar con sistemas de visión por ordenador para realizar el seguimiento de las propiedades relacionadas con la calidad ya que es una técnica que se está usando con especial énfasis en este campo.
- Es recomendable evaluar el pardeamiento del banano orito sometido a distintos tipos de deshidratación como por ejemplo la deshidratación osmótica o la liofilización, ya que son procesos que actúan sobre los tejidos de las frutas en formas diferentes al secado convectivo.
- Por otro lado se puede evaluar la influencia de otros pretratamientos contra el pardeamiento por ejemplo el escaldado con vapor, con microondas,

radiación infrarroja, agentes antioxidantes o una combinación de dos o más de ellos; con el objeto de dirigir el tratamiento térmico a la inactivación de exclusivamente las enzimas de la superficie de las rebanadas, donde la operación de rebanado causó la rotura de las células.

- Se recomienda optimizar el equipo, de manera que la toma de las lecturas del peso de las muestras durante el transcurso de la deshidratación sea posible con la automatización y acoplamiento de una balanza al interior del secador, de manera que se disminuyan las pérdidas de calor y precisión por la ejecución del pesado manualmente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adewale, O. O., Afam, I. O., Jideani y Patrick F. K. (2015). Quality Properties of Fruits as Affected by Drying Operation, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.
- Akoy, E. O. M. (2014). Effect of Drying Temperature on Some Quality Attributes of Mango Slices. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 4(2), 91–99.
- Alarcón, G., López, V., y Restrepo M., (2012). *Caracterización de la funcionalidad tecnológica de una fuente rica en fibra dietaria obtenida a partir de cáscaras de plátano*. Medellín – Colombia: Facultad de Ciencias Agrarias.
- Amami, E., Khezami, L., Jemai, A. B., y Vorobiev, E. (2014). Osmotic dehydration of some agro-food tissue pre-treated by pulsed electric field: Impact of impeller's Reynolds number on mass transfer and color. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 26(1), 93–102.
- Amankwah, E. A., Dzisi, K. A. Agyabeng, F., Marmah, A. J. y Boxtel V. (2014). Drying characteristics of dried banana. *Journal of Agricultural engineering*. 1 (1), 81-85
- Antal, T. (2015). Comparative study of three drying methods: freeze, hot air-assisted freeze and infrared-assisted freeze modes. *Agronomy Research* 13 (4), 863-878
- Andrade, R. D., Lemus, R., y Perez, C. E. (2011). Models of Sorption Isotherms for Food: Uses and Limitations. *Vitae-Revista De La Facultad De Quimica Farmaceutica*, 18(3), 324–333.
- Argyropoulos, D., Khan, M. T., y Muller, J. (2011). Effect of Air Temperature and Pre-treatment on Color Changes and Texture of Dried *Boletus edulis* Mushroom. *Drying Technology*, 29(16), 1890–1900.

- Arrazola, G. (2016). *Efecto del tratamiento de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasa en dos variedades de batata (Ipomoea batatas Lam.)*. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 10(1), 80-88.
- Azarpazhooh, E., y Ramaswamy, H. S. (2011). Optimization of microwave-osmotic pretreatment of apples with subsequent air-drying for preparing high-quality dried product. *International Journal of Microwave Science and Technology*, 2011. <http://doi.org/10.1155/2011/687548>
- Baini, R., y Langrish, T. A. G. (2009). Assessment of colour development in dried bananas - measurements and implications for modelling. *Journal of Food Engineering*, 93(2), 177–182.
- Badui, S. (2012). *La ciencia de los alimentos en la práctica*. México: Ediciones Pearson.
- Barreiro, J. A., y Sandoval, A. J. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Venezuela: Equinoccio.
- Barret, D. M., Somogyi, L. y Ramaswamy H. (2005). *Processing Fruits: Science and Technology*. Londres: CRC PRESS.
- Bello, J. (Ed.). (2008). El pardeamiento enzimático. *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos*. (pp. 323-329) España: Ediciones Díaz de Santos.
- Bejarano, S. M. y Morales M. V., (2005). *Estudio de la influencia de diferentes perfiles de variación de temperatura de aire sobre las propiedades físicas del banano*. (Tesis de pregrado). Universidad de la Sabana, Colombia.
- Benavides, A. (2017). *Efecto del cloruro de calcio y el proceso de secado sobre las características organolépticas de las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón prunus pérsica*. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra.
- Berk, Z. (2013). *Food process Engineering and Technology*. Londres: Academic Press.

- Boudhrioua, N., Giampaoli, P., y Bonazzi, C. (2003). Changes in aromatic components of banana during ripening and air drying. *Swiss Society of Food Science and Technology*, 36 (6), 633-642
- Boudhrioua, N., Michon, C., Cuvelier, G., y Bonazzi, C. (2002). Influence of ripeness and air temperature on changes in banana texture during drying. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 115–121.
- Camacho, J. Q. (2007). *Efecto del desbellote y eliminación de manos en el rendimiento y calidad del banano orito (Musa acuminata AA) en la zona de Cumandá*. Guayaquil, Ecuador: INIAP Estación experimental Sur.
- Camacho, L. (2016). *Propuestas para mitigar el arribo de contenedores con banano de exportación en estado maduro a los clientes de la compañía delindecsa*. Universidad de Guayaquil. Guayaquil
- Carranza, J., Sánchez, M., (2003). Cinética de secado de *Musa Paradisiaca L.* “Plátano” y *Manihot esculenta Grantz* “Yuca”. *Revista amazónica de investigación alimentaria*. 2 (1), 15-25.
- Castellanos, D. (2012). *Evaluación del almacenamiento de banananito (Musa acuminata AA) con atmósferas modificadas*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia.
- Castellanos, D. A., y Algecira, N. A. (2012). Modelado del cambio en color y firmeza de baby banana (*Musa acuminata AA*) almacenado en atmósferas modificadas. *Agronomía Colombiana*, (30), 84-94.
- Castro, P., Andrade, I. y Cornejo, F. (s.f.). *Influencia de pretratamientos convencionales en el proceso de secado de banano y en las características del producto final*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador.
- Castro, R. K. (2011). *Tecnología de alimentos*. Bogotá, CO: Ediciones de la U.
- Cazar, E. F. (2015). *Optimización del proceso de elaboración de snacks de piña (Ananas comosus) mediante la combinación de diferentes condiciones de*

pretratamiento y fritura al vacío. (Tesis de Pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.

Chonlada, R., Somkiat, P., Adisak, N. y Somchart, S. (2014). Influences of Pretreatments and Drying Process Including Fluidized Bed Puffing on Quality Attributes and Microstructural Changes of Banana Slices. *Drying technology*, 33, 915:925.

Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Chou, S. K., Hawlader, M.N.A y Hop, J. C. (2000). Convective drying of banana, guava and potato pieces: effect of cyclical variations of air temperature on drying kinetics and color change. *Drying Technology*, 18(4-5), 907-936.

Colina, L. M., (2010). *Deshidratación de los alimentos*. España: Editorial Trillas.

Coste, E., Picallo, A., Bauzá, M., Sance, M., (2010). Desarrollo preliminar de descriptores para el análisis sensorial de ajos desecados y liofilizados. *Rev. FCA UNCuyo*. 42(1), 159-168.

Cruz, L., Riera, G., Comet, R., y Abreu, R. (2017). Estudio de la cinética de secado por aire caliente de desechos de la industria procesadora de tomate. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 24(2), 57–62.

Diamante, L., Durand, M., Savage, G., y Vanhanen, L. (2010). Effect of temperature on the drying characteristics, colour and ascorbic acid content of green and gold kiwifruits. *International Food Research Journal*, 17(2), 441–451.

Denoya, G. I, Ardanaz, M, Sancho, A. M, Benítez, C. E, González, C, & Guidi, S. (2012). Efecto de la aplicación de tratamientos combinados de aditivos sobre la inhibición del pardeamiento enzimático en manzanas cv. Granny Smith mínimamente procesadas. RIA. *Revista de investigaciones agropecuarias*, 38(3), 263-267.

Elías, C. X. (2012). *Sistemas de tratamiento térmico: procesos a baja temperatura, secado: procesos a baja temperatura, secado*. Madrid, ES: Ediciones Díaz de Santos.

- Elsheshetawy, H. E., y Faid, S. M. (2015). *Effect of Pretreatments and Air Temperatures on Drying Characteristics and Color Changes of Ziziphus Fruits*, 10(1), 15–26.
- Exportadora SOPRISA S.A., (2016). *Orito Baby Banana*. Recuperado de: <http://www.exportadorasoprisa.com/site/index.php/es/la-empresa/instalaciones>
- FAO, (s.f.). *Fichas técnicas: procesado de frutas*. Recuperado el 12 de Junio del 2016 de <http://www.fao.org/3/a-au168s.pdf>
- Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., Law, C. L., y Mujumdar, A. S. (2011). Drying of Exotic Tropical Fruits: A Comprehensive Review. *Food and Bioprocess Technology*, 4(2), 163–185.
- Galaviz, V. J. (2012). *Estrategia Tecnológica sustentable para deshidratar frutas, verduras y legumbres*. México: Palibrio
- Gil, Á. (2010). Tratado de nutrición. Tomo II, *Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos*, Editorial Médica Panamericana.
- Gil, G., Rojano, B. y Guerrero, C. (2013) *Inhibición de la polifenoloxidasa extraída del banano (cavendish) por medio de algunos derivados del isoespintanol*. Colombia: Corporación universitaria Lassallista.
- Giri, S., y Prasad, S. (2013). Quality Characteristics of Microwave-Vacuum Dried Button Mushrooms (*Agaricus Bisporus*). *Octa Journal of Biosciences*, 1(1), 24–31.
- González Regueiro, V., Rodeiro Mauriz, C., Sanmartín Fero, C., y Vila Plana, S. (2014). Introducción al análisis sensorial Estudio hedónico del pan en el IES Mugaros. Sgapeio.
- Harrison A. J y Andress, E. L. (s.f). *Preserving food: Drying fruits and vegetables*. Universidad de Georgia: Estados Unidos de América.
- Ibarz, M. R., Pagán, J., Garza S., (2010). *Pardeamiento de zumos clarificados de limón tratados a altas temperaturas*. Departamento de Tecnología de Alimentos. España

- Instituto, P. N. (Ed.). (2010). *Temas en tecnología de alimentos*. Volumen I. México, D.F., MX: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado el 30 de Mayo de 2016 de <http://www.ebrary.com>
- Jeanet, R., Croguennec, T., Schuck, P. y Brulé, G. (2013). *Ciencia de los alimentos*. España: Editorial Acribia.
- Jurado, L. M. E. (2013). *Tratamientos finales de conservación: fabricación de conservas vegetales (UF1280)*. Madrid, ESPAÑA: IC Editorial. Recuperado el 13 de Marzo de 2015 de <http://www.ebrary.com>
- Konika minolta, (2014). *Identificando diferencias de colores utilizando coordenadas de color*. Recuperado el 20 de Julio de 2016 de <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/08/identificando-diferencias-de-colores-usando-coordenadas-lab-o-lch/>
- Koyuncu, T., Tosun, I. y Ustun, N. S. (2003) Drying Kinetics and Color Retention of Dehydrated Rosehips, *Drying Technology*, 21(7), 1369-1381
- Krokida, M. K., Kiranoudis, C.T., Maroulis, Z. B. y Marinos-Kouris, D. (2000). Effect of pretreatment on color of dehydrated products, *Drying Technology*, 18(6), 1239-1250.
- Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., y Saravacos, G. D. (2001). The effect of the method of drying on the color of dehydrated products. *International Journal of Food Science and Technology*, 36(1), 53 - 59)
- Krokida, M. K., y Maroulis, Z. B., (2001). *Quality changes during drying of food materials*. Recuperado el 11 de Junio del 2016 de <https://www.researchgate.net/publication/265024603>
- La luz: ciencia y tecnología. (2015). Madrid, ES: Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Lara, V. (2017). *Deshidratación de mashua *Tropaeolum tuberosum* para la obtención de hojuelas*. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra

- Liew, C. Y., y Lau, C. Y. (2012). *Determination of quality parameters in Cavendish banana during ripening by NIR spectroscopy*. *International Food Research Journal*, 19(2), 751–758.
- León, L., y Mejía, L. (2002). *Determinación del tiempo de crecimiento para cosecha y comportamiento fisiológico poscosecha del banano variedad "Gross Michael"*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Manizales.
- Madhavi, D.L., Deshpande, S.S., Salunkhe, D.K. (1995). *Food Antioxidants: Technological: Toxicological and Health perspectives*. CRC:Press: United States of America
- Manresa, G. A. (2007). *El color en la industria de los alimentos*. La Habana, CU: Editorial Universitaria.
- Martínez, N. N., Andrés, G. A. M., y Chiralt, B. A. (2010). *Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno*. México, D.F., MX: Instituto Politécnico Nacional.
- Martínez, O., Lapo Calderón, B., Pérez Rodríguez, J., y Zambrano Cabrera, C. (2015). Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Rev. Colomb. Quim*, 44(2), 16–21.
- Medin, R., y Medin, S. (2011). *Alimentos: introducción, técnica y seguridad* (4a. ed.). Buenos Aires, AR: Fundación Proturismo - Ediciones Turísticas.
- Mendoza, M., Calvo, C. (2011). *Bromatología: Composición y propiedades de los alimentos*. McGraw-Hill
- Miranda, W. R., y Teixeira, A. A. (2012). *Principios matemáticos del proceso térmico de alimentos*. AMV Ediciones.
- Moreno, D., Sierra, H. y Díaz, C. (2012). Color y Textura, Características Asociadas a la calidad de tomate deshidratado. *Vitae*, 19(1), S201–S203.
- Mujumdar, A.S., (1997). Drying Fundamentals. En C.G.J. Baker (Ed.) *Industrial Drying of Foods, Blackie Academic & Professional* (pp. 7-30). London.

- Ocampo, R., Ríos, L., Betancour, L., Ocampo, D. (2008). *Curso Práctico de Química Orgánica*. Editorial Universidad de Caldas
- Ocón, J. y Tojo, G., (1980). *Problemas de ingeniería química*. (1a. Ed.). España: Aguilar S. A. ediciones
- Omolola, A. O., Jideani, A. I., y Kapila, P. F., (2015). Drying Kinetics of Banana. *Interciencia*.
- Ospina, M. J., (2001). *Características Físico mecánicas y análisis de calidad de granos*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Palzer, s., Dubois, C., y Gianfrancesco, A. (2011). Generation of product Structures During Drying of Food Products. *Drying Technology*. 30, 97-105.
- Palacín, R. J., (2012). *Efectos de recubrimientos de almidón de yuca, ácido ascórbico, n-acetil-cisteína en la calidad del plátano (Musa paradisiaca)*. Medellín-Colombia: Universidad Nacional de Colombia
- Parikh, D. M. (2014). Solids Drying: Basics and applications. *Chemical Engineering*, 42 – 45.
- Parzanese, M., (s.f). Vegetales mínimamente procesados. Secretaría de Agricultura, acuicultura y pesca. Recuperado el 1 de Julio de 2016 de http://R55_vegetales.pdf
- Pathare, P. B., Opara, U. L., y Al-Said, F. A. J. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <http://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Paulete, J. I. (2013). *Elaboración de productos vegetales (UF1277)*. Madrid, ESPAÑA: IC Editorial.
- Pekke, M. A., Pan, Z., Atungulu, G. G., Smith, G., & Thompson, J. F. (2013). Drying characteristics and quality of bananas under infrared radiation heating. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 6(3), 58-70.

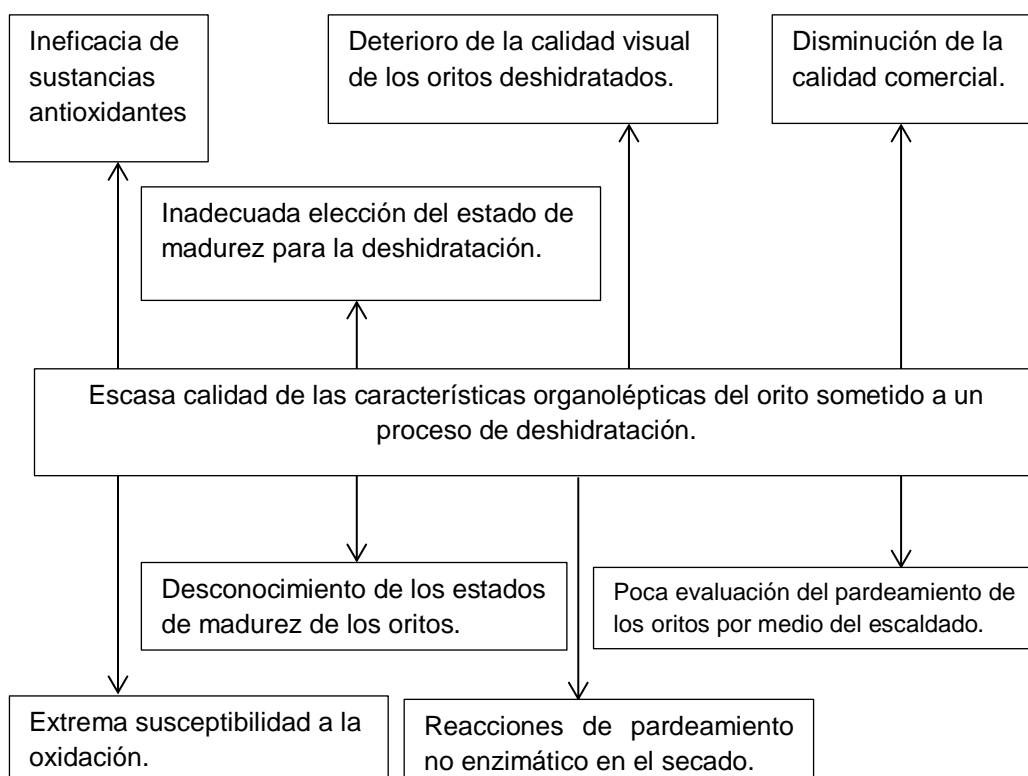
- Pirnazari, K., Esehaghbeygi, A., y Sadeghi, M. (2014). Assessment of Quality Attributes of Banana Dried by Different Drying Methods. *International Journal of Food Engineering*, 251-260.
- Proecuador, (2013). *Análisis del sector del banano*. Recuperado de http://proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/09/PROECAS2013_BANANO.pdf
- Propagación de la luz (Prácticas de Física General). (2014). Córdoba, AR: El Cid Editor apuntes.
- Raikham, S., Prachayawarakorn, A., Nathkaranakule, A. y Sophonronarit, S. (2015). Influences of Pretreatments and Drying Process Including Fluidized Bed Puffing on Quality Attributes and Microstructural changes of Banana Slices. *Drying Technology*. 33, 915-925
- Revista El Agro, (2012). *El banano orito despunta en los mercados*. Recuperado de: <http://www.revistaelagro.com/2014/03/31/el-banano-orito-despunta-en-los-mercados/>
- Robinson, J., y Saúco, V. (2012). *Plátanos y bananas*. España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Rosenthal, A., Torrezan, R., Schmidt, F. L. y Narain, N. (2011). 11 - Preservation and processing of tropical and subtropical fruits A2 - Yahia, Elhadi M. *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Woodhead Publishing Limited.
- Sandoval, S., Rodríguez, J., Méndez, L., y Sánchez, J. (2006). *Rapidez de secado reducida: una aplicación al secado convectivo de plátano Roatán*. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 5, 35–38.
- Shaw, M., Meda, V., Tabil y Opoku, A. (2006) Drying and Color Characteristics of Coriander Foliage Using Convective Thin-Layer and Microwave Drying, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 41:2, 56-65

- Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador INAMHI, (2015).
<http://www.serviciometeorologico.gob.ec/geoinformacion-hidrometeorologica/>
- Sodium erythorbate industry projected to witness swift growth in 2015: Report by radiant insights, inc. (2016, Apr 22). M2 Presswire Recuperado el 4 de Junio de 2016 de <http://search.proquest.com/docview/1783461021?accountid=36862>
- Sommano, S. y Siritana, D. (2011). Correlation between Browning Index and Browning Parameters During the Senescence of Longan Peel. *International Journal of Fruit Science*. 11 (2), 197-205
- Soto, G. (2011). *Participación de los receptores a dopamina en el núcleo accumbens durante la formación y la evocación de la memoria aversiva del sabor*. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Querétaro. México
- Taguchi, A. (2016). Color Systems and Color Image Enhancement Methods. *Transactions on Computer and Information Technology*, 10(2), 97–110.
- Tobin, R., Moane, S. y Larkin, T. (2012). Sensory evaluation of organic and conventional fruits and vegetables available to Irish consumers. *International Journal of Food Science & Technology*.
- Tortajana, I. (2014). *Medida del color*. Universidad Politécnica de Valencia. España
- Valencia, G. (2012). *Desarrollo de una tecnología de orito (Musa acuminata AA) en túnel de secado de adecuadas características sensoriales y nutricionales*. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato.
- Valero, M. A. (2013). *Principios de color y holopintura*. Alicante, ES: ECU.
- Vega, J. (2013). *Carta Psicrométrica*. Recuperado el 13 de Septiembre del 2016 de <http://psicrometria-imi131.blogspot.com/2013/11/carta-psicrometrica.html>
- Vega, L. L. (2014). *Diseño de un plan de negocios para la Comercialización de banano deshidratado como alternativa de desarrollo para la Cooperativa Cobaoro*. (Tesis de Maestría). Universidad Técnica de Machala.

- Vega, A., Uribe, E., Lemus, R., y Miranda M. (2007). Hot air drying characteristics of aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) and influence of temperature on kinetic parameters. *LWT-Food Science and Technology*. 40, 1698-1707.
- Ventura-Aguilar, Rosa, Colinas-León, María Teresa, Martínez-Damián, María Teresa, y Valle-Guadarrama, Salvador. (2011). *Atmósferas modificadas, frigo conservación e inhibidores de oscurecimiento en poscosecha de Pleurotus ostreatus*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(2), 197-206.
- Wiley, J. (2012). *Hanbook of food Process Design*. Ilustrada: Kuwait.

ANEXOS

7.1. ANEXO A: ÁRBOL DE PROBLEMAS



7.2. ANEXO B: CURVAS DE SECADO

Tratamiento 1

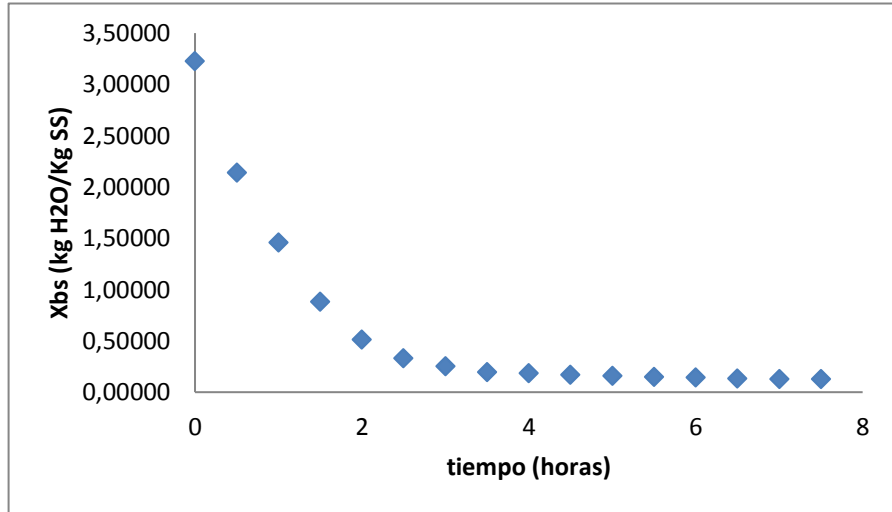


Figura 43. Humedad en base seca (Xbs) vs. tiempo para T1

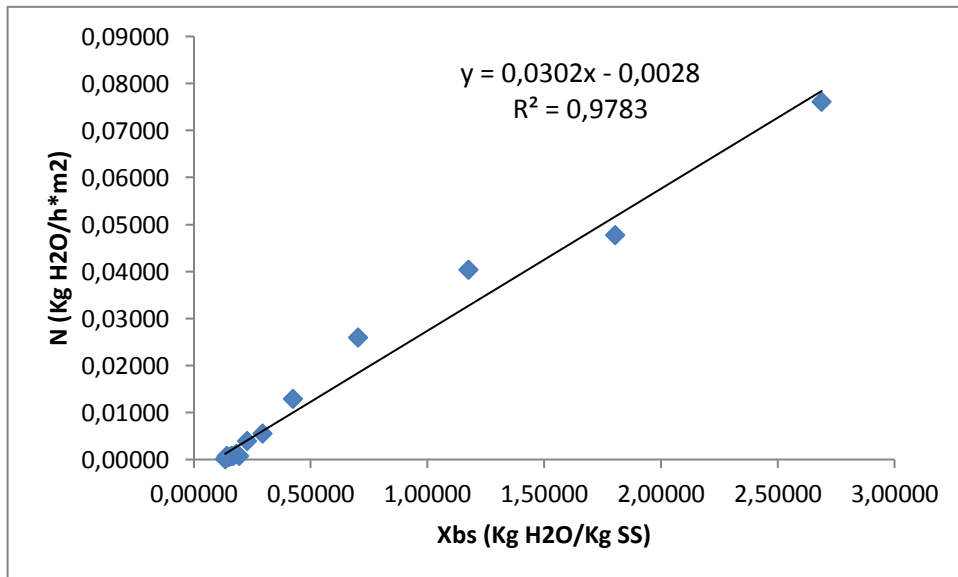


Figura 44. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T1

Tratamiento 2

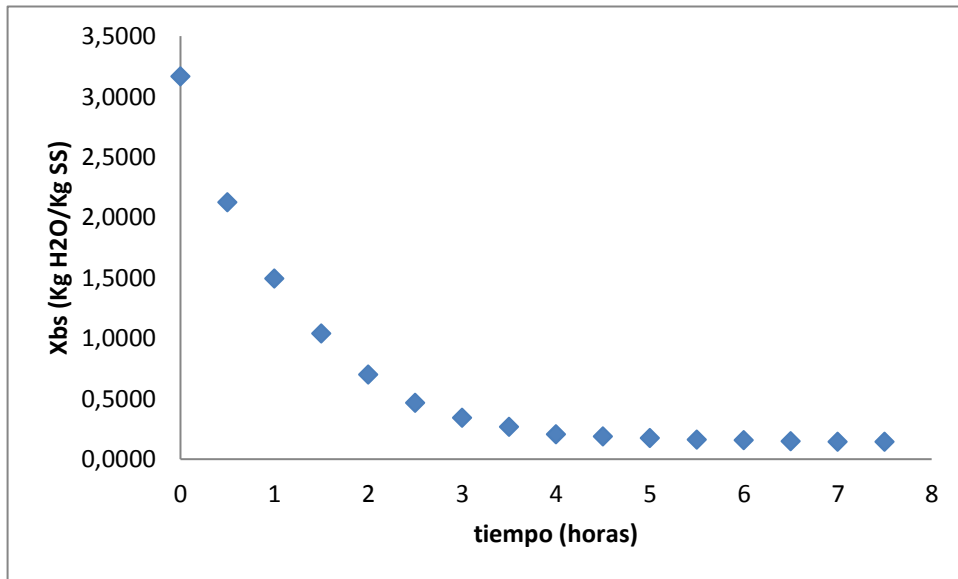


Figura 45. Humedad en base seca vs. tiempo para T2

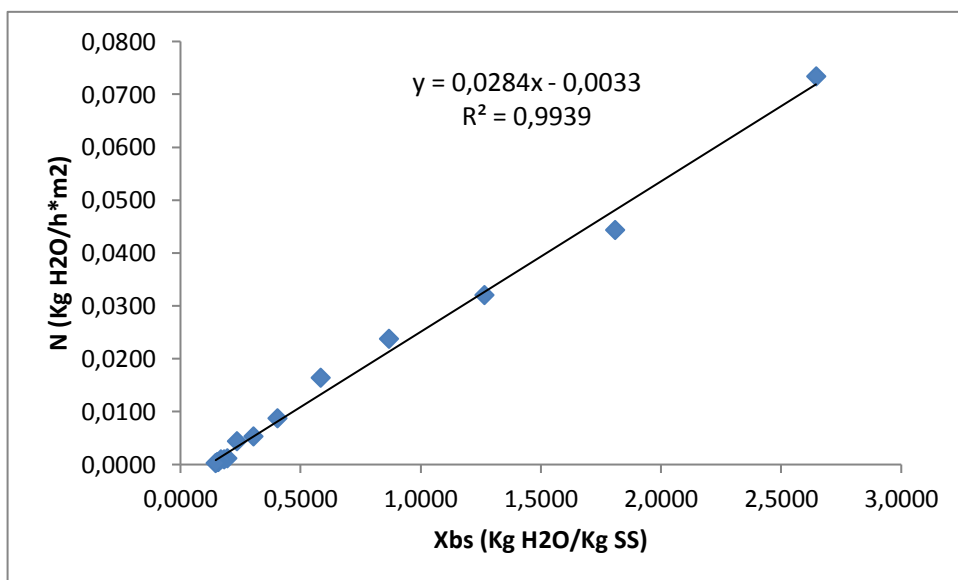


Figura 46. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T2

Tratamiento 3

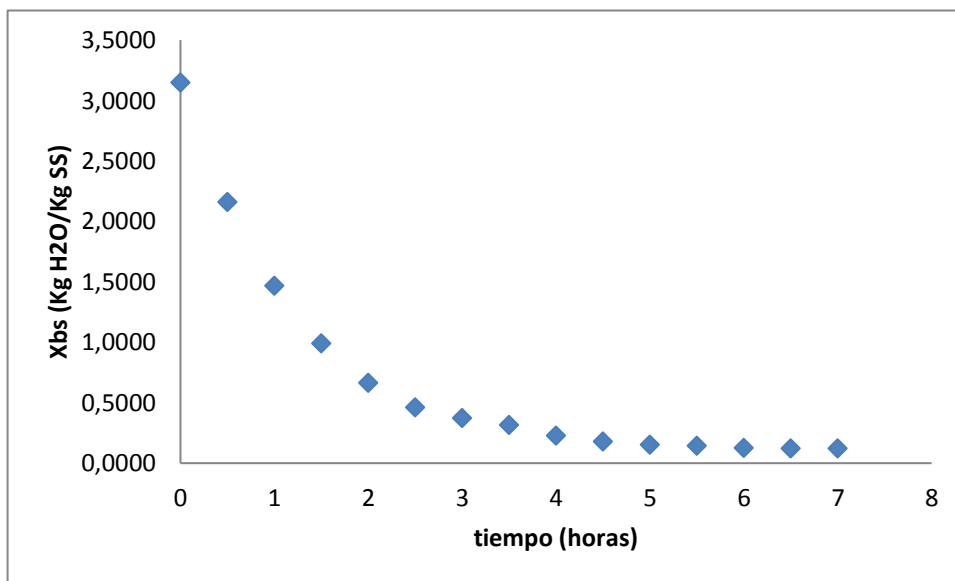


Figura 47. Humedad en base seca (Xbs) vs. tiempo para T3

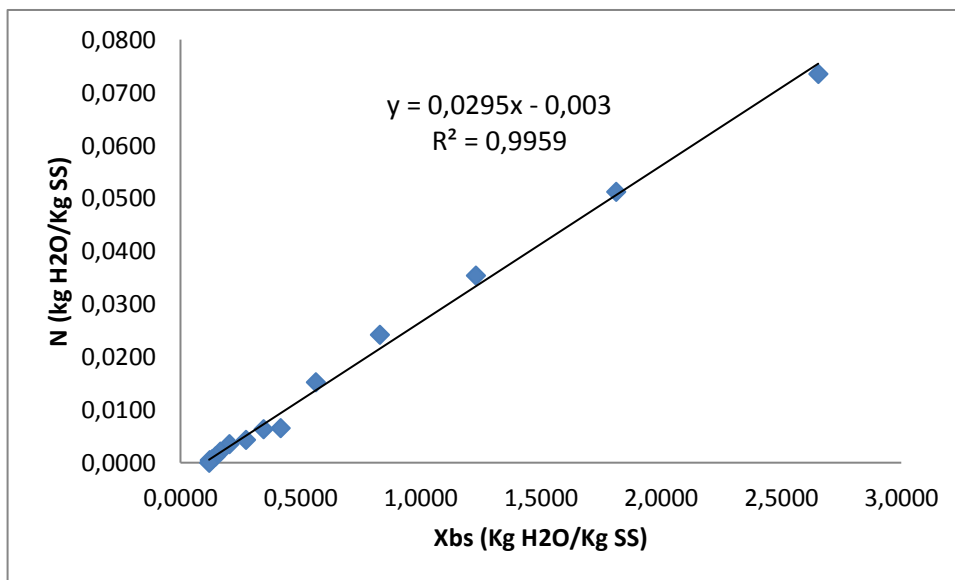


Figura 48. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T3

Tratamiento 4

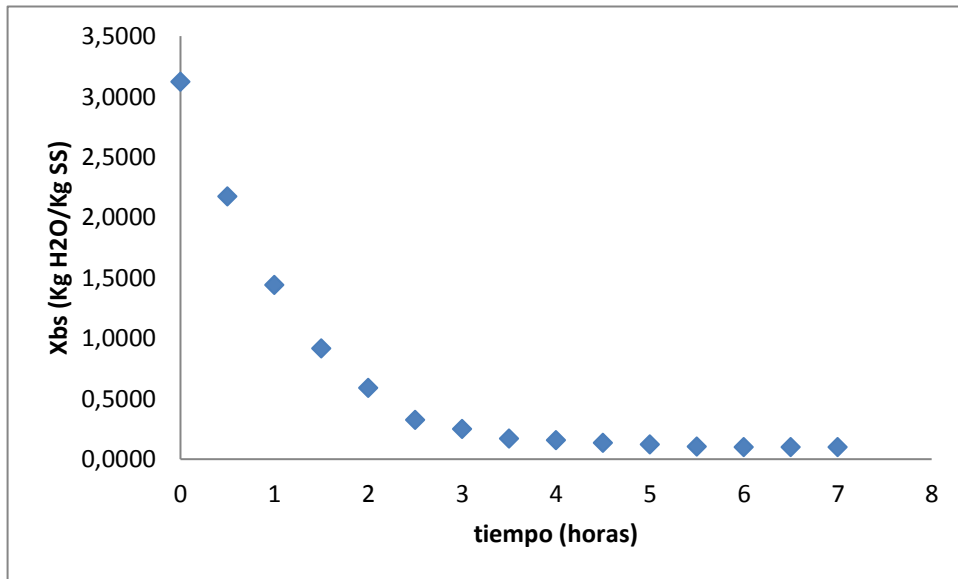


Figura 49. Humedad en base seca vs. tiempo para T4

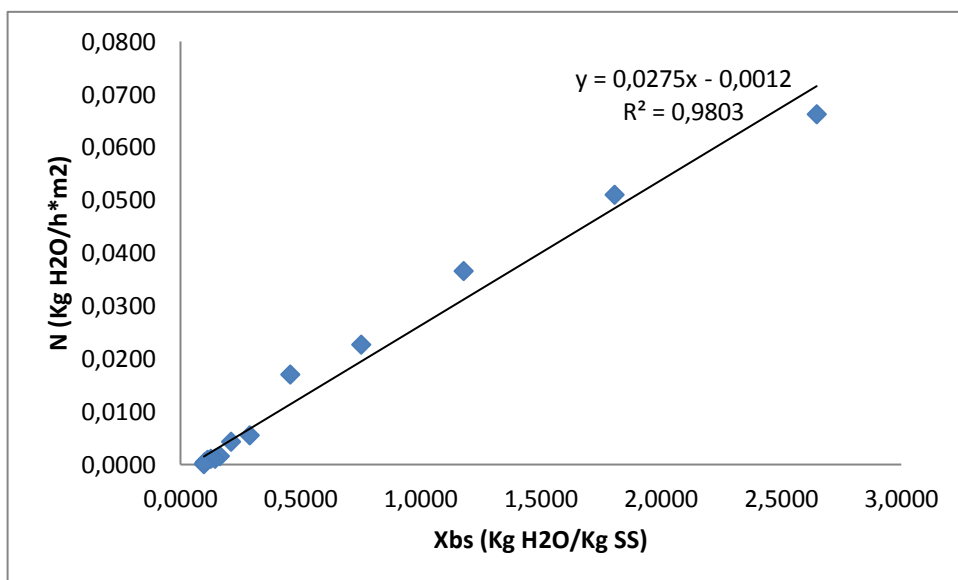


Figura 50. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T4

Tratamiento 7

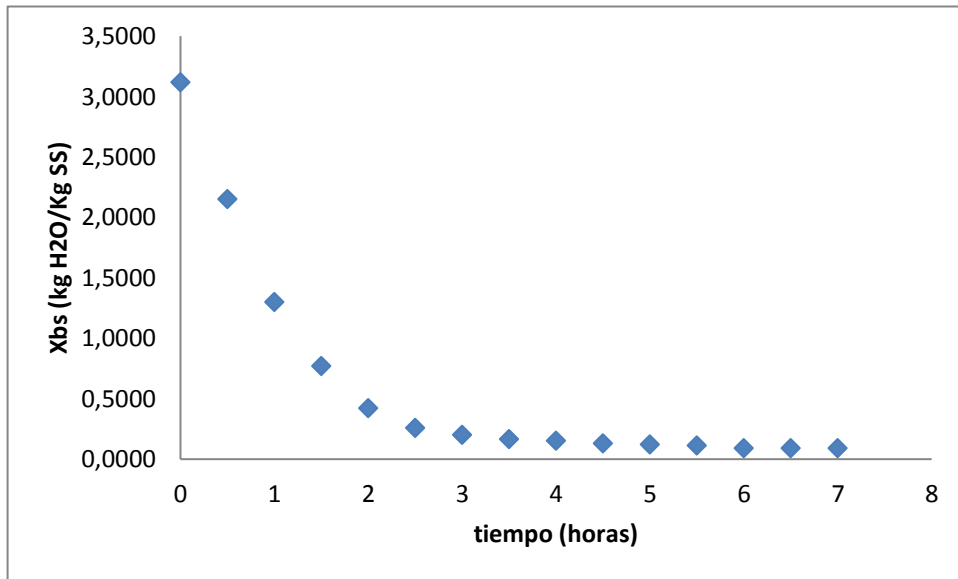


Figura 51. Humedad en base seca vs. tiempo para T7

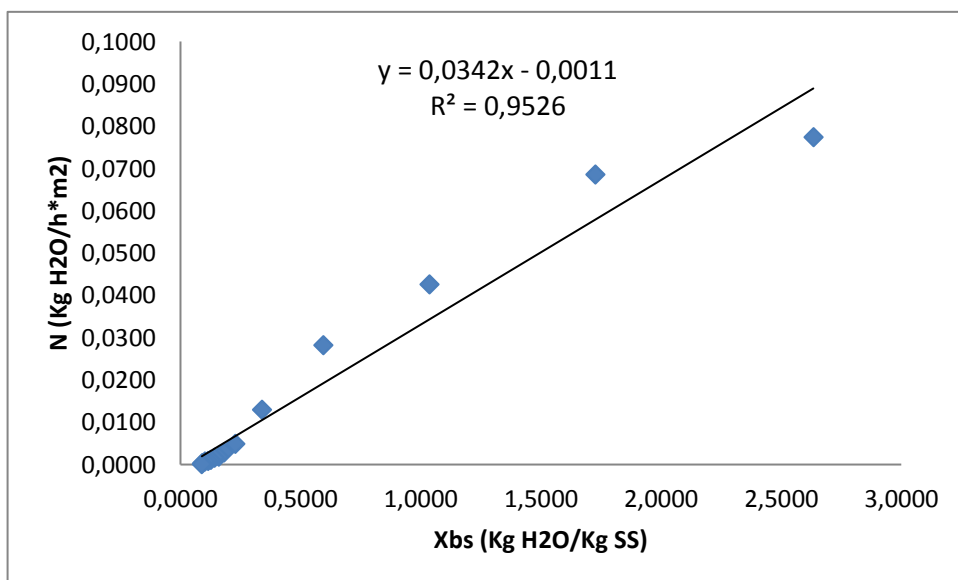


Figura 52. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs)

Tratamiento 8

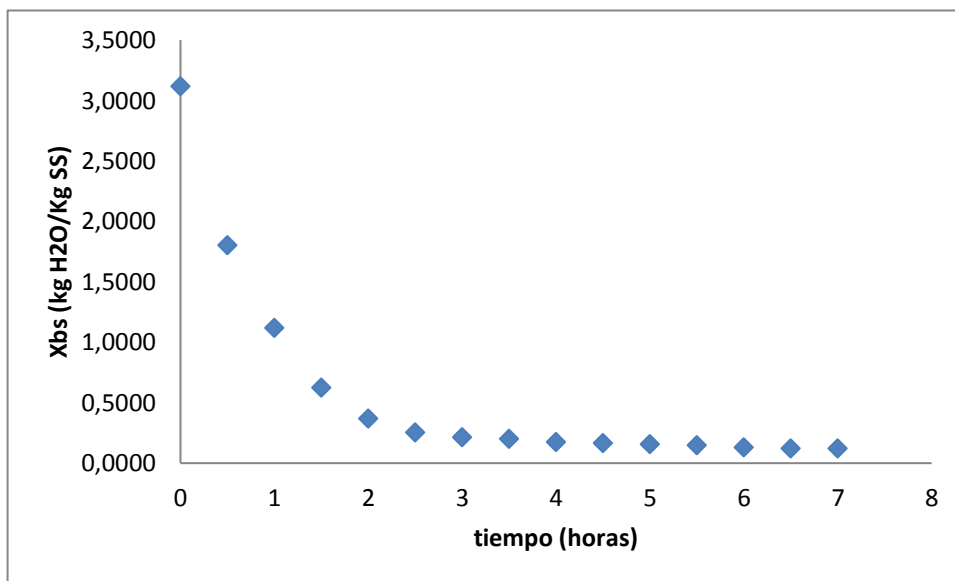


Figura 53. Humedad en base seca (Xbs) vs. tiempo para T8

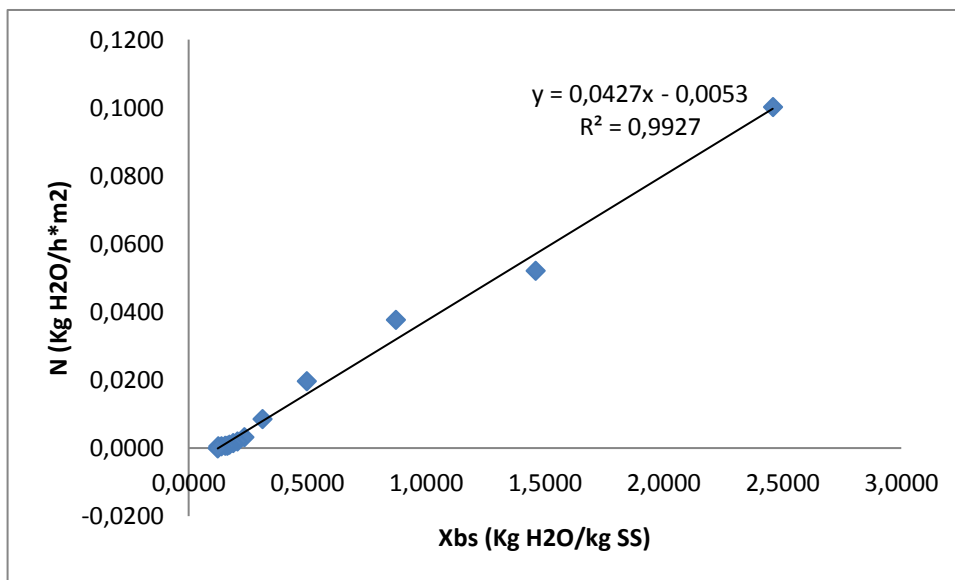


Figura 54. Velocidad de secado (N) vs. humedad en base seca (Xbs) para T8

7.3. ANEXO C: PROPIEDADES PSICROMÉTRICAS

Las propiedades psicrométricas del aire a una altitud de 2250 m.s.n.m. se resumen en la tabla 37.

Tabla 37. Propiedades psicrométricas del aire

Propiedades/Condiciones	Unidades	Aire Ambiente (P.1)	Aire caliente (P.2)	Aire de Salida (P.3)
Temperatura Bulbo Seco	°C	24,00	60,00	52
Humedad Relativa	%	59,20	8,86	15,84
Humedad Absoluta	Kg H ₂ O/kg aire seco	0,01460	0,01460	0,01792
Volumen	m ³ /kg	1,133	1,270	1,246
Entalpia	KJ/kg aire seco	61,31	98,50	98,87
Punto de Rocío	°C	15,58	15,58	18,73
Bulbo Húmedo	°C	18,00	26,28	26,28

Nota. Los datos pertenecen a las condiciones mantenidas en el tratamiento cinco

Cantidad de agua eliminada

$$\text{Cantidad de agua eliminada} = H. \text{ absoluta (P. 3)} - H. \text{ absoluta (P. 2)}$$

$$\text{Cantidad de agua eliminada} = 0,01792 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{Kg aire seco}} - 0,01460 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg aire seco}}$$

$$\text{Cantidad de agua eliminada} = 0,00332 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg aire seco}}$$

Transferencia de calor

$$q = h \times A(T - T_{bh})$$

q: Tasa de transferencia de calor (W)

h: Coeficiente convectivo de transferencia de calor en la superficie (Wm⁻²K⁻¹)

A: Área disponible de secado (m²)

T: Temperatura de bulbo seco del aire de secado (°C)

T_{bh}: Temperatura de bulbo húmedo del aire de secado (°C)

$$h = 0,0204(G)^{0,8}$$

G: Densidad del flujo másico del aire ($\text{kg m}^{-2}\text{h}^{-1}$)

$$G = v * d$$

V: velocidad de aire

D: densidad del aire

Volumen húmedo

$$VH = \left(\frac{1}{28,9} + \frac{0,01460}{18} \right) \frac{0,082 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} (273 + 60) \text{K}}{0,7605 \text{ atm}}$$

$$VH = 1,2716 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Densidad del aire húmedo

$$\rho = \frac{1 + 0,01460}{1,2716}$$

$$\rho = 0,7978 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tasa de transferencia de calor

$$q = 20,749 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} \times 2,869 \text{m}^2 \times (60 - 26,28) \text{°C}$$

$$q = 2007,31 \text{ W}$$

Densidad de flujo másico del aire

$$G = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,7978 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

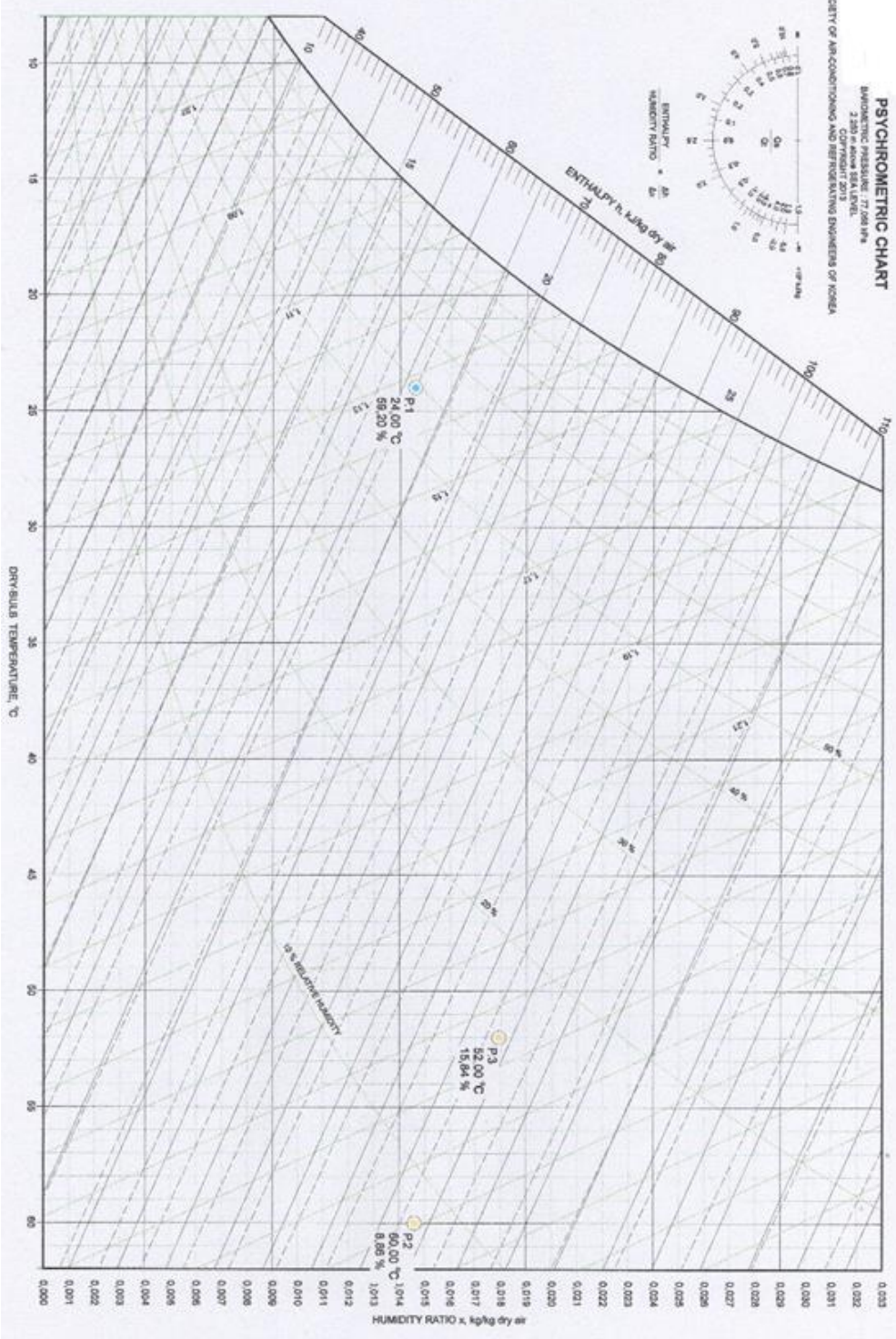
$$G = 1,596 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}} \times \frac{3600\text{s}}{1\text{h}}$$

$$G = 5744,16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}}$$

Coefficiente convectivo

$$h = 0,0204(5744,16)^{0,8}$$

$$h = 20,749 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$



La unidad experimental tuvo una masa de 0,4 Kg que luego de la inmersión en la solución de eritorbato de sodio se convirtieron en 0,435 Kg en promedio. Esta muestra alcanzó una humedad de 75,7%.

CÁLCULOS:

$$GH_2O = G_i * (\%X_{bh})$$
$$GH_2O = 0,329 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

$$S = G_i - GH_2O$$
$$S = 0,106 \text{ KgSS}$$

$$X_{bs} = (G_i - S) / S$$
$$X_{bs} = 3,102 \text{ kgH}_2\text{O/KgSS}$$

$$A = 2\pi r h + 2\pi r^2$$
$$A = 0,0201$$
$$A_{total} = A * \text{número de rebandas}$$
$$A_{total} = 2,869 \text{ m}^2$$

Donde:

- GH₂O = Masa del agua
- G_i = Masa inicial de las rebanadas
- X_{bh} = Porcentaje de humedad
- SS = Masa del sólido seco
- X_{bs} = Humedad en base seca
- A = Área de una rebanada de orito
- A_{total} = Área total de la unidad experimental
- h = Grosor de la rebanada de orito (0,003 m)
- r = Radio promedio de las rebanadas (0,0139 m)

7.4. ANEXO D: FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
FICAYA	
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL	
EVALUACIÓN SENSORIAL	
“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL MÉTODO QUÍMICO (ERITORBATO DE SODIO), FÍSICO (ESCALDADO) Y EL PROCESO DE SECADO SOBRE EL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO Y NO ENZIMÁTICO DE ORITOS <i>Musa acuminata</i> AA REBANADOS”	
La evaluación sensorial es el examen que se efectúa a través de los sentidos de las propiedades organolépticas de un producto.	
INSTRUCCIONES	
Sírvese evaluar cada muestra detenidamente, marque con una X el casillero que mejor describa su percepción sensorial, basándose en la siguiente información.	
Color.- Las rebanadas deshidratadas deben tener un color atractivo entre colores crema, amarillo y café claro.	
Olor.- Debe ser característico del banano orito.	
Sabor.- Debe ser característico de la variedad del banano orito, considerando: sabor fuerte, sabor natural.	
Textura.- Debe ser una textura correosa y flexible.	

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

FECHA:.....

Nº DE CATADOR:.....

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
COLOR	Gusta mucho								
	Gusta moderadamente								
	Es indiferente								
	Disgusta moderadamente								
OLOR	Disgusta mucho								
	Gusta mucho								
	Gusta moderadamente								
	Es indiferente								
SABOR	Disgusta moderadamente								
	Disgusta mucho								
	Es indiferente								
	Gusta moderadamente								
TEXTURA	Gusta mucho								
	Disgusta moderadamente								
	Disgusta mucho								
	Es indiferente								
ACEPTABILIDAD	Gusta moderadamente								
	Gusta mucho								
	Disgusta moderadamente								
	Disgusta mucho								

OBSERVACIONES:

.....

.....

.....

7.5. ANEXO E: FICHA TÉCNICA

 Insumos y tecnología para la industria alimentaria	FICHA TECNICA ERITORBATO DE SODIO	CI – 260 / 012
		Versión 002
		Página 1 de 4
		Fecha de Emisión: 07-03-14

Descripción

El eritorbato de sodio es un nuevo tipo de los antioxidantes, que actúa como conservante mediante la inhibición de los efectos del oxígeno en los alimentos, y puede ser beneficioso para la salud. Se ha confirmado como un aditivo alimentario legal por la FAO y la OMS. Tomando almidón como su ingrediente principal, que es producido por la fermentación de microorganismos. El Eritorbato de sodio puede mantener los alimentos de color y sabor natural, y prolongar el tiempo útil, sin ningún tipo de efectos secundarios.

Áreas de aplicación

El eritorbato de sodio se utiliza principalmente en la industria alimentaria. Se puede utilizar como antioxidante de alimentos en los alimentos de carne, pescado, cerveza, zumo de fruta, jarabe de cristal, de frutas y verduras de estaño, torta, productos lácteos, confitura, cereza, encurtidos, grasa, etc.

Dosis

- La dosis a los alimentos de carne es 0,5 a 1,0 g / kg.
- Para el pescado congelado, los peces deben ser infundidos en el 0,1% - 0,8% solución de agua antes de la congelación.
- La dosis en las bebidas como el jarabe es de 0,01% - 0,03%.
- Manzana y estaño bechamel: 0,15 g / kg (dosis de una sola o junto con el CV).
- Carne de almuerzo, el polvo de la carne cocinada, cocinado de cerdo pata delantera, jamón cocido, la dosis es de 0,5 g / kg (dosis de solo o junto con el VC y otra sal de sodio, contado el VC).
- Para la mermelada de manzana y melocotón: 2g/kg.
- Para el estaño de fruta, es 0,75 a 1,5 g / l.
- Para el jarabe natural, es 0,08 a 0,11 g / l.
- Para la cerveza, es 0,03 g / l (FAO / OMS (1977)).

Composición

Sal del sodio obtenida a partir del ácido eritorbico, producido a partir de azúcares de diversas fuentes.

Especificaciones Sensoriales

Color: blanco
Olor: Neutro
Sabor: Neutro
Forma: cristalino o gránulos finos
Material extraño: Ausente

Especificaciones fisico-químicas

Identificación: A a B
Finura (malla 100): 99.5% mín.
Blancura: 90.0%
Spot: 1 pcs/cm² máx.
Humedad: 14.0% máximo.
Ceniza: 0.15% máx.
Valor de pH: 5.4 - 6.4
Dióxido de azufre (SO₂): 0.003 máx.
Proteínas: 0.35% máx.
Sustancias comburentes: ajusta

GLOSARIO

a*: Expresa cromaticidad en rojo +a o en verde -a.

Ángulo de tono Hue: Corresponde al color en sí, caracterizado por su longitud de onda.

b*: Expresa cromaticidad en amarillo +b o en azul -b.

Diferencia de color total: Compara el color de una muestra con un estándar y expresa esa diferencia en coordenadas absolutas del color.

Luminosidad (L*): Permite clasificar a los colores entre claros y oscuros.