



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**ANÁLISIS DE LA CINÉTICA DEL SECADO DE CACAO
NACIONAL ECUATORIANO Y MEJORADO CCN-51.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTROMECÁNICO**

AUTORES:

Jorge Ivan Armijo Martinez
Daniel Andres Navarrete Proaño

TUTOR:

PhD. Ing. Torres Tamayo Enrique

LATACUNGA, AGOSTO 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **ARMIJO MARTINEZ JORGE IVAN** y **NAVARRETE PROAÑO DANIEL ANDRES** declaro ser autor (a) del presente proyecto de investigación: “**ANALISIS DE CINETICA DE SECADO DE CACAO NACIONAL ECUATORIANO Y CCN-51**”, siendo él PhD. ING ENRIQUE TORRES TAMAYO tutor (a) del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



ARMIJO MARTINEZ JORGE IVAN
C.C.:1727363614



NAVARRETE PROAÑO DANIEL ANDRES
C.C.: 1718649070

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“ANÁLISIS DE CINÉTICA DE SECADO DE CACAO NACIONAL ECUATORIANO Y CCN-51”, de ARMIJO MARTINEZ JORGE IVAN y NAVARRETE PROAÑO DANIEL ANDRES, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 19 de Agosto del 2024

El Tutor

Firma: 

Nombre: Ph.D. ING Enrique Torres Tamayo

C.C.. 175712194-0

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, el o los postulantes: **ARMIJO MARTINEZ JORGE IVAN** y **NAVARRETE PROAÑO DANIEL ANDRES**, con el título de Proyecto de titulación: **“ANÁLISIS DE CINÉTICA DE SECADO DE CACAO NACIONAL ECUATORIANO Y CCN-51”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar el CD correspondiente, según la normativa institucional.

Latacunga, 19 Agosto del 2024

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Nombre: M.Sc. ING. MAURO DARÍO ALBARRACÍN ÁLVAREZ
CC: 050311373-0

Lector 2

Nombre: M.Sc. ING. CRISTIAN FABIÁN GALLARDO MOLINA
CC: 050284769-2

Lector 3

Nombre: M.Sc. ING. CARLOS FRANCISCO PACHECO MENA
CC: 050307290-2

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme la oportunidad de formarme académicamente en sus aulas. Su dedicación al conocimiento y su compromiso con la excelencia educativa han sido fundamentales en mi crecimiento profesional y personal.

Agradezco también a todos los docentes que, con su paciencia, sabiduría y apoyo constante, me han guiado en este camino. Sus enseñanzas no solo me han dotado de conocimientos técnicos, sino que también me han inculcado valores y principios que llevaré conmigo toda la vida.

Al PhD. Enrique Torres Tamayo, quien, en calidad de tutor del presente proyecto, brindó un apoyo incondicional. Su invaluable conocimiento técnico y su generosidad al compartirlo fueron cruciales para el desarrollo y la culminación de esta investigación. Agradezco profundamente su interés genuino y su disposición siempre oportuna para guiarme en este proceso. Sin su compromiso y dedicación, este proyecto no habría sido posible.

Daniel Andres Navarrete Proaño

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme un espacio de crecimiento académico y profesional, y a sus docentes por su dedicación y sabiduría. Su guía ha sido fundamental para alcanzar mis metas y continuar mi camino con confianza y conocimiento.

Jorge Ivan Armijo Martinez

DEDICATORIA

A mi madre, Que desde mis primeros pasos hasta los momentos más difíciles, siempre has estado ahí, brindándome tu apoyo inquebrantable. Tus palabras de aliento y tus sacrificios diarios me han enseñado el verdadero significado del amor y la dedicación. Todo lo que soy y todo lo que he alcanzado te lo debo a ti, madre querida.

A mi novia, mi compañera y mi confidente. Tu amor y tu comprensión han sido una fuente constante de fortaleza y alegría. En cada desafío y en cada logro, tu presencia a mi lado ha hecho que cada momento sea más significativo. Gracias por ser mi apoyo incondicional, por tus palabras de ánimo y por tu paciencia infinita.

A mis hijos, mis tesoros más preciados. Ustedes son mi razón de ser y mi mayor motivación. Cada esfuerzo y cada sacrificio tienen como objetivo brindarles un futuro lleno de oportunidades y felicidad.

A mis familiares que ya no están en este mundo, pero cuya presencia siento cada día en mi corazón. A ustedes, les dedico este logro con la esperanza de que se sientan orgullosos de mí. Su legado vive en mí, y cada uno de mis éxitos es un homenaje a sus vidas y a todo lo que me han enseñado.

Daniel Andres Navarrete Proaño

DEDICATORIA

Con profunda gratitud, dedico este logro a mis padres y abuelos, pilares de mi vida, por su amor incondicional, apoyo constante y valores que me han guiado siempre. A mis familiares, por su compañía y aliento en cada paso de este camino, gracias por ser mi fuerza y mi inspiración.

Jorge Ivan Armijo Martinez

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “ANÁLISIS DE LA CINÉTICA DEL SECADO DE CACAO NACIONAL ECUATORIANO Y MEJORADO CCN-51.”

Autores: Armijo Martinez Jorge Ivan

Navarrete Proaño Daniel Andres

RESUMEN

El proyecto "Análisis de cinética de secado de cacao nacional ecuatoriano y CCN-51" estudia el proceso de secado, una fase clave en la producción de cacao. Este análisis incluyó el secado de muestras de dos variedades, cacao nacional y CCN-51, utilizando distintos modelos matemáticos para optimizar el tiempo del secado. Se realizaron varias pruebas experimentales controladas para determinar la mejor temperatura de secado. Se identificó que la temperatura óptima de secado para ambas variedades es de 50°C. En esta temperatura, el modelo de Page mostró ser el más confiable, con un menor margen de error en comparación con el modelo de Newton. El análisis reveló que el CCN-51, debido a su estructura menos densa, se seca más rápido que el cacao nacional, lo que puede ser ventajoso en términos de eficiencia industrial. Se realizaron pruebas que indicaron que la humedad ideal para el consumo se logró en un tiempo promedio de 520 minutos para alcanzar un contenido de humedad final de 4.3%. Se realizaron múltiples pruebas a diferentes temperaturas para cada variedad. Los datos experimentales indican que se utilizó un peso promedio inicial de aproximadamente 50 gramos por muestra de cacao.

Palabras clave: Secado de cacao, Cinética de secado, Fermentación, Modelos matemáticos, Optimización de procesos.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “ANALYSIS OF THE DRYING KINETICS OF ECUADORIAN NATIONAL AND IMPROVED CCN-51 COCOA”.

Authors: Armijo Martinez Jorge Ivan
Navarrete Proaño Daniel Andres

ABSTRACT

The project “Analysis of drying kinetics of Ecuadorian national cocoa and CCN-51” studies the drying process, a key phase in cocoa production. This analysis included the drying of samples of two varieties, national cocoa and CCN-51, using different mathematical models to optimize the drying time. Several controlled experimental trials were conducted to determine the best drying temperature. It was identified that the optimum drying temperature for both varieties is 50°C. At this temperature, Page's model was shown to be the most reliable, with a smaller margin of error compared to Newton's model. The analysis revealed that CCN-51, due to its less dense structure, dries faster than domestic cocoa, which may be advantageous in terms of industrial efficiency. Tests were conducted which indicated that ideal moisture for consumption was achieved in an average time of 520 minutes to reach a final moisture content of 4.3%. Multiple tests were conducted at different temperatures for each variety. Experimental data indicate that an average initial weight of approximately 50 grams per cocoa sample was used.

Keywords: Cocoa drying, Drying kinetics, Fermentation, Mathematical models, Process optimization.

ÍNDICE GENERAL

1.	INFORMACIÓN GENERAL	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.1.	EL PROBLEMA.....	2
2.1.1.	Situación Problémica.....	2
2.1.2.	Formulación del problema.....	3
2.2.	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	3
2.2.1.	Objeto de Investigación.....	3
2.2.2.	Campo de Acción	3
2.3.	BENEFICIARIOS	4
2.3.1.	BENEFICIARIOS DIRECTOS.....	4
2.3.2.	BENEFICIARIOS INDIRECTOS	5
2.4.	JUSTIFICACIÓN.....	5
2.5.	OBJETIVOS.....	5
2.5.1.	General.....	5
2.5.2.	Específicos.....	5
3.	HIPÓTESIS Y SISTEMA DE TAREAS	6
3.1.	HIPÓTESIS	6
3.2.	SISTEMA DE TAREAS	6
4.	MARCO TEÓRICO	8
4.1.	ANTECEDENTES	8
4.2.	Tipos de Cacao	10
4.2.1.	Variedades Principales de Cacao.....	10
4.2.2.	Variedades Especiales	11
4.3.	Tipos de cacao de estudio.....	12
4.3.1.	Cacao Nacional.....	12
4.3.2.	Cacao Mejorado CCN – 51	13
4.4.	Marco referencial.....	14

4.4.1. Proceso del cacao.....	14
4.4.2. Métodos de Fermentación	15
4.4.3. Secado del Cacao.....	18
4.4.4. Tostado del Cacao	22
4.4.5. Triturado y Alcalización del Cacao	22
4.4.6. Prensado y Molienda del Cacao	23
4.4.7. Mezcla y conchado del Cacao	23
4.4.8. Templado y Moldeado del Cacao.....	24
4.4.9. Cinética del secado	24
5. METODOLOGÍA.....	25
5.1. Materiales y Métodos	25
5.1.1. Analizador de Humedad de 40°C a 180°C.....	25
5.1.2. Medidor de Humedad	26
5.1.3. Modelos Matemáticos.....	27
5.2. Memoria de cálculo	29
5.2.1. Características del secado de cacao	29
5.3. Condiciones para realizar las pruebas experimentales	29
5.4. Propiedades del grano de cacao.....	29
5.5. Cálculo del Porcentaje de humedad.....	30
5.6. Cálculo del modelo experimental.....	30
5.7. Modelo de ajuste de humedad	30
5.8. Cálculo del error	31
5.9. Suma de los cuadrados del error.....	31
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	31
6.1. Resultados de secado de Cacao Nacional.....	32
6.1.1. Evaluación de los modelos de secado.....	40
6.1.2. Mejor temperatura para el secado.....	41
6.1.3. Margen de Error.....	41
6.2. Resultados de secado de Cacao Mejorado CCN-51	42

6.2.1.	Evaluación de los modelos de secado.....	50
6.2.2.	Mejor temperatura para el secado.....	50
6.2.3.	Análisis del margen de error.....	50
6.3.	Costos de implementación de la cinética del cacao.....	51
6.3.1.	Presupuestos	51
6.3.2.	Costo total.....	52
7.	CONCLUSIONES y RECOMENTACIONES	52
7.1.	CONCLUSIONES.....	52
7.2.	RECOMENDACIONES	53
8.	REFERENCIAS	54
9.	ANEXO 1. INFORME ANTIPLAGIO PROYECTO DE TITULACIÓN	60
9.1.	ANEXO 2 PRIMERA HOJA DE INFORME.....	61
9.2.	ANEXO 3 AVAL DE TRADUCCIÓN.....	62
9.3.	ANEXO 4 TABLA DE DATOS DE CACAO NACIONAL	63
9.4.	ANEXO 4 TABLA DE DATOS DE CACAO CCN-51	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO	1
Tabla 2.	Sistema de Tareas del Plan de Titulación.....	6
Tabla 3.	Medidor de tipos de granos[49].....	27
Tabla 4.	Modelo matemático que se utilizó para el ajuste de cinética del secado[51].....	28
Tabla 5.	Parámetros para evaluar al realizar las pruebas.....	29
Tabla 6.	Modelo de Page y Newton cacao nacional.....	32
Tabla 7.	Modelo de Page y Newton cacao CCN-51	42
Tabla 8.	Costos total de la cinética de cacao	52
Tabla 9.	Datos de secado de cacao nacional a 40°C.....	63
Tabla 10.	Datos del secado de cacao nacional a 45°C.....	64
Tabla 11.	Datos del secado de cacao nacional a 50°C.....	66
Tabla 12.	Datos del secado de cacao nacional a 55°C.....	67

Tabla 13. Datos del secado de cacao nacional a 60°C.....	68
Tabla 14. Datos del secado de cacao nacional a 65°C.....	69
Tabla 15. Datos del secado de cacao nacional a 70°C.....	70
Tabla 16. Datos del secado de cacao CCN-51 a 40°C	71
Tabla 17. Datos del secado de cacao CCN-51 a 45°C	72
Tabla 18. Datos del secado de cacao CCN-51 a 50°C	74
Tabla 19. Datos del secado de cacao CCN-51 a 55°C	75
Tabla 20. Datos del secado de cacao CCN-51 a 60°C	76
Tabla 21. Datos del secado de cacao CCN-51 a 65°C	77
Tabla 22. Datos del secado de cacao CCN-51 a 70°C	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación del Proyecto[4].....	9
Figura 2. Cosecha del Cacao [19].....	14
Figura 3. Mazorca de Cacao [20].	14
Figura 4. Proceso de Fermentación del Cacao [22].....	15
Figura 5. Fermentación en Montones [24].	16
Figura 6. Fermentación en Cajas de Madera [25].	16
Figura 7. Fermentación en Canastas o Bandejas [27].	17
Figura 8. Fermentación en Barriles o Toneles [28].....	17
Figura 9. Fermentación Microbiana [29].....	18
Figura 10. Secado del Cacao [30].....	18
Figura 11. Secado del Cacao al Sol [32].	19
Figura 12. Secado del Cacao Solar Mejorado [34].....	20
Figura 13. Secado del Cacao en Bandejas o Mesas [35].....	20
Figura 14. Secado del Cacao Mecánico [36].....	21
Figura 15. Secado del Cacao por Aire Forzado [37].....	21
Figura 16. Secado del Cacao Combinado [38].....	22
Figura 17. Tostado del Cacao [40].	22
Figura 18. Triturado y Alcalización del Cacao [42].....	23
Figura 19. Prensado y Molienda del Cacao [43].	23
Figura 20. Mezcla y conchado del Cacao [44].	24
Figura 21. Templado y Moldeado del Cacao [45].....	24

Figura 22. Analizador de Humedad [48].	26
Figura 23. Medidor de Humedad[50].	27
Figura 24. Ajuste del Modelo de Page a 40°C	33
Figura 25. Ajuste con el modelo de Newton a 40°C	34
Figura 26. Ajuste con el modelo de Page a 45°C	34
Figura 27. Ajuste con el modelo de Newton a 45°C	35
Figura 28. Ajuste con el modelo de Page a 50°C	35
Figura 29. Ajuste con el modelo de Newton a 50°C	36
Figura 30. Ajuste con el modelo de Page a 55°C	36
Figura 31. Ajuste con el modelo de Newton a 55°C	37
Figura 32. Ajuste con el modelo de Page a 60°C	37
Figura 33. Ajuste con el modelo de Newton a 60°C	38
Figura 34. Ajuste con el modelo de Page a 65°C	38
Figura 35. Ajuste con el modelo de Newton a 65°C	39
Figura 36. Ajuste con el modelo de Page a 70°C	39
Figura 37. Ajuste con el modelo de Newton a 70°C	40
Figura 38. Ajuste con el modelo Page a 40°C	43
Figura 39. Ajuste con el modelo de Newton a 40°C	43
Figura 40. Ajuste con el modelo de Page a 45°C	44
Figura 41. Ajuste con el modelo de Newton a 45°C	44
Figura 42. Ajuste con el modelo de Page a 50°C	45
Figura 43. Ajuste con el modelo de Newton a 50°C	45
Figura 44. Ajuste con el modelo de Page a 55°C	46
Figura 45. Ajuste con el modelo de Newton a 55°C	46
Figura 46. Ajuste con el modelo de Page a 60°C	47
Figura 47. Ajuste con el modelo de Newton	47
Figura 48. Ajuste con el modelo de Page a 65°C	48
Figura 49. Ajuste con el modelo de Newton a 65°C	48
Figura 50. Ajuste con el modelo de Page a 70°C	49
Figura 51. Ajuste con el modelo de Newton a 70°C	49

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: “ANÁLISIS DE LA CINÉTICA DEL SECADO DE CACAO NACIONAL ECUATORIANO Y MEJORADO CCN-51.”

Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas	<input type="checkbox"/>
Proyectos de Investigación	<input checked="" type="checkbox"/>

Carrera: Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado al Proyecto: No aplica

Equipo de Trabajo: PhD Ing. Torres Tamayo Enrique, Armijo Martinez Jorge Ivan y Navarrete Proaño Daniel Andrés.

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería; Industrial y construcción/ 071 Ingeniería y profesiones Afines / 0713 Electricidad y energía.

Tabla 1. Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO

07 Ingeniería	061 Industrial y	71 Ingeniería y profesiones Afines
	Construcción	0713 Electricidad y energía.

Línea de investigación: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Energética en sistemas electromecánico y uso de fuentes renovables de energía.

2.INTRODUCCIÓN

El cacao es uno de los principales productos de exportación de Ecuador, reconocido mundialmente por sus dos variedades: el nacional ecuatoriano y CCN-51. Esta última variedad, cuyo nombre proviene de la colección Castro Naranjal y su clasificación como variedad 51, se obtiene mediante la injertación de semillas. Ambos tipos de cacao no solo tienen un impacto significativo en la economía, sino que también son la principal fuente de ingresos para los exportadores de cacao tanto a nivel nacional como internacional.

La fermentación del cacao es un proceso crucial en el cual los azúcares y almidones se transforman en ácidos o alcoholes, etapa esencial en la producción de alimentos y bebidas como el café, el alcohol y, por supuesto, el cacao. Sin esta fermentación, las propiedades aromáticas y de sabor del cacao serían deficientes, inutilizables para la fabricación de chocolate.

El secado del cacao se realiza en cajas, camas, tarimas o patios. Según la Organización Internacional del Cacao (ICCO), esta fase comienza una vez terminada la fermentación, momento en que el porcentaje de humedad del cacao se sitúa entre el 40% y el 60%. Para cumplir con los requisitos establecidos por la norma NTE INEN 176, que regula el cacao destinado al procesamiento de alimentos derivados como chocolates, así como productos cosméticos y farmacéuticos, la humedad debe reducirse hasta un 7%.

2.1. EL PROBLEMA

2.1.1. Situación Problémica

A nivel mundial, se cultivan dos variedades fundamentales de cacao: el nacional y el mejorado CCN-51. Uno de los desafíos más importantes es lograr el nivel óptimo de secado para cada variedad, ya que la velocidad y la temperatura de este proceso son cruciales para mantener activas las reacciones de oxidación de alcoholes y otros compuestos esenciales.

En América Latina, los productores de cacao han comenzado a implementar secadores artesanales para abordar los problemas que enfrentan en el mercado del cacao. Sin embargo, estos secadores pueden ser costosos y presentan el desafío adicional de no proporcionar información precisa sobre el tiempo de secado necesario según la temperatura utilizada. Esta

falta de precisión puede afectar significativamente sus finanzas, incrementando los costos de producción y reduciendo la eficiencia del secado.

En Ecuador, se cultivan dos variedades fundamentales de cacao: nacional y CCN-51. Uno de los desafíos más importantes es lograr el nivel óptimo de secado para cada variedad, ya que la velocidad y la temperatura de este proceso son cruciales para mantener activas las reacciones de oxidación de alcoholes y otros compuestos esenciales. Los productores de cacao, en su búsqueda de soluciones, han comenzado a implementar secadores artesanales para resolver los problemas que enfrentan en el mercado del cacao. Sin embargo, estos secadores pueden ser costosos y, además, presentan el desafío adicional de no proporcionar información precisa sobre el tiempo de secado necesario según la temperatura utilizada. Esta falta de precisión puede afectar significativamente sus finanzas, incrementando los costos de producción y reduciendo la eficiencia del secado.

2.1.2. Formulación del problema

La falta de precisión en el proceso de secado del cacao nacional y CCN-51 limita la capacidad de analizar los modelos de comportamiento del contenido de humedad en relación con el tiempo y la temperatura. Esta imprecisión dificulta el control de los efectos que estas variables tienen sobre los granos de cacao.

2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1. Objeto de Investigación

El proceso de secado de cacao nacional y CCN-51 considerando las condiciones meteorológicas y ambientales del lugar.

2.2.2. Campo de Acción

Análisis de la cinética de secado del cacao nacional y CCN-51 que establece los modelos de comportamiento del contenido de humedad en función de la temperatura y el tiempo.

2.3. BENEFICIARIOS

Se espera que los principales beneficiarios de este estudio sean los agricultores del sector cacaotero que cultivan las variedades de cacao nacional ecuatoriano y CCN-51, quienes enfrentan dificultades para secar el cacao de manera eficiente. La cinética de secado proporciona un rango óptimo de calor y tiempo para el secado de los granos, lo cual ayudará a reducir el tiempo de secado mientras se mantiene el grano, similar a los resultados obtenidos con el secado artesanal.

2.3.1. BENEFICIARIOS DIRECTOS

2.3.1.1. AGRICULTORES DEL SECTOR CACAOTERO

- Variedades de Cacao nacional ecuatoriano y CCN-51.
- Obtendrán un método optimizado de secado, reduciendo el tiempo necesario para este proceso.
- Mejorarán la calidad de los granos de cacao, manteniendo los estándares alcanzados con el secado artesanal.
- Aumentarán su productividad y, por ende, sus ingresos económicos.
- Disminuirán las pérdidas por deterioro del cacao durante el secado.

2.3.1.2. COOPERATIVAS Y ASOCIACIONES DE CACAOTEROS

- Implementarán métodos estandarizados y eficientes de secado, beneficiando a todos sus miembros.
- Podrán ofrecer capacitaciones y asistencia técnica basadas en los hallazgos del estudio.

2.3.1.3. INDUSTRIA DEL CACAO

- Recibirán granos de cacao de mejor calidad, lo cual es fundamental para la producción de chocolate de alta calidad.
- Reducirán costos relacionados con el procesamiento del cacao debido a la homogeneidad y calidad de los granos.

2.3.2. BENEFICIARIOS INDIRECTOS

2.3.2.1. CONSUMIDORES FINALES

- Disfrutarán de productos de cacao (chocolates, bebidas, etc.).
- Podrán tener acceso a productos con certificaciones de calidad y sostenibilidad.

2.3.2.2. COMUNIDAD CIENTÍFICA Y ACADÉMICA

- Tendrán acceso a nuevos conocimientos y metodologías sobre la cinética de secado aplicables a otros productos agrícolas.
- Podrán utilizar los resultados del estudio como base para futuras investigaciones.

2.3.2.3. ECONOMÍA LOCAL Y REGIONAL

- Incremento en la rentabilidad del sector cacaotero, generando un efecto positivo en la economía local.
- Creación de empleo en el sector agrícola y en industrias relacionadas con la producción y procesamiento del cacao.

2.4. JUSTIFICACIÓN

Se ha propuesto llevar a cabo el proceso de secado con el objetivo de encontrar el nivel óptimo de secado para el cacao nacional y CCN-51. Esta iniciativa busca reducir el tiempo de secado mediante el uso de temperaturas adecuadas, aplicando perspectivas innovadoras y conocimientos en electromecánica. Todo esto forma parte de la investigación orientada a mejorar la eficiencia energética y del secado del cacao.

2.5. OBJETIVOS

2.5.1. General

Obtener los modelos de cinética de secado del cacao nacional y CCN-51 que establece la relación del contenido de humedad, considerando la temperatura y el tiempo de secado en condiciones controladas.

2.5.2. Específicos

- Establecer los fundamentos teóricos del proceso de secado del cacao, que servirán como base para el desarrollo de este proyecto.

- Definir la metodología adecuada para la obtención de los modelos de cinética de secado del cacao, considerando el contenido de humedad y el tiempo.
- Analizar los resultados de la cinética de secado del cacao nacional y CCN-51 mediante un diseño experimental, controlando la temperatura y el tiempo.

3. HIPÓTESIS Y SISTEMA DE TAREAS

3.1. HIPÓTESIS

Es posible desarrollar modelos efectivos de secado para el cacao nacional ecuatoriano y CCN-51, analizando el contenido de humedad final en relación con el tiempo y la temperatura del proceso en condiciones controladas.

Variable Dependiente:

Contenido de humedad final del cacao

Variable Independiente:

Tiempo y temperatura del proceso de secado tipo de cacao nacional y CCN-51.

3.2. SISTEMA DE TAREAS

Tabla 2. Sistema de Tareas del Plan de Titulación

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Establecer los fundamentos teóricos del proceso de secado del cacao, que servirán como base para el desarrollo de este proyecto.	Realizar una investigación detallada sobre los diferentes métodos de secado utilizados en la industria del cacao, tanto tradicionales como modernos, y evaluar su efectividad y eficiencia.	Investigación y Documentación teórica	<ul style="list-style-type: none"> • Libros • Artículos • Páginas Web
	Analizar los parámetros críticos que influyen en el proceso de secado del cacao, como la temperatura, la humedad, y el tiempo, y cómo estos afectan el	Investigación y Documentación teórica	<ul style="list-style-type: none"> • Libros • Artículos • Páginas Web

	producto final		
Definir la metodología adecuada para la obtención de los modelos de cinética de secado del cacao, considerando el contenido de humedad y el tiempo.	Desarrollar un diseño experimental para evaluar cómo diferentes condiciones de temperatura y tiempo afectan la cinética de secado del cacao. Este diseño debe incluir la selección de parámetros experimentales, la preparación de muestras de cacao y la configuración del equipo de secado.	Base de Datos Experimental	<ul style="list-style-type: none"> • Gráficas • Software Exel • Tablas
	Utilizar los datos experimentales para desarrollar modelos matemáticos que describan la cinética de secado del cacao. Esto incluye la selección y ajuste de ecuaciones que representen adecuadamente el proceso de secado.	Modelos Matemáticos Validados	<ul style="list-style-type: none"> • Datos • Software Exel • Tablas
Analizar los resultados de la cinética de secado del cacao nacional y CCN-51 mediante un diseño experimental, controlando la temperatura y el tiempo.	Implementar un diseño experimental riguroso para analizar la cinética de secado del cacao nacional y CCN-51, controlando cuidadosamente las variables de temperatura y tiempo.	Conjunto de Datos Completo	<ul style="list-style-type: none"> • Datos • Software Exel • Tablas
	Analizar los datos recolectados para desarrollar modelos que describan la cinética de secado, utilizando	Modelos de Secado Validados E Informe Analítico	<ul style="list-style-type: none"> • Datos • Software Exel • Tablas • Gráficas

	herramientas estadísticas y de modelado.		
--	--	--	--

4.MARCO TEÓRICO

4.1. ANTECEDENTES

A Nivel Mundial la producción de cacao se lleva a cabo principalmente en regiones tropicales, siendo esencialmente manejada por pequeños agricultores. A nivel global, los estudios se han centrado en mejorar las técnicas de postcosecha, particularmente la fermentación y el secado. La fermentación y el secado adecuados son cruciales para desarrollar los sabores y aromas característicos del chocolate. Las investigaciones han demostrado que las variaciones en la temperatura y el tiempo de secado pueden afectar desde la reducción de la acidez hasta la eliminación de sabores amargos y astringentes[1].

En América Latina, la producción de cacao es fundamental, con países como Brasil, Colombia, Venezuela, Perú y Ecuador liderando en términos de volumen y calidad. Los métodos tradicionales de fermentación, como el uso de hojas de banano para cubrir las pilas de cacao, siguen siendo comunes. No obstante, la investigación en la región se ha enfocado en modernizar estos métodos para aumentar la eficiencia del producto final. Un estudio en Ghana, aunque fuera de la región latinoamericana, ofrece información valiosa sobre la variación en la duración de la fermentación y el secado, y cómo estas afectan la calidad del cacao, lo cual es relevante para los productores latinoamericanos[2].

En Ecuador es uno de los mayores productores de cacao en América Latina, conocido por sus variedades, nacional y CCN-51. La investigación en Ecuador ha abordado el impacto de las condiciones de fermentación y secado del cacao. Estudios recientes han analizado cómo las diferentes técnicas de secado, incluyendo el uso de secadores artesanales y modernos, pueden optimizar el contenido de humedad del cacao y mantener su calidad aromática y de sabor. Se ha observado que controlar adecuadamente la temperatura y el tiempo de secado es vital para evitar sabores no deseados y mantener el grano[3].

Ubicación: El proyecto se desarrollará la Universidad Técnica de Cotopaxi ubicada en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia Eloy Alfaro, barrio San Felipe como se presenta a continuación:

países, el cacao sigue siendo un producto agrícola crucial, y los esfuerzos recientes se han centrado en mejorar las prácticas de cultivo y procesamiento para aumentar la calidad y la sostenibilidad[8].

Ecuador es uno de los principales productores de cacao en el mundo, conocido por sus variedades nacional y CCN-51. La historia del cacao en Ecuador se remonta a la civilización Mayo-Chinchipec, que cultivaba cacao en la región amazónica hace más de 5,000 años. Los estudios arqueológicos han encontrado residuos de cacao en cerámicas antiguas, lo que sugiere que el cacao tenía un uso ritual y económico significativo desde tiempos muy antiguos[5].

En tiempos modernos, Ecuador ha desarrollado técnicas avanzadas de cultivo y procesamiento de cacao, enfocándose en mejorar el producto y en prácticas sostenibles. Las variedades de cacao ecuatoriano son muy apreciadas en el mercado internacional por su sabor único y su alta calidad, contribuyendo significativamente a la economía del país[5].

El cacao es una rica tapezaría de descubrimientos arqueológicos, evolución cultural y avances tecnológicos. Desde sus orígenes en las antiguas civilizaciones de América hasta su popularización en Europa y su importancia actual en la economía global, el cacao ha dejado una huella indeleble en la historia humana. Hoy en día, continúa siendo un producto valioso y una fuente de ingresos para muchos países productores, especialmente en América Latina y Ecuador[5].

4.2. Tipos de Cacao

El cacao, la materia prima del chocolate, se divide en variedades, cada una con características únicas en sabor, aroma y adaptabilidad como:

- Cacao Forastero
- Cacao Criollo
- Cacao Trinitario (conocido como CCN-51)
- Cacao Nacional
- Cacao Chuao
- Cacao Porcelana
- Cacao Marañón

4.2.1. Variedades Principales de Cacao

Cacao Forastero: Es la variedad de cacao más cultivada y representa aproximadamente el 80% de la producción mundial. Originaria de la región de la amazonia, forastero es robusta y resistente a enfermedades, lo que la hace ideal para cultivos a gran escala. El sabor tiene un perfil de sabor fuerte, amargo y ácido. Debido a su alta productividad, es comúnmente utilizada en la producción de chocolate de consumo masivo. Su distribución cultivada principalmente en África Occidental, así como en partes de América del Sur y Asia[9].

Cacao Criollo: Considerado el cacao de mayor calidad, criollo es menos resistente a enfermedades y su producción es limitada. Representa menos del 5% de la producción mundial. El sabor es conocido por su sabor suave, con menos amargor y una mayor complejidad aromática, incluyendo notas frutales y florales. Se cultiva principalmente en América Latina, especialmente en Venezuela, México y Nicaragua[10].

Cacao Trinitario o Híbrido: Es un híbrido de forastero y criollo, combinando la resistencia del forastero con la calidad del sabor del criollo. Representa alrededor del 10-15% de la producción mundial de cacao. El sabor ofrece un perfil de sabor intermedio con notas afrutadas y florales, y menos amargor que el forastero. Y principalmente en América Latina y algunas partes de Asia[10].

Cacao Nacional: Variedad autóctona de Ecuador, conocida por sus granos de color claro y perfil aromático único. Es muy valorado por chocolateros y conocedores por su delicado sabor. El sabor se caracteriza por notas florales, frutales y a nuez, con una textura suave. Y su cultivo se da principalmente en Ecuador[11].

4.2.2. Variedades Especiales

Cacao Chuao: Proveniente de la región de chuao en Venezuela, es una de las variedades más raras y caras del mundo. El sabor complejo con notas de frutos rojos, miel y nueces.

Cacao Porcelana: Otra variedad venezolana, famosa por su delicadeza y su color blanco porcelana. El sabor tiene notas florales y de miel con una textura cremosa.

Cacao Marañón: Cultivada en el cañón del marañón en Perú, conocida por su rareza y exquisito perfil de sabor. El sabor tiene notas frutales, florales y a nuez.

Cada una de estas variedades de cacao aporta características únicas al chocolate, influenciando su sabor, textura y aroma. La diversidad genética y regional de estas variedades es crucial para la industria del chocolate, ya que permite una amplia gama de productos y experiencias gustativas[11].

4.3. Tipos de cacao de estudio

Los tipos de cacao que vamos a realizar el estudio son:

- Cacao nacional
- Cacao CCN – 51

4.3.1. Cacao Nacional

El cacao nacional es una variedad histórica y altamente apreciada originaria de Ecuador. Su cultivo se remonta a más de 5,000 años, siendo una de las primeras variedades domesticadas en la región amazónica del país. Este cacao es conocido por su perfil de sabor complejo y su aroma floral distintivo, lo que lo convierte en una de las variedades más valoradas en la producción de chocolate fino. A principios del siglo XX, las plantaciones de cacao nacional en Ecuador fueron devastadas por enfermedades como la escoba de bruja y la moniliasis, lo que llevó a la introducción de variedades híbridas más resistentes pero de menor calidad en sabor. Estas variedades, como el CCN-51, dominaron la producción debido a su alta productividad y resistencia a enfermedades. Sin embargo, el cacao nacional puro comenzó a desaparecer, representando solo una pequeña fracción de la producción total de cacao en Ecuador[12].

En 2009, se descubrieron algunos árboles de cacao nacional puro en el valle de Piedra de Plata, lo que llevó a un esfuerzo renovado para conservar y revitalizar esta variedad. Instituciones como el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y organizaciones como el Heirloom Cacao Preservation Fund han trabajado para crear bancos genéticos y programas de clonación para preservar y aumentar la población de cacao nacional[13].

Hoy en día, el cacao fino aroma nacional es conocido por su perfil de sabor complejo, que combina notas ácidas y dulces con delicados aromas a tostado, frutas y flores. Estas características hacen que nuestro chocolate ofrezca una amplia gama de sabores y una experiencia sensorial profunda y rica, la producción de cacao nacional en Ecuador sigue enfrentando desafíos significativos. Los agricultores a menudo prefieren cultivar variedades híbridas más productivas debido a la falta de incentivos económicos para mantener el cacao nacional, que es más delicado y requiere más cuidado. Además, factores como el cambio climático y la degradación del suelo agravan estos problemas, afectando la sostenibilidad de la producción de cacao nacional[14].

4.3.2. Cacao Mejorado CCN – 51

El cacao CCN-51, conocido también como Colección Castro Naranjal, fue desarrollado en la década de 1960 por Homero Castro en la región de Naranjal, Ecuador. Este cultivar es un híbrido resultante de cruces entre diferentes variedades de cacao, incluyendo IMC-67, ICS-95 y Canelo. Su creación tuvo como objetivo obtener una planta con alta productividad y resistencia a enfermedades, características que han permitido su rápida adopción por los agricultores ecuatorianos y de otras regiones[15].

El CCN-51 se destaca por su alta productividad, con rendimientos que pueden ser hasta cuatro veces mayores que los de las variedades tradicionales como el nacional. Además, es altamente resistente a enfermedades comunes del cacao, como la escoba de bruja y la moniliasis. Estas características lo hacen ideal para cultivos a gran escala y lo han convertido en una de las variedades de cacao más plantadas en Ecuador[16].

En las últimas dos décadas, el CCN-51 se ha consolidado como la variedad de cacao más cultivada en Ecuador, representando una parte significativa de la producción nacional. Su cultivo se ha expandido no solo en Ecuador, sino también en otros países de América Latina, debido a su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y edafológicas. Actualmente, el CCN-51 constituye una parte esencial de los programas de mejoramiento genético del cacao a nivel mundial[17].

Aunque el CCN-51 es apreciado por su productividad y resistencia, su perfil de sabor es menos complejo en comparación con variedades tradicionales como el nacional. El cacao CCN-51 tiende a tener notas más ácidas y amargas, lo que puede afectar la calidad organoléptica del chocolate producido. Sin embargo, con técnicas adecuadas de fermentación y secado, se puede mejorar significativamente el sabor del cacao CCN-51, haciéndolo aceptable para la producción de chocolate a gran escala[16].

Uno de los desafíos principales es la mezcla de granos de CCN-51 con los de cacao nacional, lo que puede reducir la calidad general del producto. Además, aunque el CCN-51 es económicamente ventajoso debido a su alta productividad, existe una preocupación sobre la pérdida de biodiversidad y la dependencia de monocultivos. Por ello, es crucial continuar con la investigación y desarrollo de prácticas sostenibles que permitan mantener la diversidad genética y mejorar la calidad del cacao producido[16].

4.4. Marco referencial

4.4.1. Proceso del cacao

El proceso de transformación del cacao desde la cosecha implica varias etapas críticas que afectan la del producto final como son:

4.4.1.1. Cosecha y limpieza del Cacao

La cosecha del cacao implica la recolección manual de las mazorcas maduras del árbol de cacao, generalmente con machetes para evitar dañar las flores. Una vez recolectadas, las mazorcas se abren para extraer los granos de cacao, que están rodeados de una pulpa blanca y mucilaginosa[18].



Figura 2. Cosecha del Cacao [19].

La elección de las mazorcas es una actividad necesaria para asegurar que nuestro cacao cumpla con los estándares de calidad que los mercados exigen. Se debe seleccionar las mazorcas maduras, ya que las mazorcas de color rojizo pueden no tener suficiente azúcar y humedad en la pulpa para una fermentación satisfactoria. Las mazorcas sobre maduras tienden a secarse y se puede producir el proceso de germinación de las semillas dentro de los mismos frutos[18].



Figura 3. Mazorca de Cacao [20].

4.4.1.2. Fermentación del Cacao

Los granos de cacao recién extraídos se colocan en cajas o montones para fermentar durante varios días (típicamente de 5 a 7 días). La fermentación es un proceso crucial que involucra la acción de levaduras y bacterias, que metabolizan los azúcares de la pulpa y generan calor. Este proceso ayuda a desarrollar los precursores de los sabores del chocolate y reduce la astringencia y amargor de los granos[21].



Figura 4. Proceso de Fermentación del Cacao [22].

En el proceso, la temperatura aumenta, se libera el embrión muerto y el predecesor del aroma y el aroma de las semillas. Cuando se complete la fermentación, los granos se hincharán y la piel se oscurecerá. Las semillas nunca deben lavarse antes de la fermentación o fermentación excesiva, ya que esto puede hacer que las semillas se pudran, lo que resulta en acidez y sabores que son difíciles de eliminar en el proceso industrial[21].

4.4.2. Métodos de Fermentación

4.4.2.1.1. Fermentación en montones

Este es uno de los métodos más tradicionales y se usa ampliamente en África Occidental y algunas partes de América Latina. Los granos de cacao se amontonan en el suelo y se cubren con hojas de banano o plátano para retener el calor y la humedad necesarios para la fermentación. Los montones se voltean regularmente para asegurar una fermentación uniforme. Este método es simple y económico, pero puede resultar en una fermentación menos controlada[23].



Figura 5. Fermentación en Montones [24].

4.4.2.1.2. Fermentación en cajas de madera

Las cajas de fermentación, hechas de madera, son comunes en América Latina, especialmente en países como Ecuador y Perú. Este método permite un mejor control del proceso, ya que las cajas pueden ser apiladas y tienen drenajes para eliminar el exceso de líquido. Las cajas suelen ser volteadas cada 24 a 48 horas para airear los granos y asegurar una fermentación homogénea. Este método es más eficiente y produce granos de cacao de mayor calidad[23].



Figura 6. Fermentación en Cajas de Madera [25].

4.4.2.1.3. Fermentación en canastas o bandejas

En algunas regiones, los productores utilizan canastas de mimbre o bandejas de madera para fermentar los granos de cacao. Este método es similar al de las cajas, pero las canastas permiten una mejor circulación de aire alrededor de los granos. Las bandejas, por otro lado, son fáciles de manejar y pueden apilarse para maximizar el espacio. Ambos métodos permiten una fermentación más controlada en comparación con los montones[26].



Figura 7. Fermentación en Canastas o Bandejas [27].

4.4.2.1.4. Fermentación en barriles o toneles

Este método es menos común pero se utiliza en algunas pequeñas plantaciones. Los granos de cacao se colocan en barriles o toneles donde fermentan durante varios días. Este método puede ofrecer un buen control del proceso, pero es más laborioso y menos práctico para grandes volúmenes de cacao[26].



Figura 8. Fermentación en Barriles o Toneles [28].

4.4.2.1.5. Fermentación Microbiana

Estudios han demostrado que la microbiota involucrada en la fermentación del cacao incluye una compleja interacción de levaduras, bacterias lácticas y bacterias acéticas. Estos microorganismos desempeñan un papel crucial en la degradación de los azúcares de la pulpa y la producción de compuestos volátiles que contribuyen al sabor del cacao[23].



Figura 9. Fermentación Microbiana [29].

4.4.3. Secado del Cacao

Después de la fermentación, los granos de cacao se secan al sol o en secadores especiales para reducir su contenido de humedad del 55% al 7.5%. Este paso es esencial para asegurar la estabilidad del producto durante el almacenamiento y transporte. El secado puede durar entre una semana y diez días, dependiendo del clima[18].



Figura 10. Secado del Cacao [30].

Es importante que se seque el cacao en cemento o entablonados, marquesinas, pisos de bambú; 5 a 7 cm, removiendo cada 2-3 horas con una cuchara de madera. Las condiciones de secado más favorables las proporciona el calor solar, que es una fuente económica y adecuada en caso de secado artificial, asegurarse de que la temperatura no supere los 60°C[18].

4.4.3.1. Tipos de Secado del Cacao

4.4.3.1.1. Secado al sol

Este es el método tradicional y más utilizado. Los granos de cacao se esparcen en capas delgadas sobre esteras, lonas o superficies de cemento bajo el sol. Se remueven regularmente para asegurar un secado uniforme y evitar la fermentación secundaria. Este método es económico y utiliza energía solar, pero depende de las condiciones climáticas[31].



Figura 11. Secado del Cacao al Sol [32].

Los métodos de secado más comunes son terrazas de cemento, ladrillo o madera o terrazas de cemento o ladrillo con techos rodantes. El cacao obtenido y conocido como cacao "de sol" se seca cuidadosamente en buenas condiciones climáticas (temperatura no superior a 50°C), se mezcla continuamente para obtener un aroma y un color más suaves, más bellos, más puros.

El procedimiento recomendado para el secado en patios de cemento son los siguientes:

Primer día: exposición al sol durante algunas horas (2 a 4 horas, hasta 4 horas) para evitar que la piel se seque demasiado rápido; Para hacer esto, el cacao se coloca en capas de 8 a 12 cm, si el clima es seco y caluroso, de 5 a 7 cm, si es húmedo y con noches frías. Luego apile y cubra durante la noche o de lo contrario se enfriará y olerá mal.

Segundo día: volver a secar las almendras, ampliar el tiempo de secado a 5-6 horas y reducir el espesor de la capa, sacar los granos con una herramienta de madera (pala, rastrillo) y pasado este tiempo apilarlos. otra vez, cúbrelo de nuevo.

Tercer día: Se proporciona sol todo el día y así hasta que el tiempo sea muy seco, que terminará en 4-6 días dependiendo de las condiciones ambientales[31].

4.4.3.1.2. Secado Solar Mejorado

Similar al secado al sol, pero utilizando estructuras como invernaderos solares para aumentar la eficiencia del secado. Estas estructuras protegen los granos de la lluvia y permiten un secado más controlado, mejorando la calidad final del cacao[33].



Figura 12. Secado del Cacao Solar Mejorado [34].

Se ha vuelto popular usar cobertizos o túneles para secar el cacao de forma natural. Son estructuras de madera o metal con un revestimiento especial de plástico o policarbonato que permite el paso de la radiación solar en las zonas de producción donde las lluvias no cesan durante la cosecha del cacao[33].

Muchas veces, el diseño del almacén o túnel de secado no proporciona orificios de ventilación ajustables, lo que provoca que los granos de cacao tengan un olor a humedad característico (este moho, aunque no es visible en este punto, sí lo es, pero puede ocurrir cuando se almacena a temperaturas más bajas). Esto se debe a que toda la humedad extraída del grano queda dentro del secadero o túnel y no hay corrientes de aire para retirarla[33].

4.4.3.1.3. Secado en Bandejas o Mesas

Los granos se colocan en bandejas o mesas elevadas para mejorar la circulación del aire. Este método facilita el manejo de los granos y reduce el riesgo de contaminación por suelo. Las bandejas pueden ser móviles para facilitar el movimiento bajo el sol o dentro de secadores[33].



Figura 13. Secado del Cacao en Bandejas o Mesas [35].

4.4.3.1.4. Secado Mecánico

Utiliza secadores eléctricos o de combustión para controlar la temperatura y la humedad durante el secado. Este método es más rápido y no depende de las condiciones climáticas, pero es más costoso y requiere inversión en equipos. Los secadores mecánicos son ideales para grandes volúmenes de producción[33].



Figura 14. Secado del Cacao Mecánico [36].

Este esquema de secado es esencial para reducir el contenido de humedad del cacao en áreas con lluvias frecuentes, durante la temporada de cosecha. El calor para calentar el aire generalmente proviene del quemador de gas. Para el uso más eficiente del secador artificial, la fuente de calor debe ubicarse lejos de la superficie donde se encuentran las almendras, esto reduce el riesgo de contaminar el cacao con olores extraños, especialmente combustible, esto da como resultado la protección de las semillas de la lluvia, que es una de las principales ventajas que se pueden utilizar en todos los períodos de cosecha[33].

4.4.3.1.5. Secado por Aire Forzado

Este método implica el uso de ventiladores para forzar aire caliente a través de los granos de cacao, acelerando el proceso de secado. Es similar al secado mecánico y permite un control preciso de las condiciones de secado, pero también implica mayores costos de energía[33].

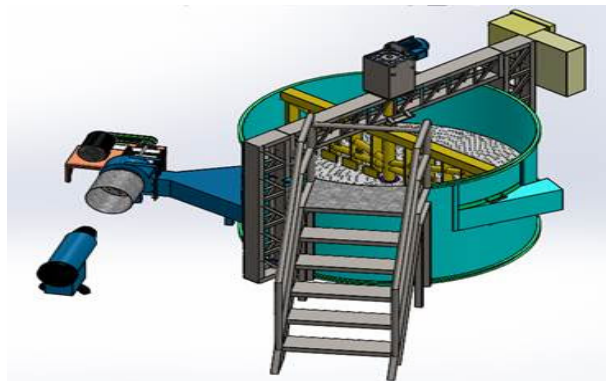


Figura 15. Secado del Cacao por Aire Forzado [37].

El secador rotatorio es un tipo de equipo de secado para procesar una gran cantidad de materiales. Tiene las características de rendimiento confiable, alta flexibilidad operativa, fuerte adaptabilidad, alta eficiencia de procesamiento, fuerte adaptabilidad del material, secado de varios materiales. Es ampliamente utilizado en las industrias de materiales de

construcción, metalurgia, química, cemento para secar escoria de cal, carbón fino, escoria, arcilla y otros materiales[33].

4.4.3.1.6. Secado Combinado

Combina métodos tradicionales y modernos para optimizar el proceso de secado. Por ejemplo, se puede iniciar el secado al sol y finalizarlo en secadores mecánicos para asegurar un contenido de humedad uniforme y reducir riesgos de contaminación[33].



Figura 16. Secado del Cacao Combinado [38].

4.4.4. Tostado del Cacao

Los granos secos se tuestan a diferentes temperaturas según el perfil de sabor deseado. El tostado desarrolla aún más los sabores del cacao, eliminando cualquier resto de humedad y facilitando la separación de la cáscara del grano[39].



Figura 17. Tostado del Cacao [40].

4.4.5. Triturado y Alcalización del Cacao

Tras el tostado, los granos se trituran para separar los granos de la cáscara. Los granos se muelen hasta formar una pasta líquida llamada licor de cacao. Este licor puede ser sometido a un proceso de alcalización (también conocido como proceso holandés) para modificar su sabor y color, mezclándolo con compuestos alcalinos como el carbonato de potasio[41].



Figura 18. Triturado y Alcalización del Cacao [42].

4.4.6. Prensado y Molienda del Cacao

El licor de cacao se prensa para separar la manteca de cacao del polvo de cacao. El polvo de cacao se muele para alcanzar la finura deseada, mientras que la manteca de cacao se utiliza en la fabricación de chocolate y otros productos de confitería[41].



Figura 19. Prensado y Molienda del Cacao [43].

4.4.7. Mezcla y conchado del Cacao

Para hacer chocolate, el licor de cacao se mezcla con manteca de cacao, azúcar, y otros ingredientes según la receta específica. Esta mezcla se refina para reducir el tamaño de las partículas y luego se somete a un proceso de conchado, donde se agita a altas temperaturas para suavizar la textura y mejorar el sabor[39].



Figura 20. Mezcla y conchado del Cacao [44].

4.4.8. Templado y Moldeado del Cacao

Finalmente, el chocolate se temple, un proceso de calentamiento y enfriamiento controlado que estabiliza los cristales de la manteca de cacao, dando al chocolate su brillo característico y textura crujiente. El chocolate templado se vierte en moldes y se deja enfriar para solidificarse, Estos pasos complejos y cuidadosamente controlados aseguran que el cacao se transforme en chocolate de alta calidad, con un perfil de sabor y textura óptimos[39].



Figura 21. Templado y Moldeado del Cacao [45].

4.4.9. Cinética del secado

La cinética de secado del cacao es un área de estudio crucial para mejorar la del producto final, ya que el proceso de secado influye significativamente en las propiedades organolépticas y químicas del cacao.

4.4.9.1. Modelos matemáticos para cinética de secado

Los modelos de secado son herramientas matemáticas que permiten describir y predecir la cinética de secado de diversos materiales bajo diferentes condiciones. Estos modelos varían en su complejidad, desde los empíricos, que son simples y ajustados a datos experimentales, hasta los teóricos, que se basan en las leyes fundamentales de transferencia de calor y masa.

Aquí te proporciono más ejemplos de modelos de secado comúnmente utilizados en la literatura científica:

- **Modelo de Lewis:** Uno de los modelos más simples, donde la tasa de secado es proporcional a la diferencia entre el contenido de humedad del material y la humedad de equilibrio.
- **Modelo de Page:** Una extensión del modelo de Lewis que incorpora un exponente ajustable, lo que permite un mejor ajuste a los datos experimentales.
- **Modelo de Henderson y Pabis:** Similar al modelo de Lewis pero incorpora un factor adicional para mejorar el ajuste a diferentes condiciones de secado
- **Modelo de Newton:** Este modelo se basa en la ley de enfriamiento de Newton, adaptada para el proceso de secado, modelo matemático sencillo utilizado para describir la tasa de secado de materiales[46].

5. METODOLOGÍA

5.1. Materiales y Métodos

Para llevar a cabo la práctica de secado del cacao, se utilizó como materia prima el cacao nacional y CCN-51. Cada tipo de cacao se seleccionó según las características necesarias para las pruebas. Se empleó un analizador de humedad para mantener una temperatura controlada durante cada prueba. Se realizaron pruebas a diferentes temperaturas, tomando 7 muestras por cada tipo de cacao. A continuación, se detallan las herramientas y sus especificaciones técnicas, asegurando que cumpla con la capacidad requerida para optimizar las pruebas de secado.

5.1.1. Analizador de Humedad de 40°C a 180°C

El analizador de humedad Ruishan RSSFYPT Series es un equipo avanzado diseñado para medir el contenido de humedad en diversas muestras de manera rápida y precisa. Este dispositivo es utilizado en industrias como la alimentaria, agrícola, comercial y de investigación científica[47].

5.1.1.1. Características Principales del Analizador de Humedad:

- **Capacidad:** Disponible en modelos con capacidades de 50g, 100g, 120g y 180g.
- **Precisión:** Alta precisión de 0.001g (1 mg).

- **Repetibilidad:** $\pm 0.002\text{g} / \pm 2 \text{ mg}$.
- **Legibilidad de Humedad:** 0.01%.
- **Elemento Calentador:** Equipado con una lámpara de halógeno para un calentamiento eficiente.
- **Intervalo de Temperatura:** Rango de 40-180°C, con incrementos precisos de $\pm 1^\circ\text{C}$.
- **Tamaño de la Bandeja:** 100 mm, adecuada para muestras de varios tamaños.
- **Material de Construcción:** Cuerpo de ABS reforzado, resistente a altas temperaturas y corrosión, cámara de calentamiento de acero inoxidable y bandeja de muestra de aluminio.

Este analizador es ideal para determinar rápidamente la cantidad de objetos en diferentes sectores, ofreciendo una medición precisa y fiable del contenido de humedad[47].



Figura 22. Analizador de Humedad [48].

5.1.2. Medidor de Humedad

Medidor de humedad de grano digital, sensor de humedad portátil de sonda larga para medir el contenido de humedad del arroz y el trigo en 20 categorías de humedad de grano., harina de semilla de algodón, soja, colza, forrajes, cacao, semillas de hortalizas etc. El contenido de humedad tiene un rango de prueba: 3% - 35%, Ambiente de trabajo de 0-40°C, compensación de temperatura automática. La pantalla de conversión de Volumen-Peso, pantalla de peso de muestra, pantalla de temperatura, cálculo de humedad promedio, calibración de 4 puntos, muestra ilimitada (20 variedades consumes se han calibrado), fuente de alimentación de 9V DC y también es portátil[49].



Figura 23. Medidor de Humedad[50].

Tabla 3. Medidor de tipos de granos[49].

Tipo de material	Código de material	Tipo de material	Código de material
Arroz	P1	Residuo de colza	P11
Frijol	P2	Alimento granulado	P12
Trigo	P3	Semilla de girasol	P13
Colza	P4	Semilla de sandía (grande)	P14
Maíz	P5	Semilla de sandía (pequeña)	P15
Cebada	P6	Semilla de rábano	P16
De grano largo no glutinoso arrozal	P7	Sésamo negro	P17
Arroz	P8	Sésamo amarillo	P18
Residuo de frijol	P9	Semilla de algodón	P19
Maní	P10	Residuo de algodón	P20

5.1.3. Modelos Matemáticos

En la tabla 4 se exponen los modelos matemáticos más importantes relacionados con la cinética de secado de diferentes productos. En ellos se establece la relación de la cantidad de humedad libre en el tiempo con el contenido de humedad inicial como estado de referencia (MR), ello se muestra en la **Ecuación N°1**. Para estimar las humedades libres se parte del valor del contenido de humedad de equilibrio, en este punto la presión de vapor de agua al interior del producto habrá igualado la presión de vapor en el medio secante.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \tag{1}$$

Donde:

MR = Relaciona la cantidad de humedad.

M_t = Contenido de humedad inicial como estado de referencia, %.

M_o = Humedades inicial.

M_e = Humedad de equilibrio.

Tabla 4. Modelo matemático que se utilizó para el ajuste de cinética del secado[51].

N.º	NOMBRE	MODELO
1	-Newton	* $MR = \exp(-kt)$
2	-Page	* $MR = \exp(-kt^n)$
3	-Henderson	* $MR = a \cdot \exp(-kt)$
4	-Logarítmico	* $MR = a \cdot \exp(-kt) + b$
5	-Midilli	* $MR = a \cdot \exp(-kt^n) + bt$
6	-Dos términos	* $MR = a \cdot \exp(-kt) + b \cdot \exp(-gt)$
7	-Henderson modificado	* $MR = a \cdot \exp(-kt) + b \cdot \exp(-gt) + c \cdot \exp(-ht)$
8	-Verma	* $MR = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a) \cdot \exp(-gt)$
9	-Dos términos exponenciales	* $MR = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a) \cdot \exp(-kat)$
10	-Aproximado a la difusión	* $MR = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a) \cdot \exp(-kbt)$
11	-Wang Singh	* $MR = 1 + at + bt^2$

Donde:

MR = Porcentaje de humedad del cacao

Exp = Número de Euler (exponencial)

K = Constante de ajuste

t = Variable de tiempo

n = Variable exponente del tiempo para el ajuste de humedad

a, b, c = Constantes de ajuste

De los modelos expuestos en la tabla 4, los utilizados en la presente investigación son los de Page y Newton, se escogieron los mismos considerando el comportamiento exponencial y las

constantes K y N que permiten establecer el ajuste de la cantidad de humedad libre en el tiempo con el contenido de humedad inicial como estado de referencia.

5.2. Memoria de cálculo

5.2.1. Características del secado de cacao

Basado en la investigación y análisis realizados para comprender mejor el proceso de secado del cacao, se ha determinado la importancia de establecer el tiempo óptimo de secado. Esto se fundamentado en estudios que emplean diversos métodos de secado. Para obtener resultados precisos, se ha decidido llevar a cabo pruebas utilizando un analizador de humedad, el cual permite controlar las temperaturas en cada experimento. De este modo, es posible medir la pérdida de agua del cacao en función del tiempo, comparando el peso inicial con el peso registrado después de cada intervalo de secado.

Temperatura: La temperatura de secado del cacao es muy importante ya que esta definirá el tiempo de secado siendo a mayor temperatura menor tiempo de secado y a menor temperatura un mayor tiempo de secado.

Porcentaje de Humedad: El porcentaje de humedad esta dado por la cantidad de agua que contiene el grano al momento en que este se encuentre fermentado.

Peso: Es la cantidad de producto solido del cacao

5.3. Condiciones para realizar las pruebas experimentales

Tabla 5. Parámetros para evaluar al realizar las pruebas

No.	Descripción	Unidades de medida
1	Temperatura de secado	Rango de 40°C-70°C
2	Humedad inicial	Rango de 47%-50%
3	Humedad final	Rango de 4.0%-4.8%
4	Peso perdido en gramos	Rango de 15g – 20g

5.4. Propiedades del grano de cacao

Los granos de cacao utilizados para las pruebas fueron seleccionados en base a la variedad más abundante en el ecuador por lo que se detallan dos tipos de grano de cacao para realizar las pruebas.

Cacao Nacional: Su tamaño en relación con el cacao mejorado es que el espesor de la mazorca es de un color amarillento, también el número de granos contenedores es menor al del cacao mejorado y el grano es de menor espesor.

Cacao mejorado CCN-51: El tamaño de la mazorca es más grande en relación con el cacao nacional tomando en cuenta que el grano tiene un mayor espesor y la cantidad contenedora por mazorca es abundante.

5.5. Cálculo del Porcentaje de humedad

La humedad calculada será obtenida a base a el grano de cacao completamente seco para tomar como referencia un valor 0 para la humedad.

$$\%H = \frac{M_s}{M_c} * 100\% \quad (2)$$

Donde:

%H = Porcentaje de humedad (%)

M_s = Masa seca (g)

M_c = Masa del cacao (g)

5.6. Cálculo del modelo experimental

$$MR_{exp} = \frac{H_{in} - H_f}{H_{in} - H_f} \quad (3)$$

Donde:

MR_{exp} = Humedad experimental

H_{in} = Humedad inicial

H_{in} = Humedad inicial

H_f = Humedad final

5.7. Modelo de ajuste de humedad

$$MR_{modelo} = Exp^{-K*t^n} \quad (4)$$

Donde:

MR_{modelo} = Humedad ajustada al modelo Page

Exp = Exponencial o número de Euler

$-K$ = Constante del ajuste

t = Variable de tiempo

n = Constante de ajuste

5.8. Cálculo del error

Este cálculo de error nos ayudara a determinar el error entre el cálculo del modelo experimental y el cálculo del modelo de page como se muestra en la siguiente ecuación.

$$error = (MR_{exp} - MR_{modelo})^2 \quad (5)$$

Donde:

$error$ = Diferencia de error

MR_{exp} = Humedad experimental

MR_{modelo} = Humedad del modelo

5.9. Suma de los cuadrados del error

Suma de cuadrados del error para ajustar la curva de cinética de secado de cacao intercalando los valores de K y N mediante solver.

$$SCR = \sum (MR_{exp} - MR_{modelo})^2 \quad (6)$$

Donde:

\sum = Sumatoria

SCR = Suma de los cuadrados del error

MR_{exp} = Humedad experimental

MR_{modelo} = Humedad del modelo de Page

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para llevar a cabo las pruebas con precisión se utilizó el equipo Moisture Analyzer, un analizador que establece la relación entre el contenido de humedad y la temperatura de

secado. Se tomaron 7 muestras de cada tipo de cacao (nacional y CCN-51) y se analizó por separado en intervalos de 20 minutos. Durante cada prueba, se pesó las muestras para el cacao CCN-51, las cuales su peso por cada regimen de temperatura son: (40°C=53,48g, 45°C=54,406g, 50°C=50,867g, 55°C=50,734g, 60°C=53,811g, 65°C=52,594g, 70°C=52,360g) y para el cacao nacional (40°C=56,024g, 45°C=55,461g, 50°C=50,116g, 55°C=52,723g, 60°C=50,501g, 65°C=55,004g, 70°C=51,479g), para calcular la cantidad de agua que pierden. Los detalles sobre tiempo, peso y porcentaje de humedad se registró en tablas, mostrando cómo el cacao pierde peso y humedad a lo largo del tiempo.

Al concluir las pruebas, se midió un contenido de humedad final cercano al 4%, aunque el estándar aceptado es de 7%. Sin embargo, se trabajó con un porcentaje menor para explorar hasta qué punto se puede reducir la humedad sin perder las cualidades nutricionales del cacao. Para el error cuadrático medio (SCR) obtuvimos los siguientes valores para el cacao CCN-51 (40°C=0,040445371, 45°C=0,02605877, 50°C=0,01056766, 55°C=0,03873777, 60°C=0,028429077, 65°C=0,018684428, 70°C=0,009007139) y para el cacao nacional (40°C=0,047586449, 45°C=0,0137507, 50°C=0,00473842, 55°C=0,02470104, 60°C=0,00831471, 65°C=0,04681757, 70°C=0,00730687).

6.1. Resultados de secado de Cacao Nacional

La siguiente tabla de datos proporciona valores tales como los resultados de los ajustes en los diferentes rangos de temperatura para el cacao nacional, en el modelo de Page y Newton con sus respectivas constantes como lo son: K, N, SCR.

Tabla 6. Modelo de Page y Newton cacao nacional

TEMPERATURA	MODELO PAGE	MODELO NEWTON
40°C	K= 0,00015299 N= 1,46762593 SCR= 0,047586449	K= 0,00250339 SCR= 0,187789123
45°C	K= 0,000094174620 N= 1,453197021 SCR= 0,0137507	K= 0,00157856 SCR= 0,14169975
50°C	K= 0,0001868 N= 1,37343283 SCR= 0,00473842	K= 0,00186451 SCR= 0,108776898
55°C	K= 0,00007150 N= 1,59873262 SCR= 0,024701	K= 0,002542845 SCR= 0,23784213

60°C	K= 0,00017249 N= 1,52477069 SCR= 0,008314	K= 0,00345779 SCR= 0,163139
65°C	K= 0,00007064 N= 1,60874882 SCR= 0,046817	K= 0,00256702 SCR= 0,230295
70°C	K= 0,00008736 N= 1,67639379 SCR= 0,00730687	K= 0,00383405 SCR= 0,208159

La tabla proporcionada muestra los parámetros obtenidos para los modelos de Page y Newton a diferentes temperaturas durante el proceso de secado. Los parámetros clave presentados incluyen la constante de secado K , el exponente N para el modelo de Page, y el error cuadrático medio (SCR), que indica la precisión del ajuste del modelo a los datos experimentales.

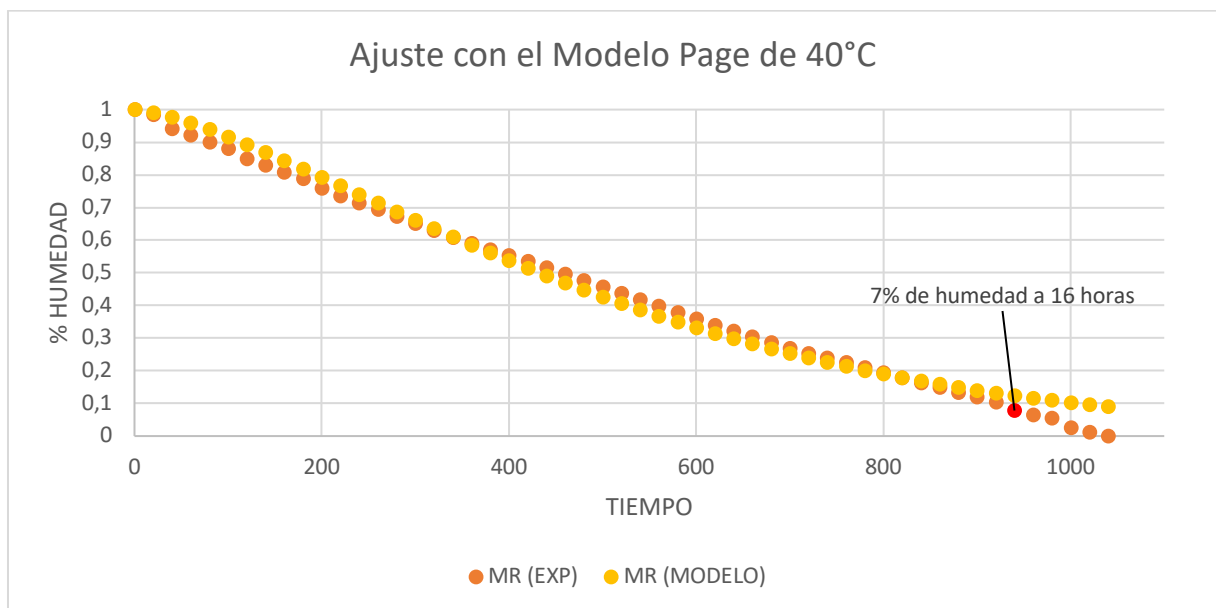


Figura 24. Ajuste del Modelo de Page a 40°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 40°C en un periodo de tiempo total de 960 min en la prueba N°49 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°24**.

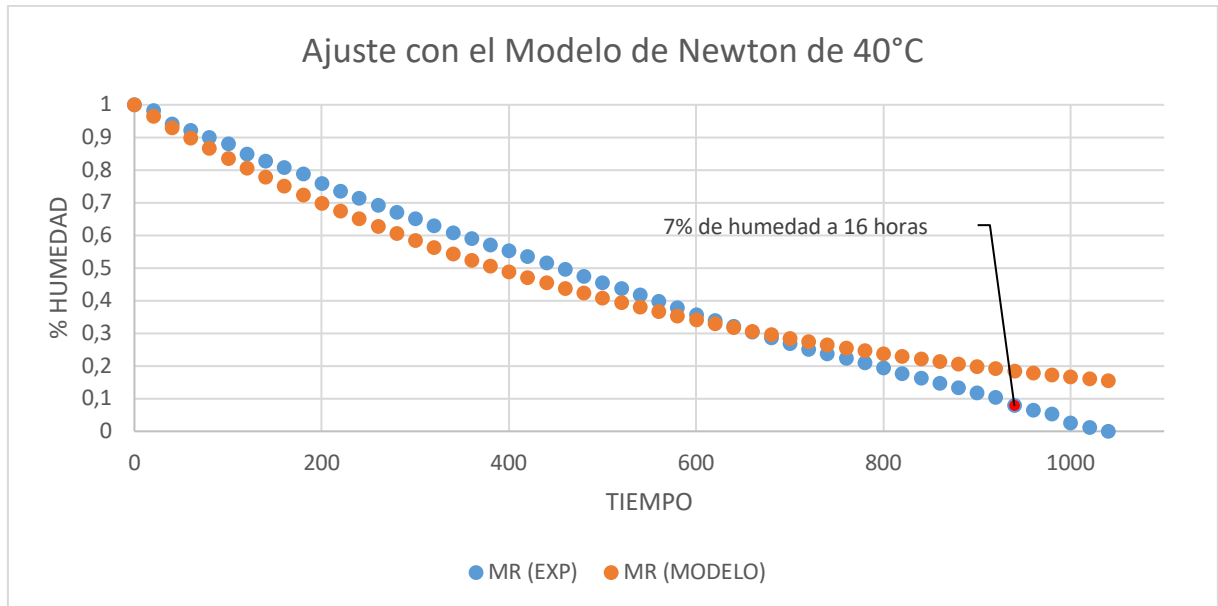


Figura 25. Ajuste con el modelo de Newton a 40°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 40°C en un periodo de tiempo total de 960 min en la prueba N°49 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°25**.

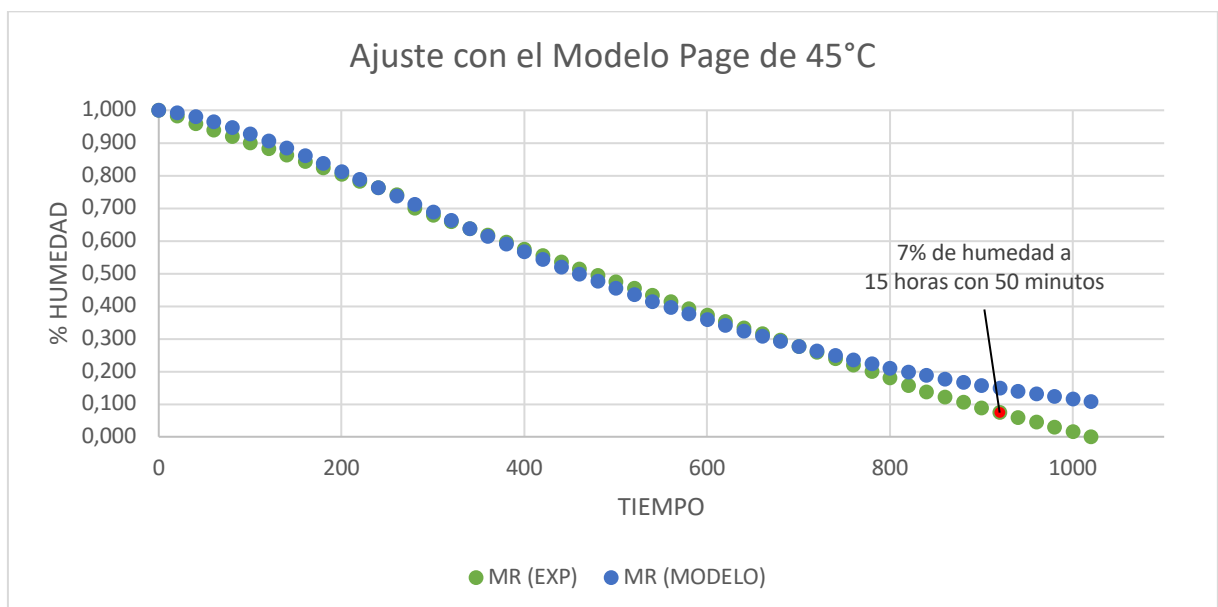


Figura 26. Ajuste con el modelo de Page a 45°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 45°C en un periodo de tiempo total de 940 min en la prueba N°48 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°26**.

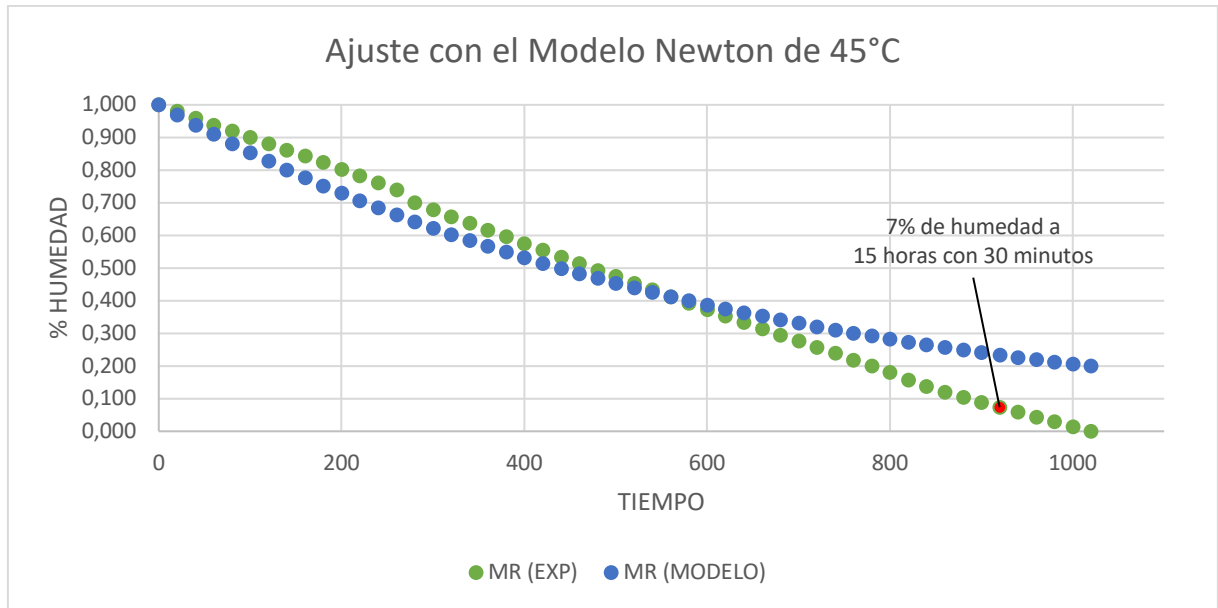


Figura 27. Ajuste con el modelo de Newton a 45°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 45°C en un periodo de tiempo total de 940 min en la prueba N°48 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°27**.

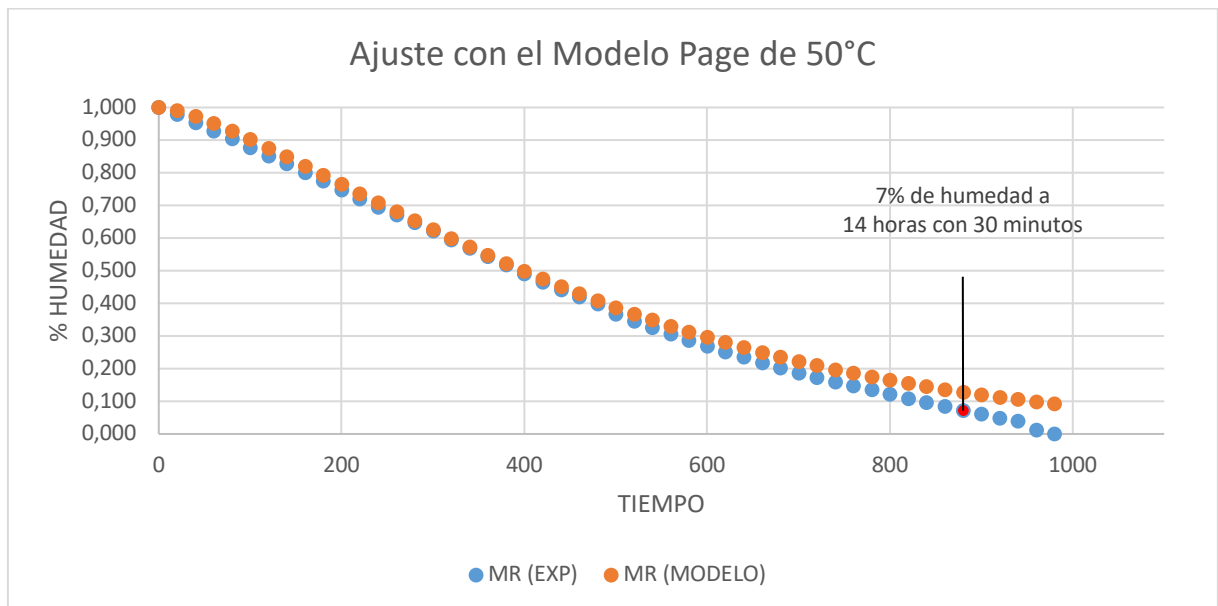


Figura 28. Ajuste con el modelo de Page a 50°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 50°C en un periodo de tiempo total de 880 min en la prueba N°45 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°28**.

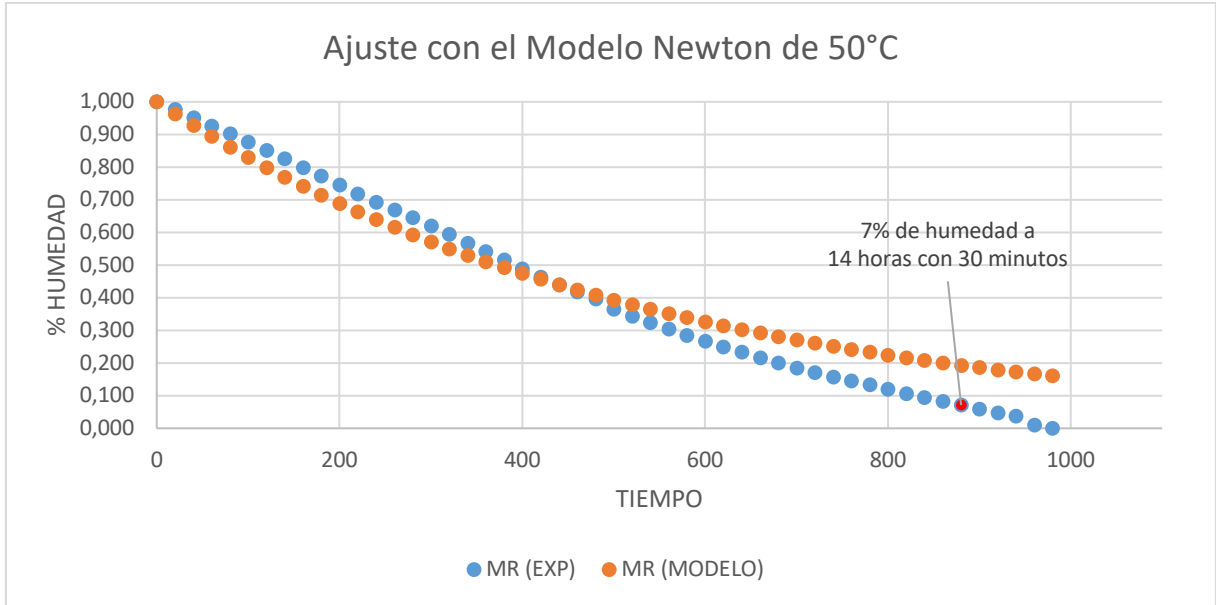


Figura 29. Ajuste con el modelo de Newton a 50°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 50°C en un periodo de tiempo total de 880 min en la prueba N°45 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°29**.

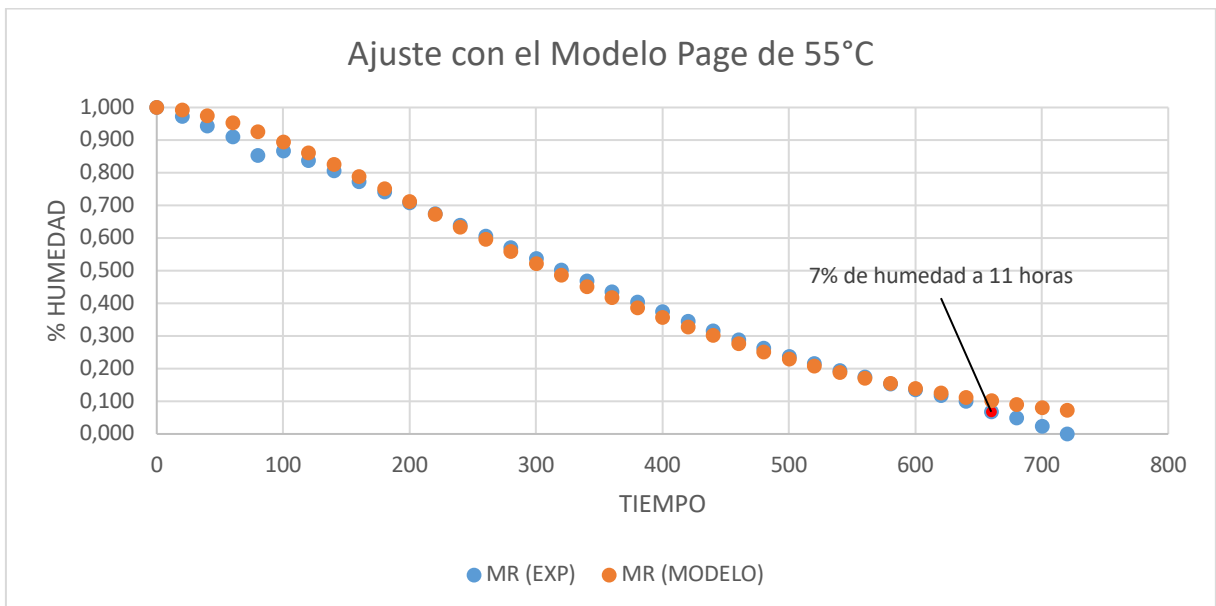


Figura 30. Ajuste con el modelo de Page a 55°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 55°C en un periodo de tiempo total de 660 min en la prueba N°34 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°30**.

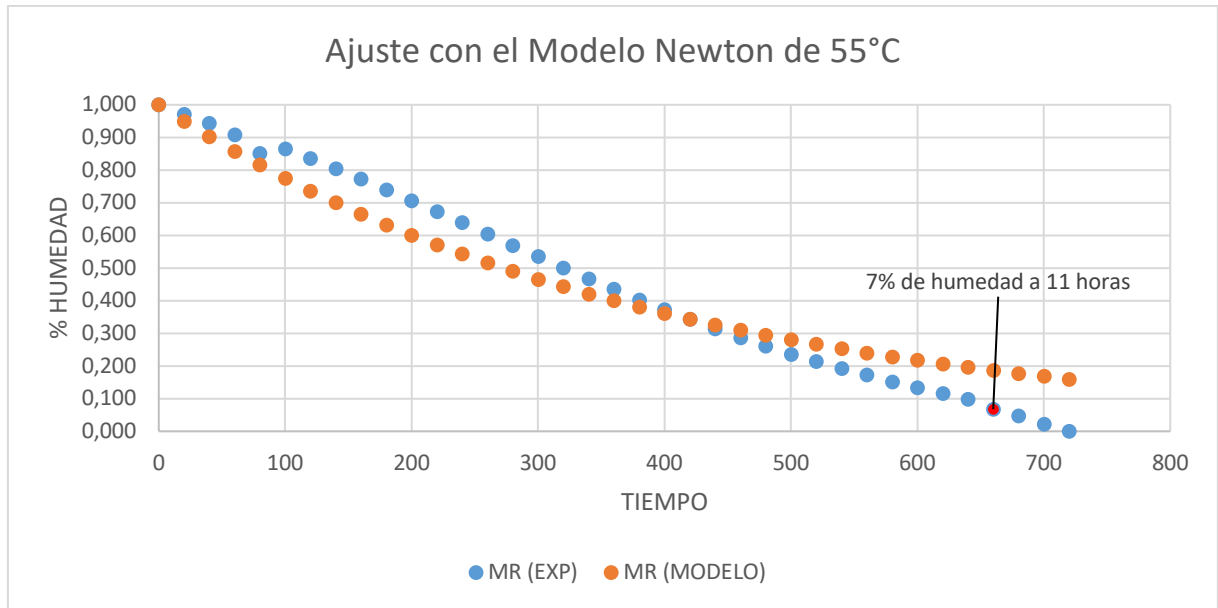


Figura 31. Ajuste con el modelo de Newton a 55°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 55°C en un periodo de tiempo total de 660 min en la prueba N°34 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°31**.

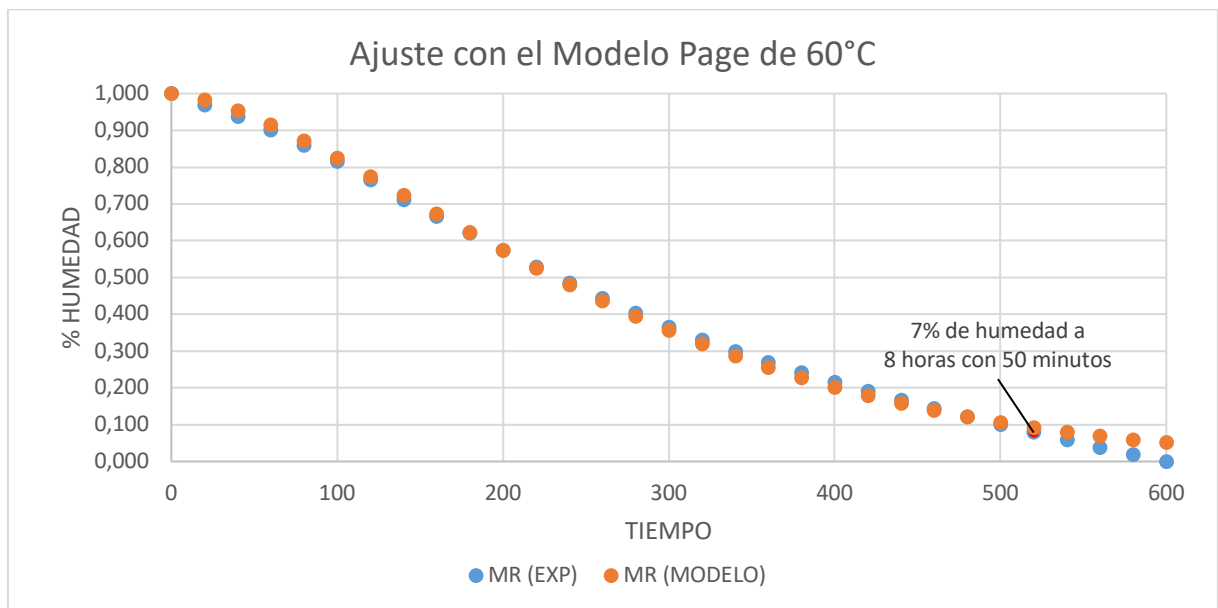


Figura 32. Ajuste con el modelo de Page a 60°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 60°C en un periodo de tiempo total de 520 min en la prueba N°27 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°32**.

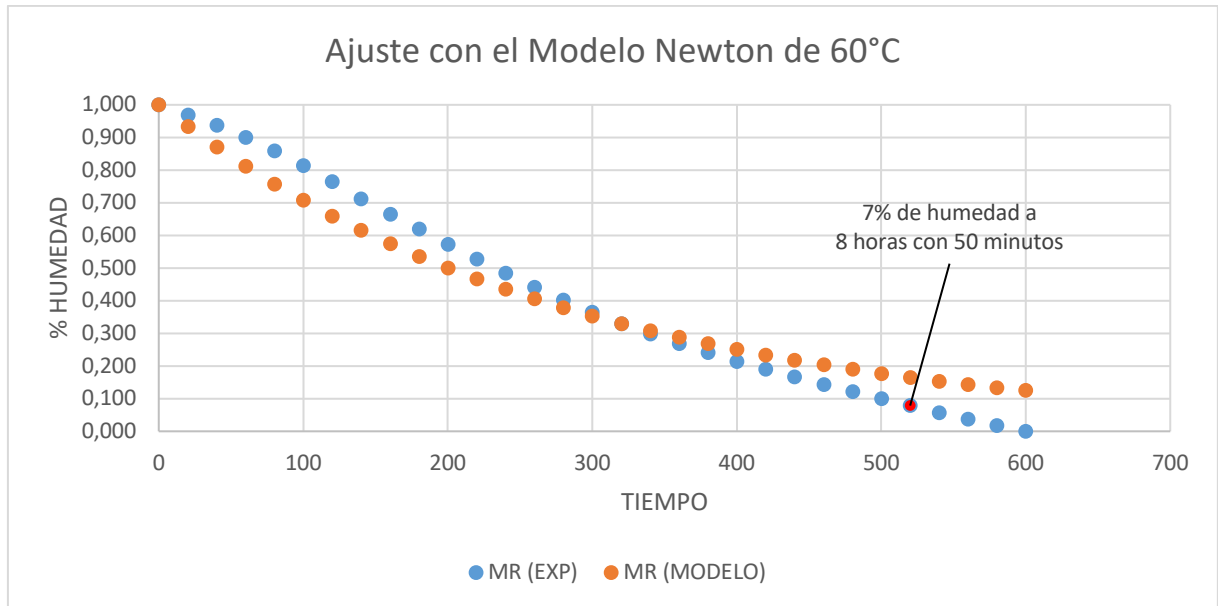


Figura 33. Ajuste con el modelo de Newton a 60°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 60°C en un periodo de tiempo total de 520 min en la prueba N°27 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°33**

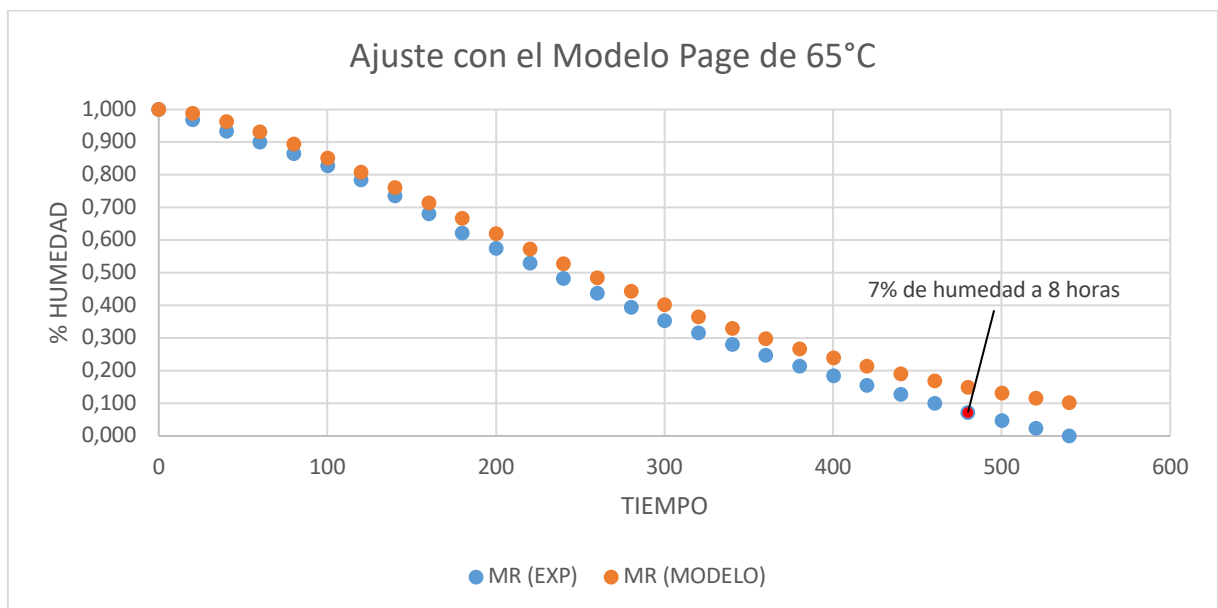


Figura 34. Ajuste con el modelo de Page a 65°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 65°C en un periodo de tiempo total de 480 min en la prueba N°25 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°34**

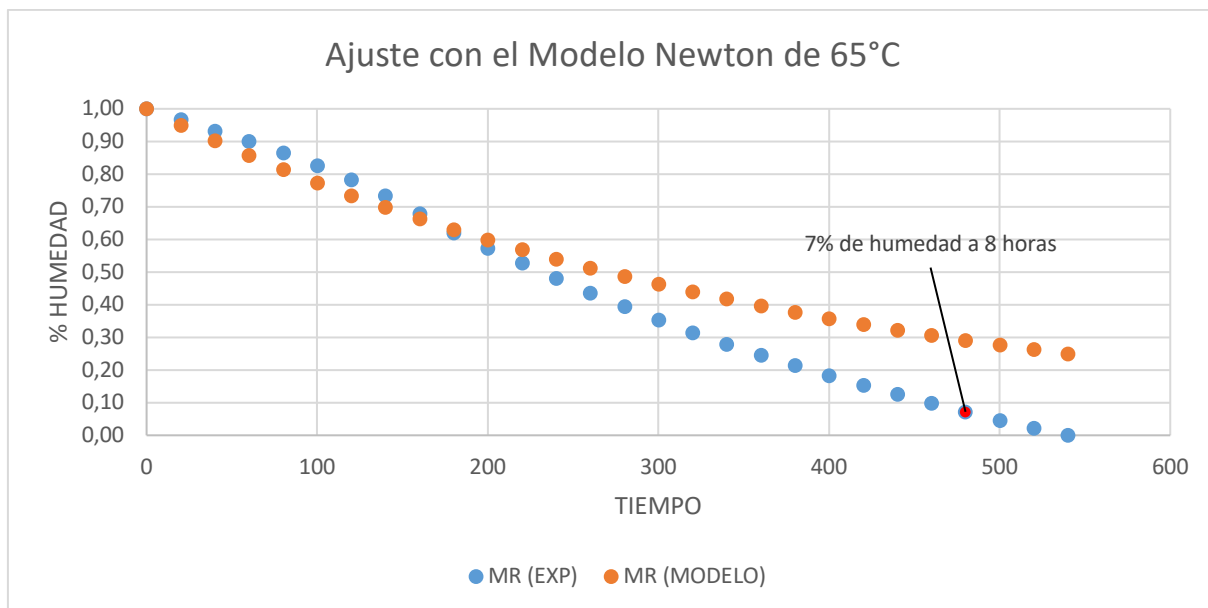


Figura 35. Ajuste con el modelo de Newton a 65°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 65°C en un periodo de tiempo total de 480 min en la prueba N°25 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°35**

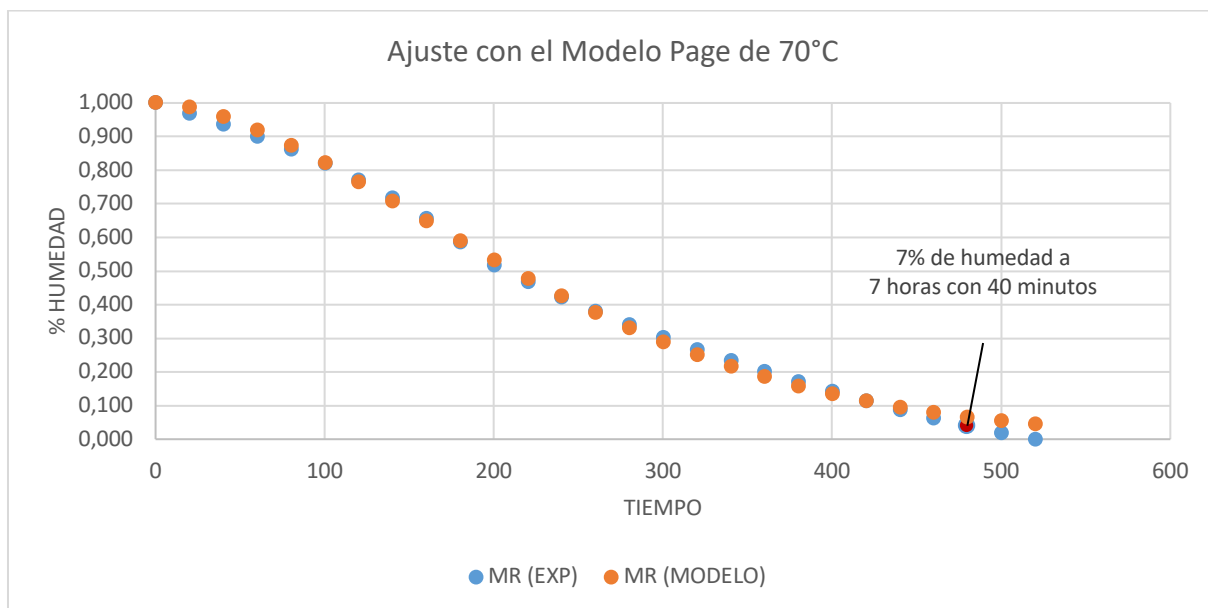


Figura 36. Ajuste con el modelo de Page a 70°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 70°C en un periodo de tiempo total de 460 min en la prueba N°24 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°36**

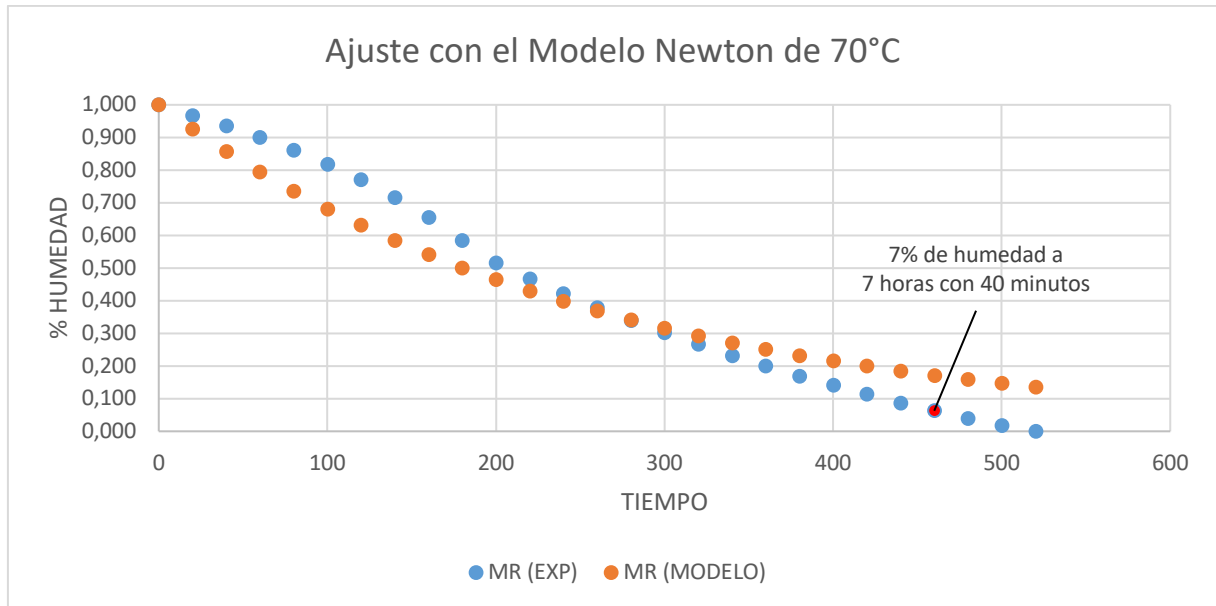


Figura 37. Ajuste con el modelo de Newton a 70°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 70°C en un periodo de tiempo total de 460 min en la prueba N°24 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura N°37**

6.1.1. Evaluación de los modelos de secado

6.1.1.1. Modelo Page

- La constante K en el modelo de Page varía con la temperatura, mostrando una tendencia a incrementar conforme aumenta la temperatura, aunque no de manera lineal. Los valores de N , el exponente de secado, también varían, indicando que el modelo de Page ajusta la cinética de secado de una manera compleja, reflejando la naturaleza no lineal del proceso de secado.
- El error cuadrático medio (SCR) es significativamente menor en el modelo de Page en todas las temperaturas comparadas con el modelo de Newton, lo que sugiere que el modelo de Page proporciona un ajuste más preciso a los datos experimentales en general.

6.1.1.2. Modelo Newton

- En el modelo de Newton, la constante K aumenta con la temperatura, lo cual es consistente con lo esperado según: la literatura {}, dado que la tasa de secado generalmente aumenta con la temperatura.

- Sin embargo, el SCR es mucho mayor en comparación con el modelo de Page en todas las temperaturas, lo que indica que el modelo de Newton, aunque más simple, no capta tan bien la complejidad del proceso de secado del cacao como lo hace el modelo de Page.

6.1.2. Mejor temperatura para el secado

6.1.2.1. Mejor ajuste de los modelos

A 50°C, el modelo de Page muestra el menor valor de SCR (0,00473842), lo que indica que esta temperatura permite el mejor ajuste del modelo a los datos experimentales. De manera similar, en el modelo de Newton, 50°C también ofrece un SCR relativamente bajo (0,108776898) comparado con otras temperaturas, aunque sigue siendo mayor que el de Page.

6.1.2.2. Temperatura óptima para el secado

A partir de estos resultados, se puede concluir que 50°C es la temperatura óptima para el secado del cacao, ya que proporciona un buen equilibrio entre la eficiencia del secado y la precisión en la predicción de la cinética de secado, particularmente cuando se utiliza el modelo de Page.

6.1.3. Margen de Error

6.1.3.1. Modelo Page

El SCR más bajo se observa a 50°C (0,00473842), lo que indica un margen de error muy pequeño, sugiriendo que el modelo de Page es altamente confiable para predecir la cinética de secado del cacao a esta temperatura.

6.1.3.2. Modelo Newton

El SCR en el modelo de Newton es más alto en todas las temperaturas, con el menor valor a 50°C (0,108776898), pero sigue siendo considerablemente mayor que el SCR del modelo de Page. Esto indica que el modelo de Newton tiene un margen de error más grande y, por lo tanto, es menos confiable para predecir con precisión el proceso de secado del cacao.

El análisis de los resultados obtenidos revela que el Modelo de Page es significativamente más adecuado para representar la cinética de secado del cacao que el Modelo de Newton, debido a su menor error cuadrático medio (SCR) y su mejor capacidad para ajustarse a los datos experimentales. La temperatura óptima para el secado se identificó en 50°C, ya que a

esta temperatura se logra el mejor equilibrio entre la eficiencia del proceso y la precisión del modelo, minimizando el margen de error. En particular, el Modelo de Page a 50°C muestra un margen de error considerablemente bajo, lo que lo convierte en la opción más confiable para alcanzar un secado del cacao que sea tanto efectivo como preciso.

6.2. Resultados de secado de Cacao Mejorado CCN-51

La siguiente tabla de datos proporciona valores tales como los resultados de los ajustes en los diferentes rangos de temperatura para el cacao CCN-51, en el modelo de Page y Newton con sus respectivas constantes como lo son: K, N, SCR.

Tabla 7. Modelo de Page y Newton cacao CCN-51

TEMPERATURA	MODELO PAGE	MODELO NEWTON
40°C	K= 0,00034871 N= 1,30942454 SCR= 0,040445371	K= 0,00236587 SCR= 0,147314355
45°C	K= 0,00053117 N= 1,25662264 SCR= 0,02605877	K= 0,00254013 SCR= 0,09635989
50°C	K= 0,00073068 N= 1,24566821 SCR= 0,01056766	K= 0,00312952 SCR= 0,07001561
55°C	K= 0,00145396 N= 1,13793018 SCR= 0,03873777	K= 0,003275 SCR= 0,0586238
60°C	K= 0,00170294 N= 1,10794097 SCR= 0,028429077	K= 0,00320798 SCR= 0,039681038
65°C	K= 0,00162116 N= 1,20779895 SCR= 0,018684428	K= 0,0053 SCR= 0,050445556
70°C	K= 0,00084838 N= 1,3220223 SCR= 0,009007139	K= 0,00481858 SCR= 0,058510749

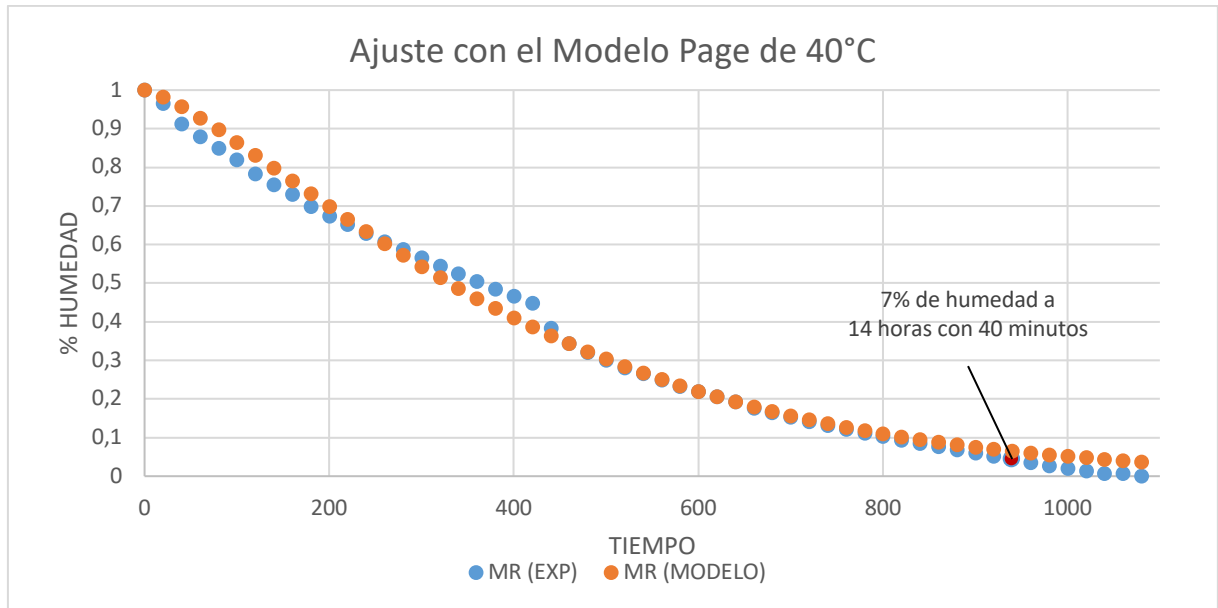


Figura 38. Ajuste con el modelo Page a 40°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 40°C en un periodo de tiempo total de 920 min en la prueba N°47 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 38**

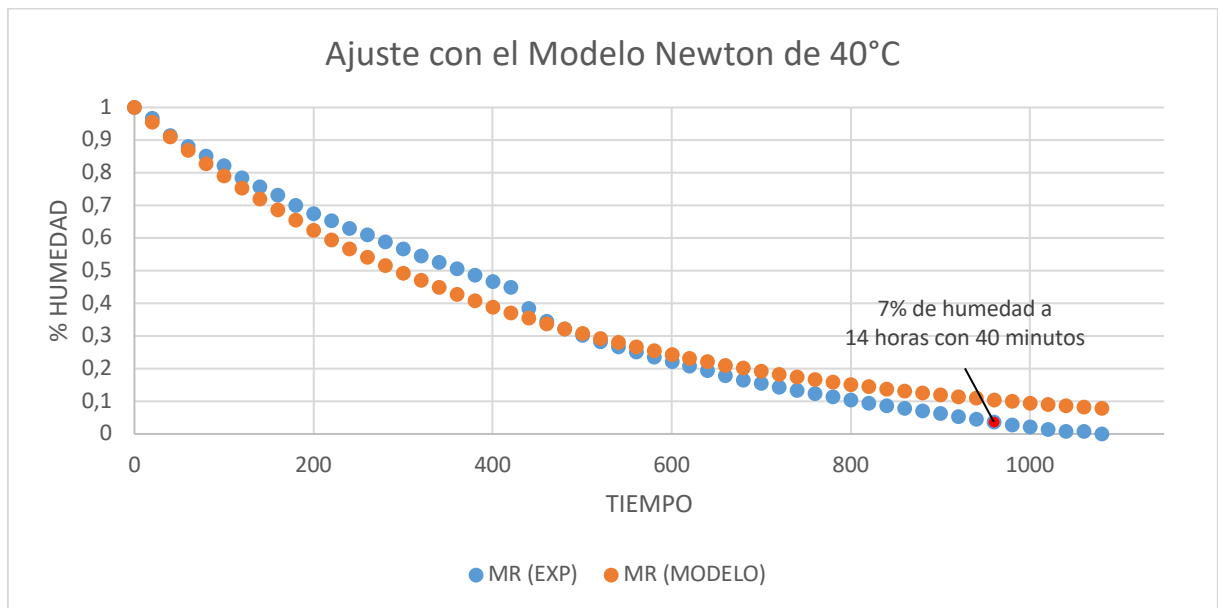


Figura 39. Ajuste con el modelo de Newton a 40°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 40°C en un periodo de tiempo total de 920 min en la prueba N°47 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 39**

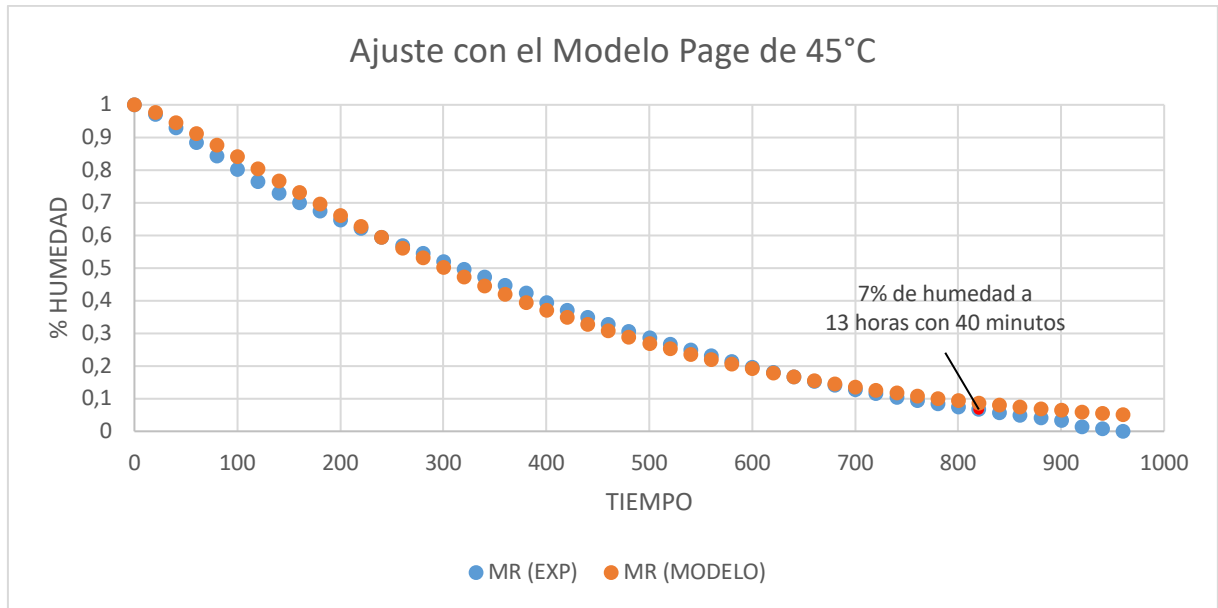


Figura 40. Ajuste con el modelo de Page a 45°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 45°C en un periodo de tiempo total de 820 min en la prueba N°42 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 40**

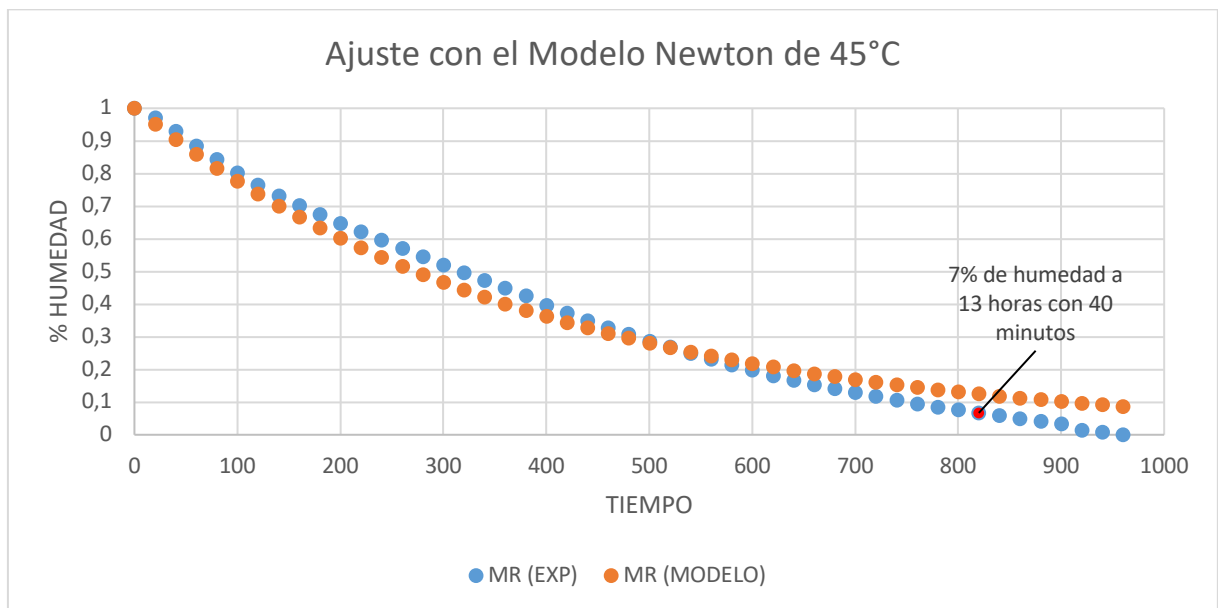


Figura 41. Ajuste con el modelo de Newton a 45°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 45°C en un periodo de tiempo total de 820 min en la prueba N°42 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 41**

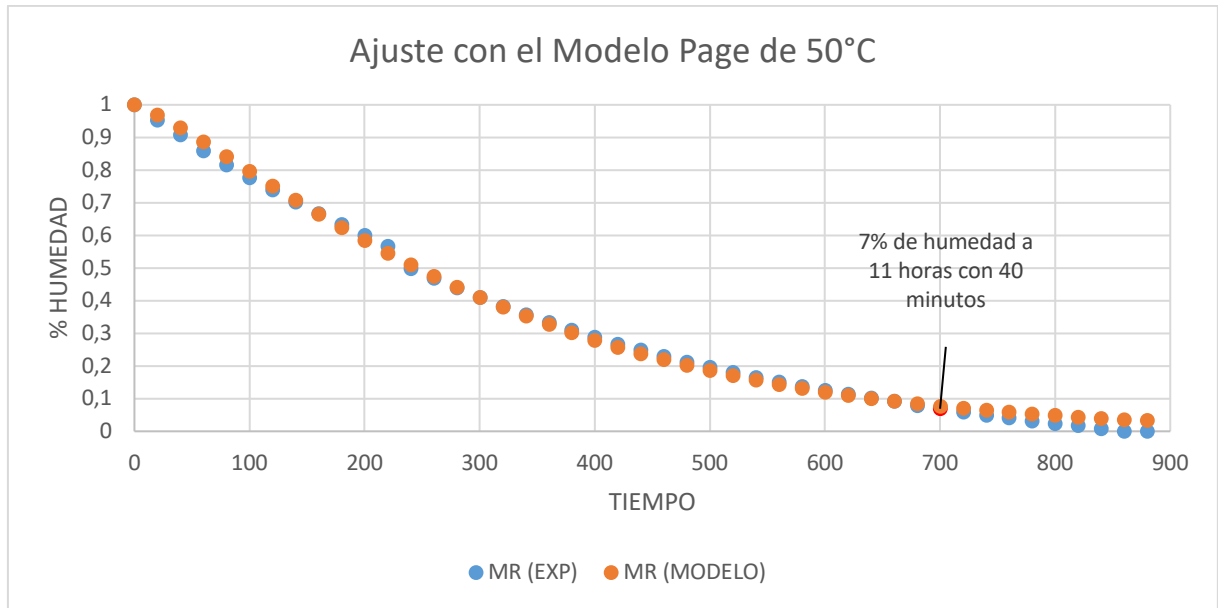


Figura 42. Ajuste con el modelo de Page a 50°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 50°C en un periodo de tiempo total de 700 min en la prueba N°36 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 42**

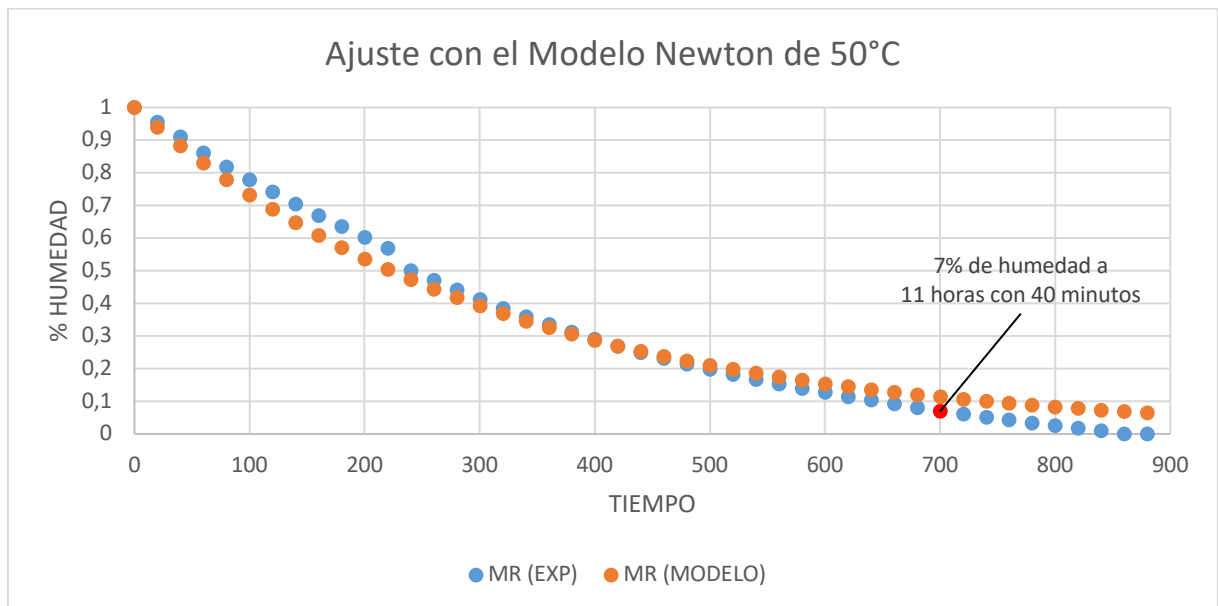


Figura 43. Ajuste con el modelo de Newton a 50°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 50°C en un periodo de tiempo total de 700 min en la prueba N°36 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 43**

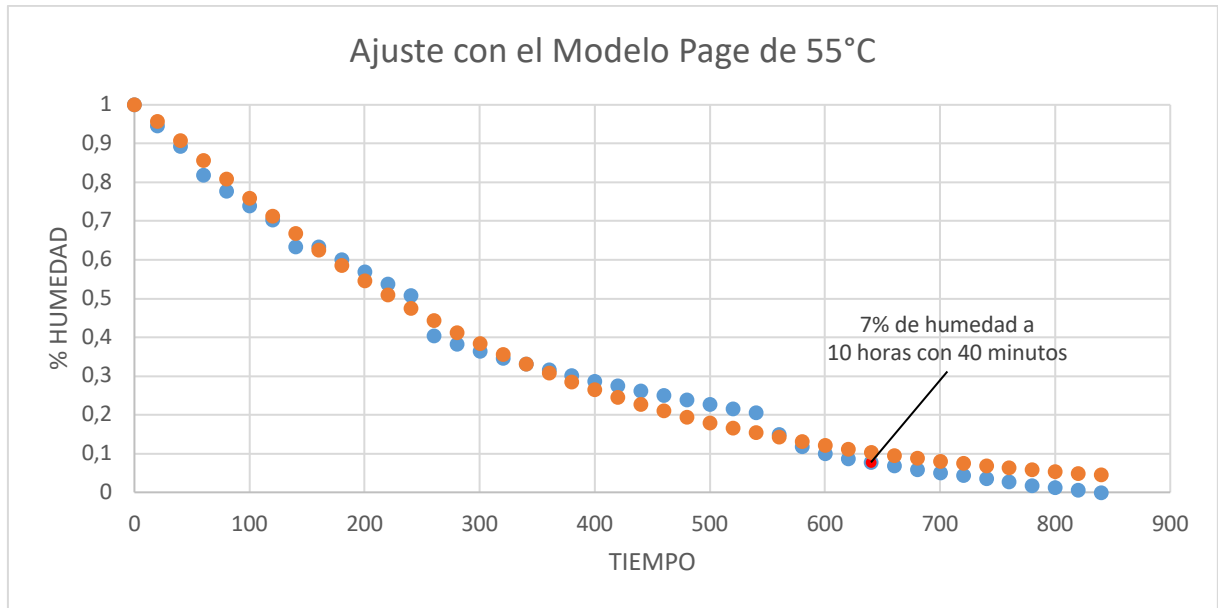


Figura 44. Ajuste con el modelo de Page a 55°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 55°C en un periodo de tiempo total de 660 min en la prueba N°34 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 44**

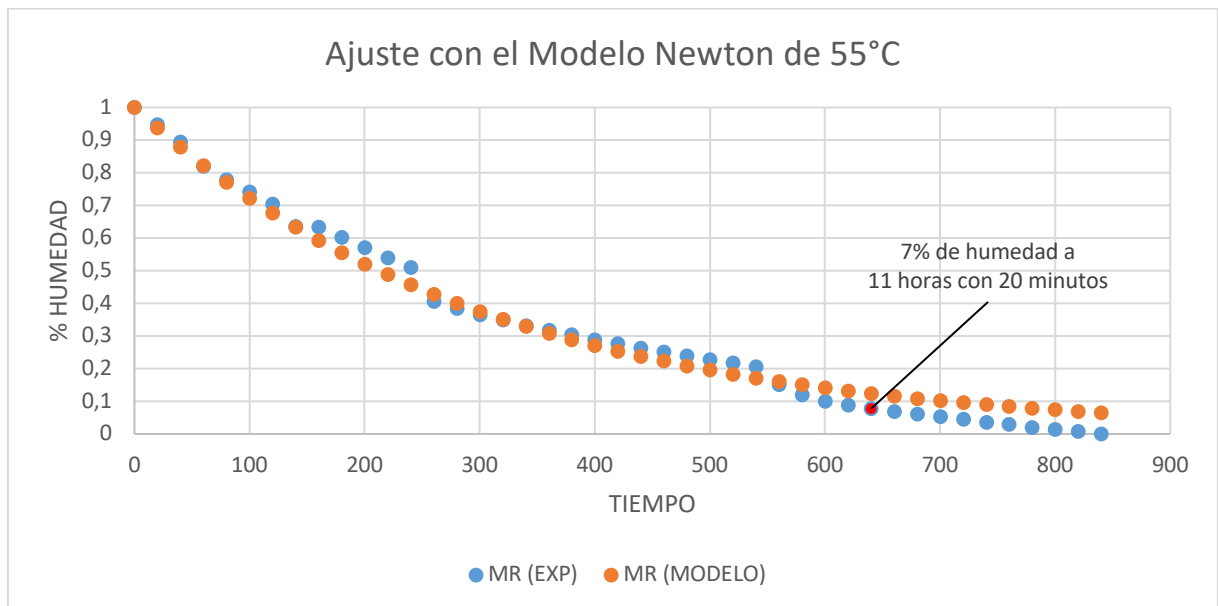


Figura 45. Ajuste con el modelo de Newton a 55°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 55°C en un periodo de tiempo total de 660 min en la prueba N°34 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 45**

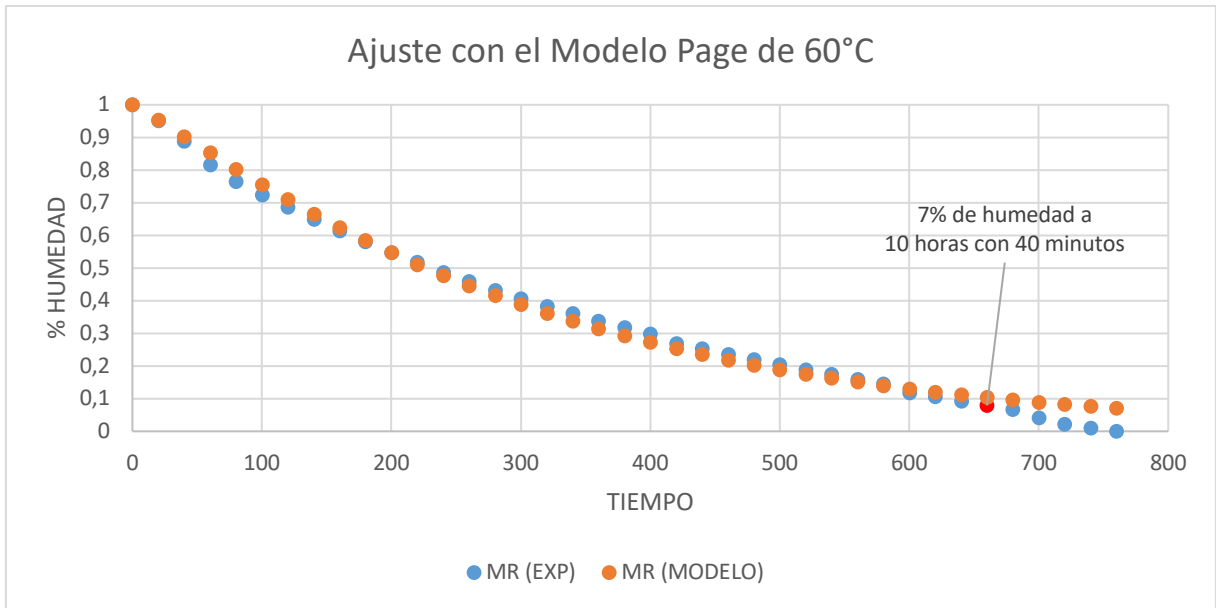


Figura 46. Ajuste con el modelo de Page a 60°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 60°C en un periodo de tiempo total de 660 min en la prueba N°34 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 46**

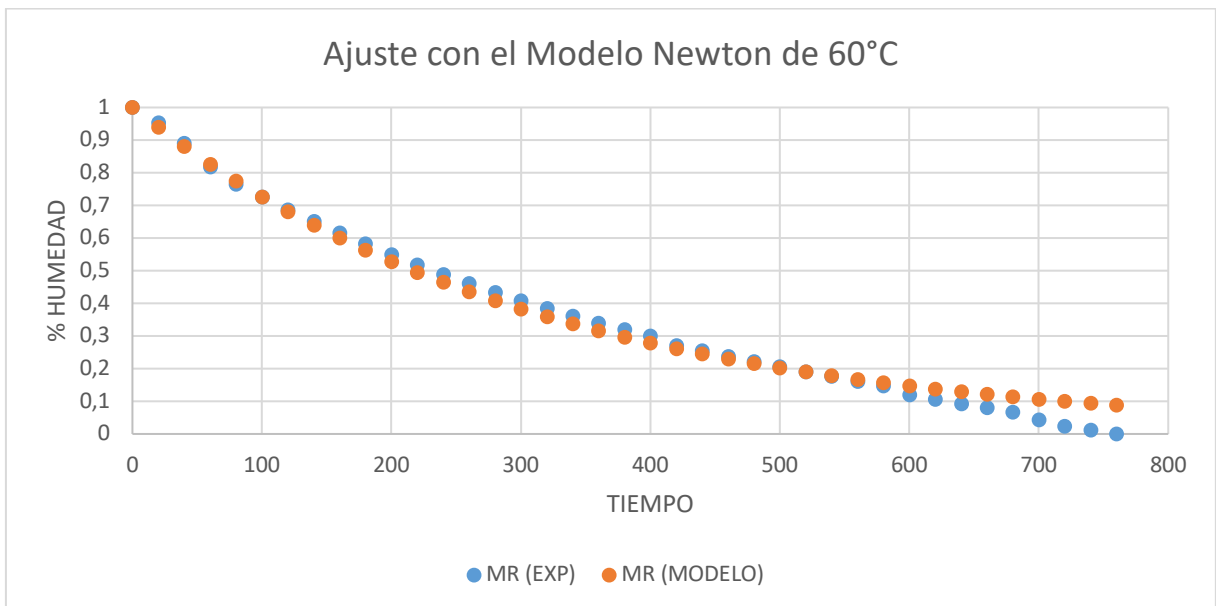


Figura 47. Ajuste con el modelo de Newton

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 60°C en un periodo de tiempo total de 660 min en la prueba N°34 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 47**

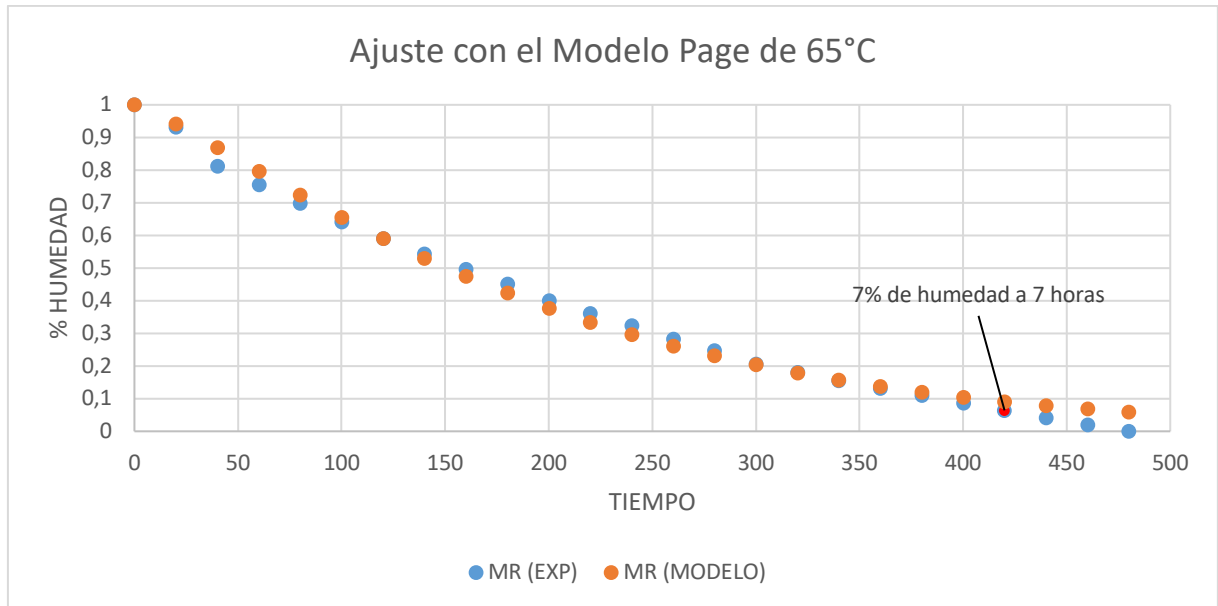


Figura 48. Ajuste con el modelo de Page a 65°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 65°C en un periodo de tiempo total de 420 min en la prueba N°22 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 48**

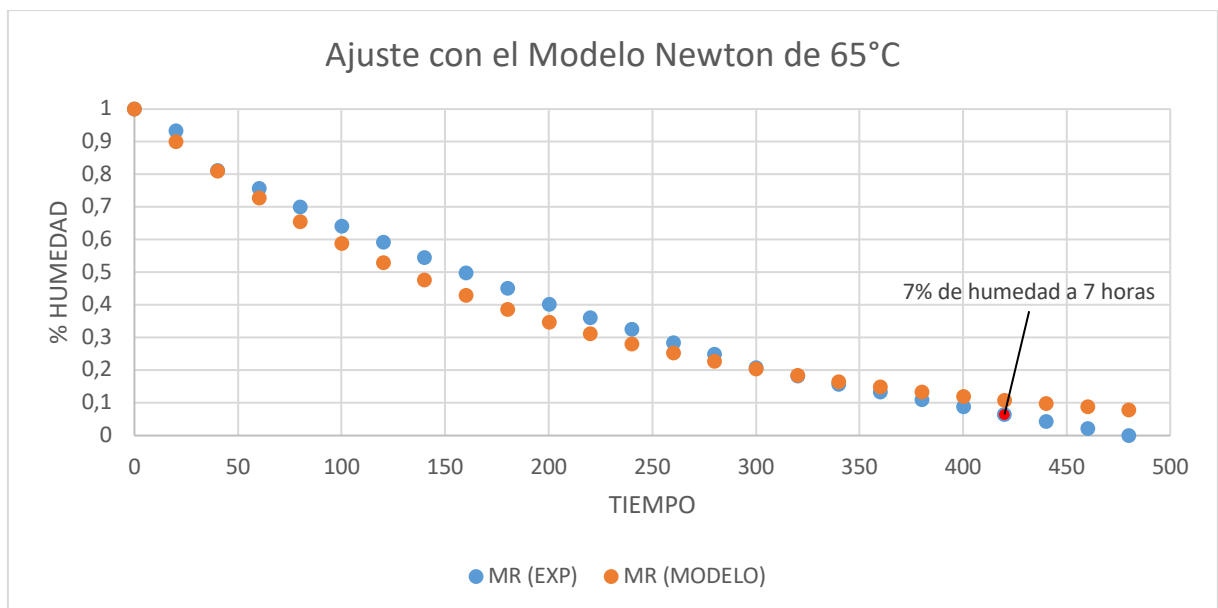


Figura 49. Ajuste con el modelo de Newton a 65°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 65°C en un periodo de tiempo total de 420 min en la prueba N°22 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 49**

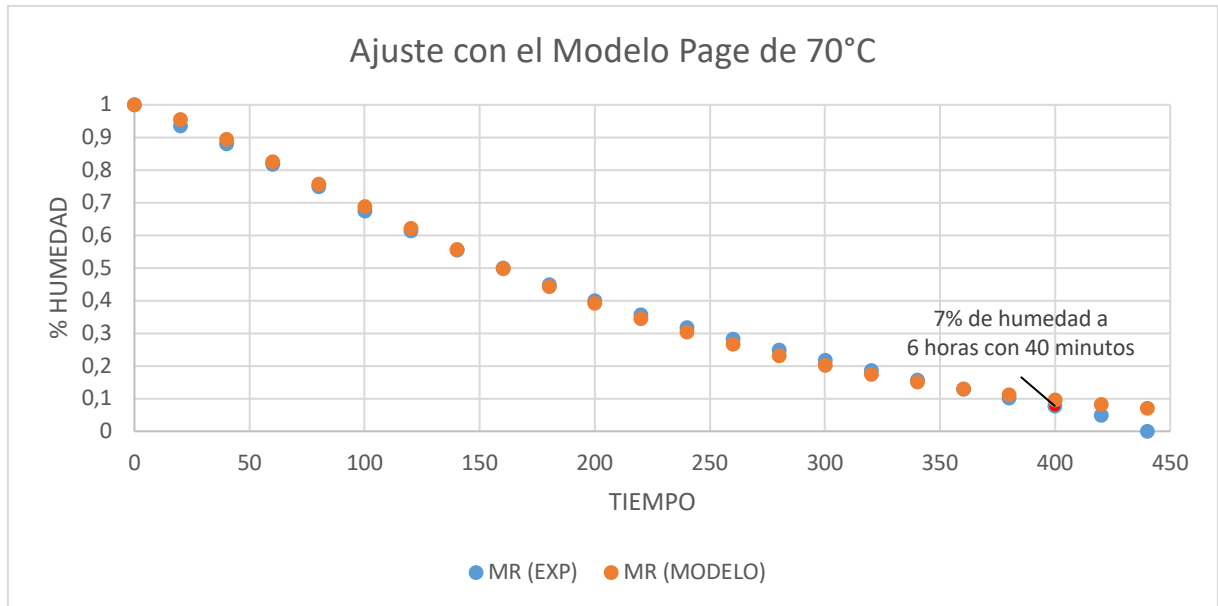


Figura 50. Ajuste con el modelo de Page a 70°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 70°C en un periodo de tiempo total de 400 min en la prueba N°21 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 50**

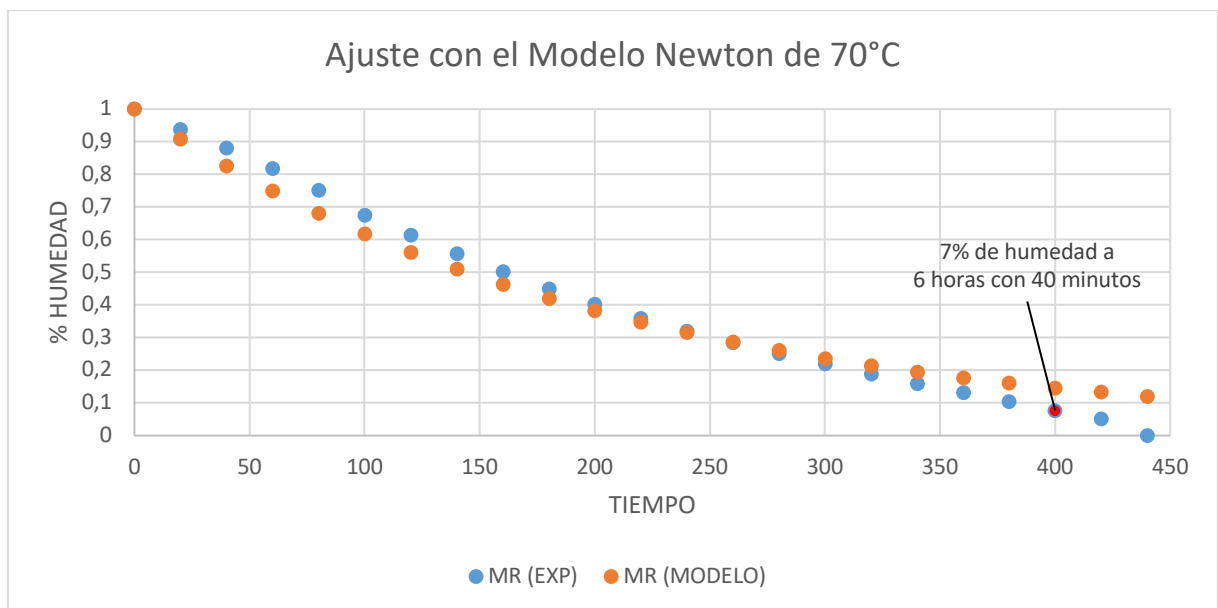


Figura 51. Ajuste con el modelo de Newton a 70°C

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba realizada a 70°C en un periodo de tiempo total de 400 min en la prueba N°21 se logró obtener un contenido de humedad del 7% y tomando en cuenta que la prueba se realizó con éxito como se muestra en **la figura 50**

6.2.1. Evaluación de los modelos de secado

6.2.1.1. Modelo de Page

En este modelo, la constante K aumenta con la temperatura, reflejando un incremento en la velocidad de secado. El exponente N varía ligeramente, lo que sugiere que el modelo de Page captura la complejidad del proceso de secado de manera más efectiva que el modelo de Newton.

El SCR es consistentemente más bajo en el modelo de Page en comparación con el modelo de Newton, lo que indica que el modelo de Page se ajusta mejor a los datos experimentales en todas las temperaturas.

6.2.1.2. Modelo de Newton

El modelo de Newton también muestra un aumento en la constante K con la temperatura, pero presenta un mayor SCR en comparación con el modelo de Page, lo que indica una menor precisión en el ajuste del modelo a los datos experimentales.

6.2.2. Mejor temperatura para el secado

La temperatura de 50°C se destaca como la óptima para el secado del cacao, ya que el modelo de Page presenta su SCR más bajo (0,01056766) en esta temperatura. Además, el modelo de Newton también muestra un SCR relativamente bajo a 50°C en comparación con otras temperaturas, aunque sigue siendo mayor que el de Page.

6.2.3. Análisis del margen de error

- El modelo de Page a 50°C tiene el menor SCR, lo que corresponde a un margen de error reducido, haciendo de este modelo y temperatura la combinación más confiable para predecir la cinética de secado del cacao.
- Comparativamente, el modelo de Newton presenta un SCR más alto a 50°C (0,07001561), lo que indica un margen de error mayor y, por tanto, una menor precisión en la predicción.

El análisis comparativo entre los modelos de Page y Newton para describir la cinética de secado del cacao revela que el Modelo de Page se destaca como la opción más precisa y confiable. Esto se debe a su capacidad superior para ajustarse a los datos experimentales, reflejando un margen de error significativamente menor. En cuanto a la temperatura óptima

para el proceso, 50°C emerge como la elección ideal, ya que este rango no solo maximiza la precisión del modelo, sino que también asegura un secado eficaz. En particular, el margen de error más bajo registrado a 50°C con el Modelo de Page subraya su idoneidad para llevar a cabo un secado del cacao que sea tanto preciso como eficiente.

Nacional: Esta variedad presenta una cinética de secado más lenta en comparación con el CCN-51, lo que sugiere una estructura física más densa. Los modelos utilizados muestran valores de la constante de secado K generalmente más bajos, lo que indica que el proceso de eliminación de la humedad es más prolongado.

CCN-51: El CCN-51, con una estructura física menos densa, muestra una tasa de secado más rápida, lo cual se refleja en valores de K más altos en ambos modelos (Page y Newton). Esta variedad de cacao es más eficiente en términos de tiempo de secado, lo que puede resultar ventajoso en procesos industriales donde la eficiencia es clave.

Temperatura Óptima: En ambas variedades, la temperatura de 50°C es la más efectiva para el secado del cacao. En esta temperatura, el modelo de Page muestra el menor error cuadrático medio (SCR), lo que indica un mejor ajuste y, por lo tanto, mayor precisión en la predicción del secado. En el caso del CCN-51, esta temperatura también resulta en un equilibrio óptimo entre velocidad de secado final del grano.

Modelo de Page: El margen de error más bajo se observa en el modelo de Page a 50°C, con un SCR de 0,00473842 en la variedad CCN-51 y 0,01056766 en la variedad Nacional. Esto sugiere que el modelo de Page es el más confiable para predecir la cinética de secado, especialmente a esta temperatura.

Modelo de Newton: Aunque el modelo de Newton es más simple, su SCR es consistentemente más alto en comparación con el modelo de Page, lo que indica una menor precisión en el ajuste. A 50°C, el SCR para el CCN-51 es 0,108776898, y para el Nacional es 0,07001561, lo que demuestra que el modelo de Newton tiene un margen de error más amplio.

6.3. Costos de implementación de la cinética del cacao

6.3.1. Presupuestos

A continuación, se presentara el costo total, que incluirá los materiales, equipos y presupuestos necesarios. Todo esto se relacionará con el análisis financiero para llevar a cabo el estudio de la cinética de secado del cacao nacional ecuatoriano y CCN-51. Este desglose

ayudará a comprender mejor la inversión requerida para ejecutar el proyecto de manera eficiente y asegurar su viabilidad económica.

6.3.2. Costo total

Gastos relacionados con equipos y materiales utilizados para el análisis de la cinética del secado de cacao nacional ecuatoriano y mejorado ccn-51.

Tabla 8. Costos total de la cinética de cacao

PRESUPUESTOS PARA LA ELABORACIÓN			
Equipos, Materiales y Recursos	Cantidad	Valor Unitario \$	Valor Total \$
Analizador de Humedad	1	550	\$ 550
Medidor de humedad	1	260	\$ 260
Cajón para la fermentación	2	35	\$ 70
Transporte	2	100	\$ 200
Alimentación	4	3,50	\$ 14
Quintal de cacao CCN-51/ nacional	4	45	\$ 180
Trabajo horas hombre	94h	20	\$ 1.880
Total			\$ 3.154

7. CONCLUSIONES Y RECOMENTACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- El secado del cacao es un proceso esencial basado en la transferencia de calor y masa, donde la eliminación de la humedad es crucial para mantener el grano. Están influenciadas por factores como la temperatura, la velocidad del aire y las características físicas del cacao, como su porosidad y tamaño, estos principios son vital para diseñar métodos de secado que optimicen el tiempo de procesamiento.
- Para el ajuste de los resultados experimentales se utilizaron los modelos de Page y Newton. Se recomienda una temperatura de secado de 50°C con los siguientes coeficientes: Para el cacao CCN-51, el modelo de Page; $K= 0,00073068$, $N= 1,24566821$, con un error cuadrático medio de $SCR= 0,01056766$; En el Modelo de Newton, $K= 0,00312952$, con un error cuadrático medio de $SCR= 0,07001561$; Y para el cacao nacional, $K= 0,0001868$, $N= 1,37343283$ y con un error cuadrático medio de

$SCR = 0,00473842$; En el Modelo de Newton, $K = 0,00186451$ y con un error cuadrático medio de $SCR = 0,108776898$.

- El análisis comparativo entre las variedades revela que el CCN-51, gracias a su estructura menos densa, se seca más rápido que el Nacional. Controlando factores como la temperatura y el tiempo, se ha identificado que $50^{\circ}C$ es la temperatura óptima para ambas variedades, equilibrando tiempo de secado. El Modelo de Page a esta temperatura ofrece el menor margen de error, siendo el método más confiable para predecir la cinética de secado en ambas variedades, superando al modelo de Newton en precisión.

7.2. RECOMENDACIONES

- Recomendamos que se realicen más pruebas con los demás métodos de secado, como son Henderson, Logarítmico y Midilli para comparar la eficiencia de estos métodos con el analizador de humedad. Esto proporcionará una visión más completa sobre la aplicabilidad de cada método en diversas condiciones climáticas y económicas.
- Recomendamos que sería mejor implementar un monitoreo en tiempo real para el contenido de humedad y temperatura interna del grano durante el secado. Esto permitiría ajustes dinámicos en el proceso, mejorando la precisión y eficiencia del secado.
- Recomendamos que durante las primeras horas se realicen mediciones cada 3 a 5 minutos durante la primera hora ya que es cuando se produce la mayor cantidad de pérdida de humedad. Para las horas intermedias aumenta los intervalos de 10 a 15 minutos cuando notes que la tasa de secado comience a disminuir. Y la fase final en donde el contenido de humedad se acerca al punto de equilibrio se puede aumentar los intervalos a 20 minutos o más dependiendo de la estabilidad de los resultados.

8. REFERENCIAS

- [1] S. Streule, S. Freimüller Leischtfeld, M. Galler, D. Motzer, M. Poulouse-Züst, y S. Miescher Schwenninger, «Variations in Ecuadorian Cocoa Fermentation and Drying at Two Locations: Implications for Quality and Sensory», *Foods*, vol. 13, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2024, doi: 10.3390/foods13010137.
- [2] E. Ackah y E. Dompey, «Effects of fermentation and drying durations on the quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans during the rainy season in the Juaboso District of the Western-North Region, Ghana», *Bull. Natl. Res. Cent.*, vol. 45, n.º 1, p. 175, oct. 2021, doi: 10.1186/s42269-021-00634-7.
- [3] A. Avadí, «Environmental assessment of the Ecuadorian cocoa value chain with statistics-based LCA», *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 28, n.º 11, pp. 1495-1515, nov. 2023, doi: 10.1007/s11367-023-02142-4.
- [4] «Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC) · Av. Simón Rodríguez, Latacunga», Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC) · Av. Simón Rodríguez, Latacunga. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.google.com/maps/place/Universidad+T%C3%A9cnica+de+Cotopaxi+\(UTC\)/@-0.9181717,-78.6320558,18z/data=!4m6!3m5!1s0x91d460483c1c1a3b:0x694a140aab02b1c!8m2!3d-0.9179088!4d-78.6329858!16s%2Fg%2F11cnb0c31c?authuser=0&entry=ttu](https://www.google.com/maps/place/Universidad+T%C3%A9cnica+de+Cotopaxi+(UTC)/@-0.9181717,-78.6320558,18z/data=!4m6!3m5!1s0x91d460483c1c1a3b:0x694a140aab02b1c!8m2!3d-0.9179088!4d-78.6329858!16s%2Fg%2F11cnb0c31c?authuser=0&entry=ttu)
- [5] S. Magazine y M. Solly, «Cacao Was First Cultivated in South America, Not Mexico and Central America», *Smithsonian Magazine*. Accedido: 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/cacao-was-first-cultivated-south-america-not-mexico-and-central-america-180970663/>
- [6] M. T. Montagna *et al.*, «Chocolate, “Food of the Gods”: History, Science, and Human Health», *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, n.º 24, Art. n.º 24, ene. 2019, doi: 10.3390/ijerph16244960.
- [7] C. Magazine, «The History of Chocolate: A Timeline», *ReadCacao*. Accedido: 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://readcacao.com/history-of-chocolate-timeline/>
- [8] «Chocolate | Definition, History, Types, Production, & Facts | Britannica». Accedido: 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.britannica.com/topic/chocolate>
- [9] «Cocoa | Description, History, Processing, & Products | Britannica». Accedido: 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.britannica.com/topic/cocoa-food>
- [10] «Full Coffee Roast: Coffee Brewing Tips, Reviews And News». Accedido: 19 de julio

de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://fullcoffeeroast.com/>

[11] «CocoTerra - World's first personal chocolate maker». Accedido: 19 de julio de 2024.

[En línea]. Disponible en: <https://www.cocoterra.com/>

[12] «Nacional Cacao: The Return of a Legend», The Jungle. Accedido: 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.spicejungle.com/the-jungle/nacional-cacao>

[13] «Arriba Nacional Cacao: The Pride of Ecuador», Cacao Laboratory. Accedido: 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cacaolaboratory.com/blogs/news/arriba-nacional-the-pride-of-ecuador>

[14] V. Ceccarelli *et al.*, «Vulnerability to climate change of cultivated and wild cacao in Ecuador», *Clim. Change*, vol. 177, n.º 7, p. 103, jun. 2024, doi: 10.1007/s10584-024-03756-9.

[15] E. J. Boza *et al.*, «Genetic Characterization of the Cacao Cultivar CCN 51: Its Impact and Significance on Global Cacao Improvement and Production», *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, vol. 139, n.º 2, pp. 219-229, mar. 2014, doi: 10.21273/JASHS.139.2.219.

[16] «Publication : USDA ARS». Accedido: 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=297873>

[17] R. E. Jaimez *et al.*, «Theobroma cacao L. cultivar CCN 51: a comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects», *PeerJ*, vol. 10, p. e12676, ene. 2022, doi: 10.7717/peerj.12676.

[18] «Processing Cocoa», International Cocoa Organization. Accedido: 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.icco.org/processing-cocoa/>

[19] E. D. S.A Grupo Ediasa, «Incursionan en la siembra de cacao CNN51», El Diario Ecuador. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/451835-incursionan-en-la-siembra-de-cacao-cnn51/>

[20] «Agrolaya – Somos una empresa que facilita la interacción entre el agricultor ecuatoriano y la industria nacional y extranjera, siendo un punto de consolidación donde se acopia los productos provenientes del campo.» Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.agrolaya.com/>

[21] CocoTerra, «Stages of cocoa fermentation». Accedido: 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.cocoterra.com/stages-of-cocoa-fermentation/>

[22] «Descargar El proceso de fermentación de granos de cacao frescos en un tanque. gratis», Vecteezy. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.vecteezy.com/foto/3187517-el-proceso-de-fermentacion-de-cacao-fresco-en-un->

tanque

[23] B. Hirko, H. Mitiku, y A. Getu, «Role of fermentation and microbes in cacao fermentation and their impact on cacao quality», *Syst. Microbiol. Biomanufacturing*, vol. 3, n.º 4, pp. 509-520, oct. 2023, doi: 10.1007/s43393-023-00160-9.

[24] J. Nogales, «ETAPAS DE LA FERMENTACIÓN DEL CACAO - FORMACIÓN DE PRECURSORES DE AROMA Y SABOR.», Poscosecha Cacao. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://poscosechacacao.com/2021/02/etapas-de-la-fermentacion-del-cacao-formacion-de-precursores-de-aroma-y-sabor/>

[25] Javierecalderon@gmail.com, «¡Vamos a Fermentar!: Fermentación del cacao», ¡Vamos a Fermentar! Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://fermentandoyaprendiendo.blogspot.com/2012/02/fermentacion-del-cacao.html>

[26] D. S. Nielsen, M. Crafacck, L. Jespersen, y M. Jakobsen, «The Microbiology of Cocoa Fermentation», en *Chocolate in Health and Nutrition*, R. R. Watson, V. R. Preedy, y S. Zibadi, Eds., Totowa, NJ: Humana Press, 2013, pp. 39-60. doi: 10.1007/978-1-61779-803-0_4.

[27] «La fermentación del cacao.» Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/la-fermentaci%C3%B3n-del-cacao-jairo-nogales>

[28] ismael.garcia, «Realizan pruebas de fermentación y secado del cacao». Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://utp.ac.pa/realizan-pruebas-de-fermentacion-y-secado-del-cacao>

[29] J. Nogales, «ETAPAS DE LA FERMENTACIÓN DEL CACAO - FORMACIÓN DE PRECURSORES DE AROMA Y SABOR.», Poscosecha Cacao. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://poscosechacacao.com/2021/02/etapas-de-la-fermentacion-del-cacao-formacion-de-precursores-de-aroma-y-sabor/>

[30] «El secado», Öko-Caribe. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://oko-caribe.com/2012/10/19/el-secado/>

[31] T. R. F. Sinuhaji, S. Suherman, y H. Hadiyanto, «A Systematic Literature Review of The Drying of Cocoa In 2003-2023», *Food Humanity*, p. 100347, jul. 2024, doi: 10.1016/j.foohum.2024.100347.

[32] «Los granos de cacao secándose al sol», 123RF. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.123rf.com/photo_50504437_losgranos-de-cacao-secándose-al-sol.html

[33] «Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano fermentado de cacao», *Agron.*

Trop., vol. 54, n.º 1, pp. 31-43, ene. 2004.

[34] «Aplicación de la energía solar: innovación en el secado del cacao». Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ennomotive.com/es/aplicacion-energia-solar-innovacion-secado-cacao>

[35] J. Guevara, «Explicación Paso a Paso: La Cosecha y El Procesamiento del Cacao», Perfect Daily Grind Español. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://perfectdailygrind.com/es/2018/03/06/explicacion-paso-paso-la-cosecha-y-el-procesamiento-del-cacao/>

[36] «Secadora SIRCA con Intercambiador de Calor – Maquinaria Agroindustrial SIRCA». Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sircaecuador.com/productos/secadora-sirca-con-intercambiador-de-calor/>

[37] J. Orna, N. Chuquín, L. Saquina, y O. Cueva, «Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg», *Enfoque UTE*, vol. 9, n.º 2, pp. 159-174, 2018.

[38] «SECADORAS Y TECNOLOGÍA PARA CACAO», Dinattek (El Amigo del Productor). Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dinatek.ec/producto/secadora-y-tecnologia-para-cacao/>

[39] C. D. Di Mattia, G. Sacchetti, D. Mastrocola, y M. Serafini, «From Cocoa to Chocolate: The Impact of Processing on In Vitro Antioxidant Activity and the Effects of Chocolate on Antioxidant Markers In Vivo», *Front. Immunol.*, vol. 8, sep. 2017, doi: 10.3389/fimmu.2017.01207.

[40] J. Nogales, «EL TOSTADO DE GRANOS DE CACAO PARA ELABORAR CHOCOLATE.», Poscosecha Cacao. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://poscosechacacao.com/2021/02/el-tostado-de-granos-de-cacao-para-elaborar-chocolate/>

[41] O.-W. Achaw y E. Danso-Boateng, «Cocoa Processing and Chocolate Manufacture», en *Chemical and Process Industries: With Examples of Industries in Ghana*, O.-W. Achaw y E. Danso-Boateng, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 267-292. doi: 10.1007/978-3-030-79139-1_10.

[42] «Trituradora de Granos De Cacao - Cocoa Cracker», Cacao Venezuela Delta. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cacaovenezueladelta.com/producto/trituradora-granos-de-cacao-cocoa-cracker/>

[43] *Rito l Chocolatería & Tienda*. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea Video].

Disponible en: <https://hi-in.facebook.com/RitoChocolateria/posts/iniciamos-el-lunes-con-una-molienda-de-chocolaterecuerda-que-que-tenemos-10-de-d/996977740743647/>

[44] «Cacao archivos - Página 2 de 2», Helen Chocolate. Accedido: 18 de agosto de 2024.

[En línea]. Disponible en: <https://helenchocolate.es/Tema/cacao/>

[45] «Todo lo que debes saber sobre el templado de chocolate». Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.citala.com/blogs/noticias/todo-lo-que-debes-saber-sobre-el-templado-de-chocolate>

[46] P. J. Sahadeo, D. Sukha, X. T. Chadee, P. Umaharan, y Ricardo. M. Clarke, «Assessing mathematical models for the intermittent drying of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans», *Discov. Appl. Sci.*, vol. 6, n.º 8, p. 435, ago. 2024, doi: 10.1007/s42452-024-06134-3.

[47] «Moisture Analyzer [50g-180g]», RUIZHAN. Accedido: 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ruishanlab.com/collections/moisture-analyzer-120g-180g>

[48] «RUIZHAN Analizador de humedad de laboratorio de calefacción halógena de 120 g x 0,001 g para prueba de humedad rápida 0,02 % legibilidad de 180 °C visualización táctil equilibra la humedad, diseño compacto, 3 modos de secado con puertos USB y RS232, 110 V : Amazon.com.mx: Industria, Empresas y Ciencia». Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.com.mx/RUIZHAN-Analizador-legibilidad-laboratorio-gravim%C3%A9trico/dp/B0C5MWFBVS>

[49] «Medidor de humedad absoluta de grano PCE-GMM 10 | PCE Instruments». Accedido: 11 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/medidor-de-humedad-absoluta-pce-instruments-medidor-de-humedad-absoluta-de-grano-pce-gmm-10-det_5929463.htm

[50] «MEDIDOR DE HUMEDAD PARA 17 GRANOS – Importadora Atenea». Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.importadoraatenea.com/product/medidor-de-humedad-para-17-granos/>

[51] D. Martinez, L. Mosquera, S. Arias, D. Jimenez, S. Lopez, y A. Osorio Alturo, *Modelamiento de la operación unitaria de deshidratación bajo diferentes esquemas de secado*. 2015. doi: 10.13140/RG.2.1.1365.9607.

ANEXOS

CERTIFICADO DE INFORME DE SIMILITUD

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica con el tema: “ANÁLISIS DE CINÉTICA DE SECADO DE CACA O NACIONAL ECUATORIANO Y CCN-51”, de **ARMIJO MARTINEZ JORGE IVAN** y **NAVARRETE PROAÑO DANIEL ANDRES** de la carrera de Ingeniería Electromecánica, remito la captura de pantalla del reposte del sistema de reconocimiento de texto Compilatio, con un porcentaje de coincidencia del 1%; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

Resumen		
Fragmentos marcados	9	1 %
Fragmentos citados o entrecorridos	3	0,7 %
Coincidencias de la Web		
utc.edu.ec	7	1 %
tianlienergy.com	2	0,3 %
senescyt.gob.ec	1	0,1 %
fhia.org.hn	1	0,1 %
artekao.com.ve	1	0,1 %

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Latacunga, 19 agosto del 2024



.....
PhD. ING Enrique Torres Tamayo

C.C.: 175712194-0

TUTOR

9.1. ANEXO 2 PRIMERA HOJA DE INFORME

21/8/24, 2:26 p.m.

TRABAJOS DE TITULACIÓN 2424

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO
TESIS 2424

NOMBRE DEL ALUMNO
DANIEL ANDRES NAVARRETE PROA

NOMBRE DEL ARCHIVO
DANIEL ANDRES NAVARRETE PROA - TRABAJOS DE TITULACIÓN 2424

SE HA CREADO EL INFORME
21 ago 2024

Resumen

Fragmentos marcados	9	1 %
Fragmentos citados o entrecorillados	3	0,7 %

Coincidencias de la Web

utc.edu.ec	7	1 %
tianlienergy.com	2	0,3 %
senescyt.gob.ec	1	0,1 %
fhia.org.hn	1	0,1 %
artekao.com.ve	1	0,1 %

1 de 12 fragmentos

Fragmento del alumno [MARCADO](#)

En Ecuador, se cultivan dos variedades fundamentales de cacao: el Nacional y el mejorado CCN-51. Uno de los desafíos más importantes es lograr el...

[Mejor coincidencia en la Web](#)

En Ecuador se cultivan dos tipos de cacao: los cultivares tipo **Nacional**, y el clon **CCN 51**. Los primeros cultivados en su mayoría en sistemas agroforestales por ...

La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los ... http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2631-26542021000200152

2 de 12 fragmentos

Fragmento del alumno [MARCADO](#)

En el proceso, la temperatura aumenta, se libera el embrión muerto y el predecesor del aroma y el aroma de las semillas. Cuando se complete la fermentación, los granos se hincharán...

[Mejor coincidencia en la Web](#)

En el proceso, la temperatura aumenta, se libera el embrión muerto y el predecesor del aroma y el aroma de las semillas. Cuando se complete la fermentación, los granos se hincharán y la.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10355/1/PI-002435.pdf>

3 de 12 fragmentos

Fragmento del alumno [MARCADO](#)

Es importante que se seque el cacao en cemento o entablados, marquesinas, pisos de bambú; 5 a 7 cm, removiendo cada 2-3 horas con una cuchara de madera

[Mejor coincidencia en la Web](#)

Es importante que se seque el cacao en cemento o entablados, marquesinas, pisos de bambú; 5 a 7 cm, removiendo cada 2-3 horas con una cuchara de madera. Las condiciones de secado.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10355/1/PI-002435.pdf>

4 de 12 fragmentos

Fragmento del alumno MARCADO

...7 cm, si es húmedo y con noches frías. **Luego apile y cubra durante la noche o de lo contrario se enfriará y olerá mal.**

[Mejor coincidencia en la Web](#)

el clima es seco y caluroso, de 5 a 7 cm, si es húmedo y con noches frías. **Luego apile y cubra durante la noche o de lo contrario se enfriará y olerá mal.** Segundo día: volver a secar las almendras,...

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10355/1/PI-002435.pdf>

5 de 12 fragmentos

Fragmento del alumno MARCADO

Se ha vuelto popular usar cobertizos o túneles para secar el cacao de forma natural. Son estructuras de madera o metal con un revestimiento...

[Mejor coincidencia en la Web](#)

Secado en marquesina y túneles de secado. **Se ha vuelto popular usar cobertizos o túneles para secar el cacao de forma natural.** Son.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10355/1/PI-002435.pdf>

6 de 12 fragmentos

Fragmento del alumno MARCADO

El secador rotatorio es un tipo de equipo de secado para procesar una gran cantidad de materiales. Tiene las características de rendimiento confiable, alta flexibilidad operativa...

[Mejor coincidencia en la Web](#)

El secador rotatorio es un tipo de equipo de secado para procesar grandes cantidades de materiales. Tiene características de operación confiable, gran flexibilidad de operación, gran adaptabilidad,...

PRODUCTOS - Secador rotatorio - HOGAR https://es.tianlienergy.com/product/Rotary_Dryer/Rotary_Dryer.html

7 de 12 fragmentos

Fragmento del alumno CITADO

Es ampliamente utilizado en las industrias de materiales de construcción, metalurgia, química, cemento para secar escoria de cal, carbón fino, escoria, arcilla y otros materiales.[33]

[Mejor coincidencia en la Web](#)

Es ampliamente utilizado en materiales de construcción, metalurgia, química, industria del cemento para secar escoria de piedra caliza, carbón en polvo, escoria, arcilla y otros materiales.

PRODUCTOS - Secador rotatorio - HOGAR https://es.tianlienergy.com/product/Rotary_Dryer/Rotary_Dryer.html

8 de 12 fragmentos

Fragmento del alumno MARCADO

...se trituran para separar los granos de la cáscara. **Los granos se muelen hasta formar una pasta líquida llamada licor de cacao.** Este licor puede ser sometido a un proceso de...

[Mejor coincidencia en la Web](#)

Los trozos de grano de cacao sin cascarilla o nibs se muelen hasta formar una pasta líquida llamada licor de cacao, nombrado así por su estado líquido. Esto se puede hacer a mano con mucho trabajo ...

Manual para la Evaluación de la Calidad del Grano de

Cacao http://www.fhia.org.hn/descargas/Proyecto_de_Cacao_SECO/Manual_para_la_Evaluacion_de_la_Calidad_del_Grano_de_Cacao.pdf

9 de 12 fragmentos

Fragmento del alumno MARCADO

El licor de cacao **se prensa para separar la manteca de cacao** del polvo de cacao. El polvo de cacao se muele para alcanzar la...

[Mejor coincidencia en la Web](#)

Luego, los granos se muelen hasta obtener una pasta conocida como licor de cacao. Finalmente, este **licor se prensa para separar la manteca de cacao** de la masa de cacao. Descargar ficha técnica. El...

Línea de productos industriales - ArteKao <https://artekao.com.ve/productos-industriales/>

10 de 12 fragmentos

Fragmento del alumno CITADO

muestra, pantalla de temperatura, cálculo de humedad promedio, calibración de 4 puntos, muestra ilimitada (20 variedades consumos se han calibrado), fuente de alimentación de 9V DC

[Mejor coincidencia en la Web](#)

muestra, pantalla de temperatura, cálculo de humedad promedio, calibración de 4 puntos, muestra ilimitada (20 variedades consumos se han calibrado), fuente de alimentación de 9V DC.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10355/1/PI-002435.pdf>

11 de 12 fragmentos

Fragmento del alumno CITADO

Suma de cuadrados del error para ajustar la curva de cinética de secado de cacao intercalando los valores de K y N mediante solver.

[Mejor coincidencia en la Web](#)

Suma de cuadrados del error para ajustar la curva de cinética de secado de cacao intercalando los valores de K y N mediante solver. $SCR = \sum(MR_{exp} - MR_{modelo})^2$.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10355/1/PI-002435.pdf>

12 de 12 fragmentos

Fragmento del alumno MARCADO

Gastos relacionados con equipos y materiales utilizados para el análisis de la cinética del secado de cacao nacional ecuatoriano y mejorado ccn-51.

[Mejor coincidencia en la Web](#)

Costos directos. **Gastos relacionados con equipos y materiales utilizados para el análisis de la cinética del secado de cacao nacional ecuatoriano y mejorado ccn-51.**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10355/1/PI-002435.pdf>

AVAL DE TRADUCCIÓN

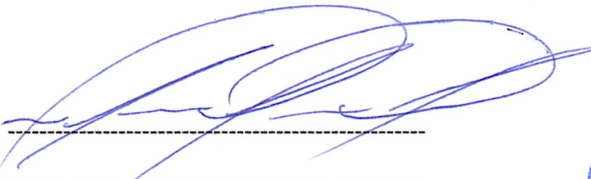
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés de la Propuesta Tecnológica cuyo título versa: **“ANÁLISIS DE LA CINÉTICA DEL SECADO DE CACAO NACIONAL ECUATORIANO Y MEJORADO CCN-51.”**, presentado por: **ARMIJO MARTINEZ JORGE IVAN** y **NAVARRETE PROAÑO DANIEL ANDRES**, egresados de la Carrera de: Ingeniería en Electromecánica, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 21 agosto del 2024

Atentamente,



M.Sc. Santiago Gabriel Ramón Amores

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CI: 0503568826



9.3. ANEXO 4 TABLA DE DATOS DE CACAO NACIONAL

Tabla 9. Datos de secado de cacao nacional a 40°C

N#	Tiempo	Temperature ©	Wet Weigt	MS	Contenido de Humedad	% humedad
1	0	40	56,024	26,737	29,287	52,28
2	20	40	55,058	26,737	28,321	51,44
3	40	40	52,726	26,737	25,989	49,29
4	60	40	51,744	26,737	25,007	48,33
5	80	40	50,652	26,737	23,915	47,21
6	100	40	49,701	26,737	22,964	46,20
7	120	40	48,289	26,737	21,552	44,63
8	140	40	47,365	26,737	20,628	43,55
9	160	40	46,525	26,737	19,788	42,53
10	180	40	45,691	26,737	18,954	41,48
11	200	40	44,557	26,737	17,820	39,99
12	220	40	43,688	26,737	16,951	38,80
13	240	40	42,941	26,737	16,204	37,74
14	260	40	42,217	26,737	15,480	36,67
15	280	40	41,491	26,737	14,754	35,56
16	300	40	40,810	26,737	14,073	34,48
17	320	40	40,151	26,737	13,414	33,41
18	340	40	39,490	26,737	12,753	32,29
19	360	40	38,978	26,737	12,241	31,40
20	380	40	38,435	26,737	11,698	30,44
21	400	40	37,939	26,737	11,202	29,53
22	420	40	37,439	26,737	10,702	28,59
23	440	40	36,931	26,737	10,194	27,60
24	460	40	36,426	26,737	9,689	26,60
25	480	40	35,926	26,737	9,189	25,58
26	500	40	35,449	26,737	8,712	24,58
27	520	40	34,991	26,737	8,254	23,59
28	540	40	34,550	26,737	7,813	22,61
29	560	40	34,124	26,737	7,387	21,65
30	580	40	33,676	26,737	6,939	20,61
31	600	40	33,251	26,737	6,514	19,59
32	620	40	32,865	26,737	6,128	18,65
33	640	40	32,496	26,737	5,759	17,72
34	660	40	32,137	26,737	5,400	16,80
35	680	40	31,797	26,737	5,060	15,91
36	700	40	31,472	26,737	4,735	15,05
37	720	40	31,160	26,737	4,423	14,19
38	740	40	30,905	26,737	4,168	13,49
39	760	40	30,655	26,737	3,918	12,78
40	780	40	30,402	26,737	3,665	12,06

41	800	40	30,109	26,737	3,372	11,20
42	820	40	29,833	26,737	3,096	10,38
43	840	40	29,589	26,737	2,852	9,64
44	860	40	29,339	26,737	2,602	8,87
45	880	40	29,100	26,737	2,363	8,12
46	900	40	28,871	26,737	2,134	7,39
47	920	40	28,644	26,737	1,907	6,66
48	940	40	28,236	26,737	1,499	5,31
49	960	40	28,041	26,737	1,304	4,65
50	980	40	27,871	26,737	1,134	4,07
51	1000	40	27,462	26,737	0,725	2,64
52	1020	40	27,257	26,737	0,520	1,91
53	1040	40	27,095	26,737	0,358	1,32

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 1040 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 960 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°9**.

Tabla 10. Datos del secado de cacao nacional a 45°C

N#	Tiempo	Temperature ©	Wet Weigt	Ms	Contenido de Humedad	% humedad
1	0	45	55,461	24,913	30,548	55,080
2	20	45	54,272	24,913	29,359	54,096
3	40	45	52,842	24,913	27,929	52,854
4	60	45	51,596	24,913	26,683	51,715
5	80	45	50,481	24,913	25,568	50,649
6	100	45	49,436	24,913	24,523	49,606
7	120	45	48,452	24,913	23,539	48,582
8	140	45	47,455	24,913	22,542	47,502
9	160	45	46,523	24,913	21,610	46,450
10	180	45	45,620	24,913	20,707	45,390
11	200	45	44,702	24,913	19,789	44,269
12	220	45	43,808	24,913	18,895	43,131
13	240	45	42,943	24,913	18,030	41,986
14	260	45	42,091	24,913	17,178	40,812
15	280	45	40,571	24,913	15,658	38,594
16	300	45	39,795	24,913	14,882	37,397
17	320	45	39,082	24,913	14,169	36,255
18	340	45	38,404	24,913	13,491	35,129
19	360	45	37,740	24,913	12,827	33,988
20	380	45	37,090	24,913	12,177	32,831
21	400	45	36,472	24,913	11,559	31,693

22	420	45	35,881	24,913	10,968	30,568
23	440	45	35,310	24,913	10,397	29,445
24	460	45	34,754	24,913	9,841	28,316
25	480	45	34,222	24,913	9,309	27,202
26	500	45	33,726	24,913	8,813	26,131
27	520	45	33,227	24,913	8,314	25,022
28	540	45	32,731	24,913	7,818	23,886
29	560	45	32,252	24,913	7,339	22,755
30	580	45	31,794	24,913	6,881	21,642
31	600	45	31,358	24,913	6,445	20,553
32	620	45	30,943	24,913	6,030	19,487
33	640	45	30,536	24,913	5,623	18,414
34	660	45	30,140	24,913	5,227	17,342
35	680	45	29,757	24,913	4,844	16,279
36	700	45	29,389	24,913	4,476	15,230
37	720	45	29,039	24,913	4,126	14,208
38	740	45	28,701	24,913	3,788	13,198
39	760	45	28,328	24,913	3,415	12,055
40	780	45	27,996	24,913	3,083	11,012
41	800	45	27,678	24,913	2,765	9,990
42	820	45	27,265	24,913	2,352	8,626
43	840	45	26,959	24,913	2,046	7,589
44	860	45	26,687	24,913	1,774	6,647
45	880	45	26,442	24,913	1,529	5,782
46	900	45	26,194	24,913	1,281	4,890
47	920	45	25,969	24,913	1,056	4,066
48	940	45	25,751	24,913	0,838	3,254
49	960	45	25,534	24,913	0,621	2,432
50	980	45	25,323	24,913	0,410	1,619
51	1000	45	25,117	24,913	0,204	0,812
52	1020	45	24,913	24,913	0,000	0,000

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 1020 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 940 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°10**.

Tabla 11. Datos del secado de cacao nacional a 50°C

N#	Tiempo	Temperature ©	Wet Weigt	MS	Contenido de Humedad	% humedad
1	0	50	50,116	19,995	30,121	60,10
2	20	50	48,473	19,995	28,478	58,75
3	40	50	46,896	19,995	26,901	57,36
4	60	50	45,319	19,995	25,324	55,88
5	80	50	43,892	19,995	23,897	54,45
6	100	50	42,489	19,995	22,494	52,94
7	120	50	41,208	19,995	21,213	51,48
8	140	50	39,996	19,995	20,001	50,01
9	160	50	38,829	19,995	18,834	48,50
10	180	50	37,721	19,995	17,726	46,99
11	200	50	36,615	19,995	16,620	45,39
12	220	50	35,590	19,995	15,595	43,82
13	240	50	34,670	19,995	14,675	42,33
14	260	50	33,867	19,995	13,872	40,96
15	280	50	33,106	19,995	13,111	39,60
16	300	50	32,308	19,995	12,313	38,11
17	320	50	31,531	19,995	11,536	36,59
18	340	50	30,804	19,995	10,809	35,09
19	360	50	30,083	19,995	10,088	33,53
20	380	50	29,455	19,995	9,460	32,12
21	400	50	28,770	19,995	8,775	30,50
22	420	50	28,175	19,995	8,180	29,03
23	440	50	27,647	19,995	7,652	27,68
24	460	50	27,164	19,995	7,169	26,39
25	480	50	26,707	19,995	6,712	25,13
26	500	50	26,091	19,995	6,096	23,36
27	520	50	25,668	19,995	5,673	22,10
28	540	50	25,289	19,995	5,294	20,93
29	560	50	24,936	19,995	4,941	19,81
30	580	50	24,605	19,995	4,610	18,74
31	600	50	24,294	19,995	4,299	17,70
32	620	50	24,003	19,995	4,008	16,70
33	640	50	23,732	19,995	3,737	15,75
34	660	50	23,436	19,995	3,441	14,68
35	680	50	23,193	19,995	3,198	13,79
36	700	50	22,968	19,995	2,973	12,94
37	720	50	22,758	19,995	2,763	12,14
38	740	50	22,557	19,995	2,562	11,36
39	760	50	22,373	19,995	2,378	10,63
40	780	50	22,195	19,995	2,200	9,91
41	800	50	22,010	19,995	2,015	9,15
42	820	50	21,825	19,995	1,830	8,38

43	840	50	21,662	19,995	1,667	7,70
44	860	50	21,492	19,995	1,497	6,97
45	880	50	21,341	19,995	1,346	6,31
46	900	50	21,186	19,995	1,191	5,62
47	920	50	21,043	19,995	1,048	4,98
48	940	50	21,043	19,995	1,048	4,98
49	960	50	20,570	19,995	0,575	2,80
50	980	50	20,440	19,995	0,445	2,18
51	1000	50	20,314	19,995	0,319	1,57
52	1020	50	20,203	19,995	0,208	1,03
53	1040	50	20,098	19,995	0,103	0,51
54	1060	50	19,995	19,995	0,000	0,00

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 1060 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 880 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°11**.

Tabla 12. Datos del secado de cacao nacional a 55°C

N#	Test time	Temperature ©	Wet Weigt	MS	Contenido de Humedad	% Humedad
1	0	55	52,723	19,525	33,198	62,9668
2	20	55	50,271	19,525	30,746	61,1605
3	40	55	48,066	19,525	28,541	59,3788
4	60	55	45,601	19,525	26,076	57,1830
5	80	55	42,153	19,525	22,628	53,6806
6	100	55	42,934	19,525	23,409	54,5232
7	120	55	41,211	19,525	21,686	52,6219
8	140	55	39,572	19,525	20,047	50,6596
9	160	55	38,021	19,525	18,496	48,6468
10	180	55	36,565	19,525	17,040	46,6019
11	200	55	35,189	19,525	15,664	44,5139
12	220	55	33,885	19,525	14,360	42,3786
13	240	55	32,676	19,525	13,151	40,2467
14	260	55	31,54	19,525	12,015	38,0945
15	280	55	30,458	19,525	10,933	35,8953
16	300	55	29,457	19,525	9,932	33,7169
17	320	55	28,531	19,525	9,006	31,5657
18	340	55	27,675	19,525	8,150	29,4490
19	360	55	26,893	19,525	7,368	27,3975
20	380	55	26,179	19,525	6,654	25,4173
21	400	55	25,52	19,525	5,995	23,4914
22	420	55	24,909	19,525	5,384	21,6147

23	440	55	24,348	19,525	4,823	19,8086
24	460	55	23,837	19,525	4,312	18,0895
25	480	55	23,367	19,525	3,842	16,4420
26	500	55	22,941	19,525	3,416	14,8904
27	520	55	22,563	19,525	3,038	13,4645
28	540	55	22,222	19,525	2,697	12,1366
29	560	55	21,913	19,525	2,388	10,8976
30	580	55	21,601	19,525	2,076	9,6107
31	600	55	21,325	19,525	1,800	8,4408
32	620	55	21,065	19,525	1,540	7,3107
33	640	55	20,817	19,525	1,292	6,2065
34	660	55	20,398	19,525	0,873	4,2798
35	680	55	20,14	19,525	0,615	3,0536
36	700	55	19,797	19,525	0,272	1,3739
37	720	55	19,525	19,525	0,000	0,0000

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 720 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 660 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°12**.

Tabla 13. Datos del secado de cacao nacional a 60°C

N#	Tiempo	Temperature °C	Wet Weigt	MS	Contenido de Humedad	% Humedad
1	0	60	50,501	19,544	30,9570	61,300
2	20	60	48,164	19,544	28,6200	59,422
3	40	60	45,926	19,544	26,3820	57,445
4	60	60	43,686	19,544	24,1420	55,263
5	80	60	41,313	19,544	21,7690	52,693
6	100	60	39,073	19,544	19,5290	49,981
7	120	60	36,838	19,544	17,2940	46,946
8	140	60	34,671	19,544	15,1270	43,630
9	160	60	33,034	19,544	13,4900	40,837
10	180	60	31,528	19,544	11,9840	38,011
11	200	60	30,159	19,544	10,6150	35,197
12	220	60	28,919	19,544	9,3750	32,418
13	240	60	27,807	19,544	8,2630	29,716
14	260	60	26,823	19,544	7,2790	27,137
15	280	60	25,947	19,544	6,4030	24,677
16	300	60	25,171	19,544	5,6270	22,355
17	320	60	24,503	19,544	4,9590	20,238
18	340	60	23,923	19,544	4,3790	18,305
19	360	60	23,401	19,544	3,8570	16,482

20	380	60	22,932	19,544	3,3880	14,774
21	400	60	22,514	19,544	2,9700	13,192
22	420	60	22,125	19,544	2,5810	11,666
23	440	60	21,767	19,544	2,2230	10,213
24	460	60	21,43	19,544	1,8860	8,801
25	480	60	21,115	19,544	1,5710	7,440
26	500	60	20,819	19,544	1,2750	6,124
27	520	60	20,536	19,544	0,9920	4,831
28	540	60	20,267	19,544	0,7230	3,567
29	560	60	20,012	19,544	0,4680	2,339
30	580	60	19,771	19,544	0,2270	1,148
31	600	60	19,544	19,544	0,0000	0,000

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 600 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 520 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°13**.

Tabla 14. Datos del secado de cacao nacional a 65°C

N#	Columnal	Temperature ©	Wet Weiht	MS	Contenido de Humedad	% Humedad
1	0	65	55,004	19,624	35,380	64,323
2	20	65	52,284	19,624	32,660	62,467
3	40	65	49,463	19,624	29,839	60,326
4	60	65	47,228	19,624	27,604	58,448
5	80	65	45,003	19,624	25,379	56,394
6	100	65	42,767	19,624	23,143	54,114
7	120	65	40,529	19,624	20,905	51,580
8	140	65	38,288	19,624	18,664	48,746
9	160	65	36,048	19,624	16,424	45,561
10	180	65	33,874	19,624	14,250	42,068
11	200	65	32,348	19,624	12,724	39,335
12	220	65	30,962	19,624	11,338	36,619
13	240	65	29,693	19,624	10,069	33,910
14	260	65	28,56	19,624	8,936	31,289
15	280	65	27,557	19,624	7,933	28,788
16	300	65	26,65	19,624	7,026	26,364
17	320	65	25,865	19,624	6,241	24,129
18	340	65	25,17	19,624	5,546	22,034
19	360	65	24,552	19,624	4,928	20,072
20	380	65	23,992	19,624	4,368	18,206
21	400	65	23,483	19,624	3,859	16,433
22	420	65	23,012	19,624	3,388	14,723

23	440	65	22,573	19,624	2,949	13,064
24	460	65	22,162	19,624	2,538	11,452
25	480	65	21,78	19,624	2,156	9,899
26	500	65	21,427	19,624	1,803	8,415
27	520	65	21,103	19,624	1,479	7,008
28	540	65	20,805	19,624	1,181	5,677
29	560	65	20,53	19,624	0,906	4,413
30	580	65	20,275	19,624	0,651	3,211
31	600	65	20,025	19,624	0,401	2,002
32	620	65	19,814	19,624	0,190	0,959
32	640	65	19,624	19,624	0,000	0,000

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los **640** minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 480 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°14**.

Tabla 15. Datos del secado de cacao nacional a 70°C

N#	Tiempo	Temperature °C	Wet Weigt	MS	Contenido de humedad	% Humedad
1	0	70	51,479	19,966	31,513	61,215
2	20	70	48,967	19,966	29,001	59,226
3	40	70	46,724	19,966	26,758	57,268
4	60	70	44,492	19,966	24,526	55,125
5	80	70	42,272	19,966	22,306	52,768
6	100	70	40,049	19,966	20,083	50,146
7	120	70	37,816	19,966	17,850	47,202
8	140	70	35,586	19,966	15,620	43,894
9	160	70	33,360	19,966	13,394	40,150
10	180	70	31,125	19,966	11,159	35,852
11	200	70	29,197	19,966	9,231	31,616
12	220	70	27,985	19,966	8,019	28,655
13	240	70	26,931	19,966	6,965	25,862
14	260	70	26,020	19,966	6,054	23,267
15	280	70	25,217	19,966	5,251	20,823
16	300	70	24,502	19,966	4,536	18,513
17	320	70	23,860	19,966	3,894	16,320
18	340	70	23,281	19,966	3,315	14,239
19	360	70	22,761	19,966	2,795	12,280
20	380	70	22,288	19,966	2,322	10,418
21	400	70	21,856	19,966	1,890	8,648
22	420	70	21,461	19,966	1,495	6,966
23	440	70	21,098	19,966	1,132	5,365

24	460	70	20,766	19,966	0,800	3,852
25	480	70	20,468	19,966	0,502	2,453
26	500	70	20,200	19,966	0,234	1,158
27	520	70	19,966	19,966	0,000	0,000

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 520 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 460 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°15**.

9.4. ANEXO 4 TABLA DE DATOS DE CACAO CCN-51

Tabla 16. Datos del secado de cacao CCN-51 a 40°C

N#	Tiempo	Temperature °C	Wet Weight (g)	MS Peso sólido	Contenido de Humedad	% de Humedad
1	0	40	53,481	32,670	20,811	38,913
2	20	40	52,339	32,670	19,669	37,580
3	40	40	50,697	32,670	18,027	35,558
4	60	40	49,722	32,670	17,052	34,295
5	80	40	48,859	32,670	16,189	33,134
6	100	40	48,059	32,670	15,389	32,021
7	120	40	47,064	32,670	14,394	30,584
8	140	40	46,361	32,670	13,691	29,531
9	160	40	45,725	32,670	13,055	28,551
10	180	40	44,984	32,670	12,314	27,374
11	200	40	44,398	32,670	11,728	26,416
12	220	40	43,878	32,670	11,208	25,544
13	240	40	43,378	32,670	10,708	24,685
14	260	40	42,923	32,670	10,253	23,887
15	280	40	42,469	32,670	9,799	23,073
16	300	40	42,035	32,670	9,365	22,279
17	320	40	41,594	32,670	8,924	21,455
18	340	40	41,179	32,670	8,509	20,663
19	360	40	40,786	32,670	8,116	19,899
20	380	40	40,414	32,670	7,744	19,162
21	400	40	40,058	32,670	7,388	18,443
22	420	40	39,708	32,670	7,038	17,724
23	440	40	38,561	32,670	5,891	15,277
24	460	40	37,870	32,670	5,200	13,731
25	480	40	37,481	32,670	4,811	12,836
26	500	40	37,147	32,670	4,477	12,052
27	520	40	36,850	32,670	4,180	11,343

28	540	40	36,593	32,670	3,923	10,721
29	560	40	36,355	32,670	3,685	10,136
30	580	40	36,101	32,670	3,431	9,504
31	600	40	35,890	32,670	3,220	8,972
32	620	40	35,692	32,670	3,022	8,467
33	640	40	35,501	32,670	2,831	7,974
34	660	40	35,249	32,670	2,579	7,317
35	680	40	35,066	32,670	2,396	6,833
36	700	40	34,909	32,670	2,239	6,414
37	720	40	34,756	32,670	2,086	6,002
38	740	40	34,603	32,670	1,933	5,586
39	760	40	34,467	32,670	1,797	5,214
40	780	40	34,337	32,670	1,667	4,855
41	800	40	34,208	32,670	1,538	4,496
42	820	40	34,084	32,670	1,414	4,149
43	840	40	33,969	32,670	1,299	3,824
44	860	40	33,853	32,670	1,183	3,495
45	880	40	33,741	32,670	1,071	3,174
46	900	40	33,637	32,670	0,967	2,875
47	920	40	33,520	32,670	0,850	2,536
48	940	40	33,420	32,670	0,750	2,244
49	960	40	33,308	32,670	0,638	1,915
50	980	40	33,197	32,670	0,527	1,587
51	1000	40	33,109	32,670	0,439	1,326
52	1020	40	33,020	32,670	0,350	1,060
53	1040	40	32,935	32,670	0,265	0,805
54	1060	40	32,935	32,670	0,265	0,805
55	1080	40	32,846	32,670	0,176	0,536

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 1080 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 940 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°16**.

Tabla 17. Datos del secado de cacao CCN-51 a 45°C

N#	Tiempo	Temperature ©	Wet Weight g	MS Peso sólido	Contenido de Humedad	% de Humedad
1	0	45	54,406	33,150	21,256	39,069
2	20	45	53,432	33,150	20,282	37,959
3	40	45	52,091	33,150	18,941	36,361
4	60	45	50,704	33,150	17,554	34,621
5	80	45	49,475	33,150	16,325	32,996
6	100	45	48,326	33,150	15,176	31,403

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

7	120	45	47,330	33,150	14,180	29,960
8	140	45	46,449	33,150	13,299	28,631
9	160	45	45,715	33,150	12,565	27,486
10	180	45	45,065	33,150	11,915	26,440
11	200	45	44,450	33,150	11,300	25,422
12	220	45	43,845	33,150	10,695	24,393
13	240	45	43,265	33,150	10,115	23,379
14	260	45	42,718	33,150	9,568	22,398
15	280	45	42,195	33,150	9,045	21,436
16	300	45	41,687	33,150	8,537	20,479
17	320	45	41,198	33,150	8,048	19,535
18	340	45	40,729	33,150	7,579	18,608
19	360	45	40,269	33,150	7,119	17,679
20	380	45	39,828	33,150	6,678	16,767
21	400	45	39,287	33,150	6,137	15,621
22	420	45	38,864	33,150	5,714	14,703
23	440	45	38,478	33,150	5,328	13,847
24	460	45	38,109	33,150	4,959	13,013
25	480	45	37,753	33,150	4,603	12,192
26	500	45	37,417	33,150	4,267	11,404
27	520	45	37,114	33,150	3,964	10,681
28	540	45	36,824	33,150	3,674	9,977
29	560	45	36,539	33,150	3,389	9,275
30	580	45	36,265	33,150	3,115	8,590
31	600	45	36,007	33,150	2,857	7,935
32	620	45	35,768	33,150	2,618	7,319
33	640	45	35,549	33,150	2,399	6,748
34	660	45	35,357	33,150	2,207	6,242
35	680	45	35,180	33,150	2,030	5,770
36	700	45	35,000	33,150	1,850	5,286
37	720	45	34,829	33,150	1,679	4,821
38	740	45	34,667	33,150	1,517	4,376
39	760	45	34,521	33,150	1,371	3,971
40	780	45	34,382	33,150	1,232	3,583
41	800	45	34,256	33,150	1,106	3,229
42	820	45	34,135	33,150	0,985	2,886
43	840	45	34,017	33,150	0,867	2,549
44	860	45	33,905	33,150	0,755	2,227
45	880	45	33,799	33,150	0,649	1,920
46	900	45	33,694	33,150	0,544	1,615
47	920	45	33,435	33,150	0,285	0,852
48	940	45	33,344	33,150	0,194	0,582
49	960	45	33,246	33,150	0,096	0,289
50	980	45	33,150	33,150	0,000	0,000

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 980 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 820 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°17**.

Tabla 18. Datos del secado de cacao CCN-51 a 50°C

N#	Tiempo	Temperature °C	Wet Weight g	MS peso sólido	Contenido de humedad	% de Humedad
1	0	50	50,867	29,568	21,299	41,872
2	20	50	49,260	29,568	19,692	39,976
3	40	50	47,738	29,568	18,170	38,062
4	60	50	46,197	29,568	16,629	35,996
5	80	50	44,936	29,568	15,368	34,200
6	100	50	43,853	29,568	14,285	32,575
7	120	50	42,849	29,568	13,281	30,995
8	140	50	41,915	29,568	12,347	29,457
9	160	50	41,047	29,568	11,479	27,966
10	180	50	40,254	29,568	10,686	26,546
11	200	50	39,495	29,568	9,927	25,135
12	220	50	38,779	29,568	9,211	23,753
13	240	50	37,368	29,568	7,800	20,873
14	260	50	36,810	29,568	7,242	19,674
15	280	50	36,247	29,568	6,679	18,426
16	300	50	35,718	29,568	6,150	17,218
17	320	50	35,230	29,568	5,662	16,072
18	340	50	34,783	29,568	5,215	14,993
19	360	50	34,382	29,568	4,814	14,002
20	380	50	33,995	29,568	4,427	13,023
21	400	50	33,641	29,568	4,073	12,107
22	420	50	33,310	29,568	3,742	11,234
23	440	50	33,011	29,568	3,443	10,430
24	460	50	32,727	29,568	3,159	9,653
25	480	50	32,462	29,568	2,894	8,915
26	500	50	32,217	29,568	2,649	8,222
27	520	50	31,988	29,568	2,420	7,565
28	540	50	31,769	29,568	2,201	6,928
29	560	50	31,570	29,568	2,002	6,341
30	580	50	31,383	29,568	1,815	5,783
31	600	50	31,209	29,568	1,641	5,258
32	620	50	31,046	29,568	1,478	4,761
33	640	50	30,893	29,568	1,325	4,289
34	660	50	30,751	29,568	1,183	3,847

35	680	50	30,574	29,568	1,006	3,290
36	700	50	30,450	29,568	0,882	2,897
37	720	50	30,333	29,568	0,765	2,522
38	740	50	30,205	29,568	0,637	2,109
39	760	50	30,091	29,568	0,523	1,738
40	780	50	29,981	29,568	0,413	1,378
41	800	50	29,879	29,568	0,311	1,041
42	820	50	29,785	29,568	0,217	0,729
43	840	50	29,676	29,568	0,108	0,364
44	860	50	29,568	29,568	0,000	0,000
45	880	50	29,568	29,568	0,000	0,000

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 880 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 700 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°18**.

Tabla 19. Datos del secado de cacao CCN-51 a 55°C

N#	Tiempo	Temperature °C	Wet Weight	MS peso sólido	Contenido de humedad	% de Humedad
1	0	55	50,734	27,214	23,520	46,3594
2	20	55	48,504	27,214	21,290	43,8933
3	40	55	46,452	27,214	19,238	41,4148
4	60	55	43,858	27,214	16,644	37,9497
5	80	55	42,573	27,214	15,359	36,0769
6	100	55	41,429	27,214	14,215	34,3117
7	120	55	40,380	27,214	13,166	32,6053
8	140	55	38,540	27,214	11,326	29,3876
9	160	55	38,526	27,214	11,312	29,3620
10	180	55	37,715	27,214	10,501	27,8430
11	200	55	36,964	27,214	9,750	26,3770
12	220	55	36,259	27,214	9,045	24,9455
13	240	55	35,601	27,214	8,387	23,5583
14	260	55	33,487	27,214	6,273	18,7326
15	280	55	33,090	27,214	5,876	17,7576
16	300	55	32,745	27,214	5,531	16,8911
17	320	55	32,434	27,214	5,220	16,0942
18	340	55	32,152	27,214	4,938	15,3583
19	360	55	31,894	27,214	4,680	14,6736
20	380	55	31,649	27,214	4,435	14,0131
21	400	55	31,403	27,214	4,189	13,3395
22	420	55	31,185	27,214	3,971	12,7337
23	440	55	30,979	27,214	3,765	12,1534

24	460	55	30,784	27,214	3,570	11,5969
25	480	55	30,600	27,214	3,386	11,0654
26	500	55	30,418	27,214	3,204	10,5332
27	520	55	30,243	27,214	3,029	10,0155
28	540	55	30,074	27,214	2,860	9,5099
29	560	55	29,249	27,214	2,035	6,9575
30	580	55	28,792	27,214	1,578	5,4807
31	600	55	28,532	27,214	1,318	4,6194
32	620	55	28,366	27,214	1,152	4,0612
33	640	55	28,226	27,214	1,012	3,5853
34	660	55	28,100	27,214	0,886	3,1530
35	680	55	27,984	27,214	0,770	2,7516
36	700	55	27,875	27,214	0,661	2,3713
37	720	55	27,771	27,214	0,557	2,0057
38	740	55	27,664	27,214	0,450	1,6267
39	760	55	27,569	27,214	0,355	1,2877
40	780	55	27,448	27,214	0,234	0,8525
41	800	55	27,367	27,214	0,153	0,5591
42	820	55	27,290	27,214	0,076	0,2785
43	840	55	27,214	27,214	0,000	0,0000

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 840 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 640 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°19**.

Tabla 20. Datos del secado de cacao CCN-51 a 60°C

N#	Tiempo	Temperature °C	Wet Weight	MS peso sólido	Contenido de humedad	% de Humedad
1	0	60	53,811	27,505	26,306	48,886
2	20	60	51,452	27,505	23,947	46,542
3	40	60	48,639	27,505	21,134	43,451
4	60	60	45,803	27,505	18,298	39,949
5	80	60	43,927	27,505	16,422	37,385
6	100	60	42,585	27,505	15,080	35,412
7	120	60	41,388	27,505	13,883	33,544
8	140	60	40,303	27,505	12,798	31,754
9	160	60	39,307	27,505	11,802	30,025
10	180	60	38,406	27,505	10,901	28,384
11	200	60	37,584	27,505	10,079	26,817
12	220	60	36,823	27,505	9,318	25,305
13	240	60	36,112	27,505	8,607	23,834
14	260	60	35,471	27,505	7,966	22,458

15	280	60	34,887	27,505	7,382	21,160
16	300	60	34,349	27,505	6,844	19,925
17	320	60	33,850	27,505	6,345	18,744
18	340	60	33,391	27,505	5,886	17,628
19	360	60	32,961	27,505	5,456	16,553
20	380	60	32,575	27,505	5,070	15,564
21	400	60	32,221	27,505	4,716	14,636
22	420	60	31,690	27,505	4,185	13,206
23	440	60	31,393	27,505	3,888	12,385
24	460	60	31,100	27,505	3,595	11,559
25	480	60	30,826	27,505	3,321	10,773
26	500	60	30,563	27,505	3,058	10,006
27	520	60	30,313	27,505	2,808	9,263
28	540	60	30,073	27,505	2,568	8,539
29	560	60	29,845	27,505	2,340	7,841
31	580	60	29,628	27,505	2,123	7,166
32	600	60	29,196	27,505	1,691	5,792
33	620	60	29,003	27,505	1,498	5,165
34	640	60	28,803	27,505	1,298	4,506
35	660	60	28,612	27,505	1,107	3,869
36	680	60	28,430	27,505	0,925	3,254
37	700	60	28,071	27,505	0,566	2,016
38	720	60	27,799	27,505	0,294	1,058
39	740	60	27,638	27,505	0,133	0,481
40	760	60	27,505	27,505	0,000	0,000

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 760 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 660 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°20**.

Tabla 21.Datos del secado de cacao CCN-51 a 65°C

N#	Tiempo	Temperature °C	Wet Weight g	MS peso sólido	Contenido de humedad	% de Humedad
1	0	65	52,594	27,411	25,183	47,882
2	20	65	49,582	27,411	22,171	44,716
3	40	65	44,974	27,411	17,563	39,051
4	60	65	43,106	27,411	15,695	36,410
5	80	65	41,381	27,411	13,970	33,759
6	100	65	39,757	27,411	12,346	31,054
7	120	65	38,451	27,411	11,040	28,712
8	140	65	37,277	27,411	9,866	26,467
9	160	65	36,187	27,411	8,776	24,252

10	180	65	35,190	27,411	7,779	22,106
11	200	65	34,164	27,411	6,753	19,766
12	220	65	33,379	27,411	5,968	17,880
13	240	65	32,692	27,411	5,281	16,154
14	260	65	31,966	27,411	4,555	14,250
15	280	65	31,360	27,411	3,949	12,592
16	300	65	30,681	27,411	3,270	10,658
17	320	65	30,275	27,411	2,864	9,460
18	340	65	29,884	27,411	2,473	8,275
19	360	65	29,523	27,411	2,112	7,154
20	380	65	29,184	27,411	1,773	6,075
21	400	65	28,863	27,411	1,452	5,031
22	420	65	28,537	27,411	1,126	3,946
23	440	65	28,241	27,411	0,830	2,939
24	460	65	27,946	27,411	0,535	1,914
25	480	65	27,668	27,411	0,257	0,929
26	500	65	27,411	27,411	0,000	0,000

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 500 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 420 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°21**.

Tabla 22. Datos del secado de cacao CCN-51 a 70°C

N#	Tiempo	Temperature °C	Wet Weight	MS peso sólido	Contenido de humedad	% de Humedad
1	0	70	52,360	27,688	24,672	47,120
2	20	70	49,578	27,688	21,890	44,153
3	40	70	47,312	27,688	19,624	41,478
4	60	70	45,052	27,688	17,364	38,542
5	80	70	42,825	27,688	15,137	35,346
6	100	70	40,602	27,688	12,914	31,806
7	120	70	38,955	27,688	11,267	28,923
8	140	70	37,530	27,688	9,842	26,224
9	160	70	36,252	27,688	8,564	23,624
10	180	70	35,127	27,688	7,439	21,177
11	200	70	34,142	27,688	6,454	18,903
12	220	70	33,304	27,688	5,616	16,863
13	240	70	32,590	27,688	4,902	15,041
14	260	70	31,959	27,688	4,271	13,364
15	280	70	31,386	27,688	3,698	11,782
16	300	70	30,862	27,688	3,174	10,284
17	320	70	30,375	27,688	2,687	8,846

18	340	70	29,920	27,688	2,232	7,460
19	360	70	29,503	27,688	1,815	6,152
20	380	70	29,101	27,688	1,413	4,856
21	400	70	28,726	27,688	1,038	3,613
22	420	70	28,352	27,688	0,664	2,342
23	440	70	27,688	27,688	0,000	0,000

Se puede observar que el contenido de humedad ideal para consumo se logró a los 440 minutos de prueba en donde tenemos un 7.11% de humedad la cual está permitida de acuerdo con la norma para selección de cacao tanto nacional como mejorado, y terminando la prueba de secado con 400 minutos de pruebas en donde se logra una humedad final de 4.3% como se observa en la **Tabla N°22**.