

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



“PROCESO DE SECADO DE LA OCA (*OXALIS TUBEROSA*) EN UN SECADOR ROTATORIO DISCONTINUO”

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

CARHUALLANQUI PALIAN LIBERATA
ZAPATA HUARCAYA LILIANA ALISON

CALLAO, JUNIO, 2019

PERÚ

**LIBRO 2 FOLIO No. 127 ACTA N° 310 DE SUSTENTACION DE TESIS SIN
CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

El día Seis de Junio del Dos Mil Diecinueve, siendo las 09:00 horas, se reunió el JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS de la Facultad de Ingeniería Química, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:


Ing. RODRIGUEZ TARANCO OSCAR JUAN	: Presidente
Ing. REYNA MENDOZA GLADIS ENITH	: Secretaria
Ing. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA	: Vocal
Ing. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO	: Asesor


Con el fin de dar inicio al acto de sustentación de tesis de las Bachilleres ZAPATA HUARCAYA LILIANA ALISON Y CARHUALLANQUI PALIÁN LIBERATA, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, sustentan la tesis titulada "PROCESO DE SECADO DE LA OCA (Oxalis Tuberosa) EN UN SECADOR ROTATORIO DISCONTINUO".

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, se acordó: Dar por APROBADO con el calificativo NOY BUENO a las sustentantes Bachilleres ZAPATA HUARCAYA LILIANA ALISON Y CARHUALLANQUI PALIÁN LIBERATA.

Se dio por cerrada la Sesión a las 10:00 horas del día seis del mes y año en curso.


Ing. RODRIGUEZ TARANCO OSCAR JUAN
Presidente


Ing. REYNA MENDOZA GLADIS ENITH
Secretaria


Ing. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA
Vocal


Ing. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO
Asesor

DEDICATORIA

Nuestra tesis va dedicada especialmente a Dios quien fue nuestro principal motor en el día a día de nuestra carrera universitaria y así poder lograr su culminación.

A nuestros padres por su amor y apoyo incondicional en todo momento y en todos los aspectos.

AGRADECIMIENTO

A Dios nuestro Señor por habernos dado la fuerza y voluntad para lograr tan ansiado objetivo.

A nuestros padres por sus tan valiosos consejos y por enseñarnos que con esfuerzo, voluntad, trabajo y constancia todo se puede hacer realidad.

A nuestros hermanos que con sus palabras de aliento no nos dejaron decaer cuando quizá nos sentíamos derrotadas, por el contrario, ser perseverantes y cumplir con nuestras metas.

A la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC por abrirnos sus puertas y a nuestros profesores por brindarnos sus enseñanzas para nuestra formación profesional.

Y un especial agradecimiento a nuestro Asesor de Tesis el Ing. Luis Carrasco Venegas Decano de la Facultad de Ingeniería Química; por su tiempo, paciencia, apoyo y asesoría brindada durante la realización del presente proyecto.

ÍNDICE

TABLAS DE CONTENIDO.....	4
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
CAPÍTULO I.....	10
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.1 Identificación del problema	10
1.2 Formulación del problema	11
1.3 Objetivos de la investigación	11
1.4 Justificación	12
1.5 Importancia.....	13
CAPÍTULO II.....	14
MARCO TEÓRICO	14
2.1 Antecedentes del estudio.....	14
2.2 Definición de secado.....	17
2.3 Principios del Secado	19
2.4 Modelado de la cinética del secado.....	25
2.5 Operaciones de secado.....	26
2.6 Secado de alimentos	28
2.7 Tipos de secadores	29
2.8 Secadores rotatorios.....	31
2.9 Las curvas de secado	32
2.10 Curvas de régimen de secado	35
2.11 La Oca (Oxalis tuberosa) y su producción andina	39
2.12 Taxonomía y Morfología de la Oca.....	40
2.13 Tipos de Oca	40
2.14 Propiedades y valor nutritivo de la Oca.	41
2.15 Importancia alimentaria de la Oca.	42
2.16 Definición de términos básicos	43

CAPÍTULO III	46
VARIABLES E HIPÓTESIS	46
3.1 Variables de la investigación	46
3.2 Operacionalización de variables	47
3.3 Hipótesis general e Hipótesis específicas.....	48
CAPÍTULO IV.....	49
METODOLOGÍA	49
4.1 Tipo de Investigación	49
4.2 Diseño de la Investigación	49
4.3 Población y muestra	52
4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	52
4.5 Procedimiento de recolección de datos	53
4.5.1 Determinación de humedades	53
4.5.2 Determinación del tiempo de secado.....	53
4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos	54
4.6.1 Determinación de la curva de secado.....	54
4.6.2 Determinación y análisis estadísticos de los diez modelos matemáticos	55
CAPÍTULO V.....	56
RESULTADOS.....	56
5.1 Resultados de Humedad y Tiempo del Proceso de Secado de la oca a 60°C.....	56
5.2 Resultados de Humedad y Tiempo del Proceso de Secado de la oca a 70°C.....	59
5.3 Resultados de Humedad y Tiempo del Proceso de Secado de la oca a 80°C.....	62
5.4 Resultados de Humedad y Tiempo del Proceso de Secado de la oca a 90°C.....	65
5.5 Modelos Matemáticos seleccionados para el Secado de la oca (oxalis tuberosa)	68
5.6 Resultados de la Regresión de los Modelos Matemáticos	71
5.7 Análisis estadístico de los Modelos Matemáticos	81

5.8 Curva de velocidad de secado del modelo Midilli	85
5.9 Características Técnicas del secador rotatorio discontinuo.....	89
CAPÍTULO VI.....	92
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	92
6.1 Contrastación de la hipótesis con los resultados	92
6.2 Contrastación de la hipótesis con otros estudios similares.....	93
CAPÍTULO VII.....	94
CONCLUSIONES	94
CAPÍTULO VIII.....	95
RECOMENDACIONES.....	95
CAPÍTULO IX.....	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
CAPÍTULO X.....	100
ANEXOS.....	100

TABLAS DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Tipos de secadores.....	30
Tabla N° 2.2 Taxonomía y Morfología de la Oca.....	40
Tabla N° 2.3 Composición nutritiva de la Oca.....	42
Tabla N° 3.1 Operacionalización de variables.....	47
Tabla N° 4.1 Formato de recolección de datos.....	53
Tabla N° 5.1 Resultados de humedad y tiempo del proceso de secado de la Oca a 60°C.....	57
Tabla N° 5.3 Resultados de humedad y tiempo del proceso de secado la Oca a 70°C.....	59
Tabla N° 5.3 Resultados de humedad y tiempo del proceso de secado de la Oca a 80°C.....	62
Tabla N° 5.4 Resultados de humedad y tiempo del proceso de secado de la Oca a 90°C.....	65
Tabla N° 5.5 Modelos Matemáticos	68
Tabla N° 5.6 Constantes del Modelo Dos Términos Exponencial.....	71
Tabla N° 5.7 Constantes del Modelo Dos Términos.....	72
Tabla N° 5.8 Constantes del Modelo Henderson y Pabis Modificado.....	73
Tabla N° 5.9 Constantes del Modelo Henderson.....	74
Tabla N° 5.10 Constantes del Modelo Logarítmico.....	75
Tabla N° 5.11 Constantes del Modelo Midilli.....	76

Tabla N° 5.12 Constantes del Modelo Newton.....	77
Tabla N° 5.13 Constantes del Modelo Page	78
Tabla N° 5.14 Constantes del Modelo Verma	79
Tabla N° 5.15 Constantes del Modelo Wang and Singh.....	80
Tabla N° 5.16 Humedad-Tiempo.....	85
Tabla N° 5.17 Valores de la derivada Humedad - Tiempo.....	86
Tabla N° 5.18 Relación Ls/A.....	87
Tabla N° 5.19 Velocidad de secado.....	87
Tabla N° 5.20 Secado de la Oca a 13%.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Diagrama de humedad de equilibrio.....	22
Figura N° 2.2 Secador rotativo cilíndrico.....	31
Figura N° 2.3 Perfil de secado de un sólido.....	33
Figura N° 2.4 Curva de secado vs humedad.....	35
Figura N° 3.1 Relación de las variables de investigación.....	46
Figura N° 4.1 Diseño de la investigación.....	50
Figura N° 5.1 Lectura a la temperatura de 60°C en el programa.....	58
Figura N° 5.2 Lectura a la temperatura de 70°C en el programa.....	61
Figura N° 5.3 Lectura a la temperatura de 80°C en el programa.....	64
Figura N° 5.4 Lectura a la temperatura de 90°C en el programa.....	67
Figura N° 5.5 Gráfico de intervalos para R^2	82
Figura N° 5.6 Gráfico de cajas para R^2	82
Figura N° 5.7 Gráfico de intervalos para la varianza.....	84
Figura N° 5.8 Gráfico de cajas para la varianza.....	84
Figura N° 5.9 Secador rotatorio discontinuo.....	89
Figura N° 5.10 Pistola de calor.....	90
Figura N° 5.11 Interfase (Data Loger).....	90
Figura N° 5.12 Sensor de temperatura.....	91
Figura N° 5.13 Equipo secador rotatorio discontinuo.....	91

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 2.1 Producción de Oca en el Perú.....	39
Gráfico N° 4.1 Análisis estadísticos de datos.....	55
Gráfico N° 5.1 Curva de secado de la Oca a 60°C.....	57
Gráfico N° 5.2 Curva de secado de la Oca a 70°C.....	60
Gráfico N° 5.3 Curva de secado de la Oca a 80°C.....	63
Gráfico N° 5.4 Curva de secado de la Oca a 90°C.....	66
Gráfico N° 5.5 Ajuste del Modelo Dos Términos Exponencial.....	71
Gráfico N° 5.6 Ajuste del Modelo Dos Términos.....	72
Gráfico N° 5.7 Ajuste del Modelo Henderson y Pabis Modificado.....	73
Gráfico N° 5.8 Ajuste del Modelo Henderson.....	74
Gráfico N° 5.9 Ajuste del Modelo Logarítmico.....	75
Gráfico N° 5.10 Ajuste del Modelo Midilli.....	76
Gráfico N° 5.11 Ajuste del Modelo Newton.....	77
Gráfico N° 5.12 Ajuste del Modelo Page.....	78
Gráfico N° 5.13 Ajuste del Modelo Verma.....	79
Gráfico N° 5.14 Ajuste del Modelo Wang and Singh.....	80
Gráfico N° 5.15 Curva de Humedad - Tiempo.....	86
Gráfico N° 5.16 Curva de Velocidad de Secado N – X	88

RESUMEN

En la presente investigación se realizó el estudio del proceso de secado de la oca (*oxalis tuberosa*) en un secador rotatorio discontinuo a escala de laboratorio. Las muestras de Oca con geometría de corte 1.2 cm fue colocado en el equipo en contacto directo con un flujo de aire caliente, bajo distintas condiciones de operación. Los ensayos fueron a las temperaturas de 60, 70, 80 y 90°C en intervalos de 10 min hasta obtener un peso constante, posteriormente se realizó el tratamiento estadístico y la obtención de las curvas de deshidratación. Además, se realizó una regresión de mínimos cuadrados ajustados a los modelos de Newton, Page, Henderson, Logarítmica, Dos términos, Dos términos exponenciales, Wang y Singh, el de Henderson y Pabis modificado, Verma y el de Midilli.

De acuerdo con los resultados el modelo matemático que describió mejor el comportamiento de las curvas de secado fue el modelo de Midilli con una regresión lineal con $R^2=0.9989859$ y Varianza=0.0001256. Con una temperatura óptima de secado a 80°C en un tiempo de secado de 32.76 minutos para obtener una conservación del contenido nutricional expresado en muestra seca la cual es 15.1% b.s. (0.151kg agua/kg sólido) aceptable internacionalmente.

Palabras claves: Proceso de secado, oca, secador, rotatorio discontinuo, modelo de Midilli.

ABSTRACT

In the present investigation the study of the drying process of the oca (*Oxalis tuberosa*) in a discontinuous rotary dryer at laboratory scale was carried out. The samples of Oca with geometry of cut 1.2 cm were placed in the equipment in direct contact with a flow of hot air, under different operating conditions. The tests were at temperatures of 60, 70, 80 and 90 ° C in 10-minute intervals until a constant weight was obtained, then the statistical treatment and dehydration curves were obtained. In addition, we performed a regression of least squares adjusted to the models of Newton, Page, Henderson, Logarithmic, Two terms, Two exponential terms, Wang and Singh, Henderson and modified Pabis, Verma and Midilli.

According to the results, the mathematical model that best described the behavior of drying curves was the Midilli model with a linear regression with $R^2 = 0.9989859$ and Variance = 0.0001256. With an optimum temperature of drying is 80 ° C in a drying time of 32.76 min to obtain a conservation of the nutritional content expressed in dry sample which is 15.1% b.s. (0.151kg water / kg solid) internationally acceptable.

Keywords: Drying process, oca, dryer, discontinuous rotary, Midilli model.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del problema

Los cambios demográficos y sociales de la población peruana, impulsan desarrollo de nuevas tecnologías en cuanto a productos alimenticios se trata pues de buscar elevar el nivel de salud y la calidad de vida, reduciendo la crisis alimentaria por la cual atraviesan los países en vía de desarrollo.

Las actuales exigencias de los consumidores, constituyen una oportunidad para convertir un cultivo sub-explotado en un producto promisorio, inclusive con perspectivas de exportación mediante la aplicación de tecnologías como la de secado que consiste en eliminar el agua contenida en el alimento, por medio de aire caliente, para de esta manera obtener productos de alta calidad nutricional y bajo costo, de igual forma que sean muy similares en color y sabor al del alimento fresco y puedan ser conservados por largos períodos de tiempo evitando así la pérdida de este tubérculo tan nutritivo, por su descomposición al no utilizar el proceso de secado como una técnica de preservación, y ser desechados en los campos porque comienza el proceso de putrefacción y al ser un producto de insuficiente demanda el desperdicio es aún mayor, provocando el desinterés de cultivar estos tubérculos, delegándolos a la desaparición progresiva de este cultivo.

La producción de la oca, que se realiza especialmente en Bolivia, Perú y Ecuador, aparte de la papa, es la aportación más significativa de la agricultura, especialmente de la zona de Los Andes. En la mayoría de las zonas rurales, constituye un medio para luchar contra el hambre. Por lo tanto, existe la necesidad de establecer las condiciones más adecuadas para el secado de la Oca en un secador rotatorio discontinuo.

1.2 Formulación del problema

Problema general:

¿Cuáles son las condiciones más adecuadas para el proceso de secado de la Oca en un secador rotatorio discontinuo?

Problemas específicos:

- a. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la oca?
- b. ¿Cuáles son las características técnicas del secador rotatorio discontinuo?

1.3 Objetivos de la investigación

Objetivo general:

Establecer las condiciones más adecuadas para el proceso de secado de la Oca en un secador rotatorio discontinuo.

Objetivos específicos:

- a. Identificar las características fisicoquímicas de la oca.
- b. Reconocer las características técnicas del secador rotatorio discontinuo.

1.4 Justificación

Las razones que justifican la investigación propuesta son las siguientes:

a. Legal

El estado garantiza que los productos alimenticios cumplan las leyes de inocuidad alimentaria, y los requisitos para su conservación de tal forma que no sea atacado por microorganismos en un periodo determinado.

b. Teórica

El estudio de la extracción de humedad es esencial para diseñar un correcto proceso de secado que permita obtener un producto de calidad, puede considerarse como una herramienta muy eficiente para salvar obstáculos tales como daños al producto, consumo excesivo de energía, desgaste del equipo.

c. Tecnológica

El secado es una de las tecnologías más frecuentes en la agroindustria, lo que se busca es disminuir al máximo la actividad bioquímica interna y la acción de microorganismos para mantener por mucho más tiempo el producto en condiciones óptimas.

d. Económica

La agroindustria está alcanzando un notable desarrollo en muchas regiones del país, y especialmente de la zona de los Andes del Perú, donde se ha alcanzado grandes volúmenes de producción de la oca, pero que mayormente está orientado a la elaboración de conservas.

1.5 Importancia

La deshidratación por aire caliente es el principal método de secado de este tipo de tubérculo y la calidad final es un factor muy importante para su comercialización, fijación de precios y la aceptación por parte del consumidor. No menos importante son los actuales costos de producción agrícola sumados al alto costo de procesamiento para la obtención de oca deshidratada, lo que hace necesario mejorar su procesamiento con la finalidad de optimizar los recursos económicos y obtener productos de mayor calidad.

El desarrollo de este trabajo de investigación permitirá para la oca variedad zapallo:

- a) Lograr una nueva forma de aprovechamiento a escala industrial.
- b) Verificar si las teorías generales sobre el secado se cumplen en el caso de este tubérculo.
- c) Una oportunidad para convertir un cultivo sub-explotado en un producto promisorio, inclusive con perspectivas de exportación, mediante la aplicación de tecnologías como la deshidratación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

Según lo revisado vía internet y otros centros de estudios se encontró publicado los siguientes libros y/o trabajos de investigación:

- **Tesis: “Evaluación nutricional de la Oca, fresca endulzada y deshidratada en secador de bandejas” de Cajamarca R. Esther (2010).** Se trabajó con muestras de ocas sometidas a proceso de deshidratación en un deshidratador de bandejas, a tres temperaturas 70, 80 y 90°C; se realizó el tratamiento estadístico y, curvas de deshidratación, para comparar los promedios de contenido de vitamina C a esas temperaturas. A 80°C de temperatura en la muestra fresca, el tiempo de deshidratación fue 190min y, su deshidratado contiene 71.93mg/100g de vit. C, en la muestra endulzada; fue de 150 min y, su deshidratado contiene 41.95mg/100g. Determinando que la temperatura óptima de mejor conservación de vitamina C en las muestras es a 80°C.

- **Informe Final: “Estudio sobre el secado por medio de aire caliente del pimiento variedad piquillo” del Ing. Ángeles Q. Carlos (2012).** Se realizó el estudio sobre el secado por medio de aire caliente del pimiento (*Capsicum annum* L.) variedad piquillo. Las curvas de secado se obtuvieron utilizando un secador experimental a 50 °C, 60 °C y 70 °C y los resultados muestran que el secado del pimiento abarca los períodos de inducción, de velocidad constante hasta alcanzar una humedad crítica de 5.3 kg agua/kg sólido seco, y de velocidad decreciente. Se observó que al incrementar la temperatura se incrementa la velocidad de secado.
- **Investigación: “Caracterización de diez variedades de oxalis tuberosa molina (oca) y alternativas de industrialización” de Elizabeth Miriam Torres Santa Cruz y José Mario Torrico Aguilar (2004).** En este artículo muestra los resultados de los análisis físicoquímicos de diez variedades de oca y los de un estudio de factibilidad para la producción de harina. El análisis demuestra que la variedad Titicoma presenta la más alta concentración de proteína, de 6.51% en base seca y el menor tiempo de secado; Kellu Kamusa es la más rica en sacarosa, glucosa y fructosa, con 2.52% en tubérculo fresco. La variedad Yurac en fresco presenta el menor contenido de humedad. El estudio demuestra que la harina de oca Yurac con 9.5% de humedad genera mayor desarrollo económico en las zonas productoras.

- **Investigación: “Composición química de oca (*Oxalis tuberosa*), arracacha (*Arracaccia xanthorrhiza*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*). Formulación de una mezcla base para productos alimenticios” de María Elena León Marroú, Misael Ydilbrando Villacorta González, Sandra Elizabeth Pagador Flores (2011).** Este trabajo tuvo como objetivo formular una mezcla base a partir de cultivos nativos. Se seleccionaron tres cultivos andinos: un tubérculo, “oca” (*Oxalis tuberosa*); una raíz, “arracacha” (*Arracaccia xanthorrhiza*) y una leguminosa, “tarwi” (*Lupinus mutabilis*). Se realizaron metodologías las cuales fueron: análisis de composición química, formulación de las mezclas bases y determinación de la mezcla base óptima. Se seleccionó la mezcla base identificada como M7 en proporción 1:1:2 (oca: arracacha: tarwi) por presentar mayor valor nutricional.
- **Investigación: “Estudio Preliminar sobre la cinética de secado para Perejil en condiciones de secado solar” de J. Morsetto, A. Lema, M. Pontin, G. Paisio (2008).** El estudio cinético fue realizado evaluando doce modelos matemáticos que describiera el comportamiento del secado del perejil. La validez de los modelos fue evaluada usando el coeficiente de correlación ajustado y la raíz cuadrada del error Standard (RMSE). Las curvas presentaron un período de velocidad decreciente, encontrándose que el modelo de Midilli – Kucuk representa bien la cinética de secado estudiada.

2.2 Definición de secado

El secado usualmente se define como el proceso de remoción térmica de sustancias volátiles (humedad) hasta obtener un producto seco (Mujumdar, 2006). Es una operación unitaria en la que se da el transporte simultáneo de calor y masa (Fito et al., 2001). La transferencia de energía (principalmente como energía calórica) desde el medio circundante para evaporar la humedad de la superficie y la transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido y su evaporación posterior (Mujumdar, 2006).

La remoción de agua en forma de vapor desde la superficie del sólido depende de condiciones externas de temperatura, flujo y humedad del aire, área de la superficie del material expuesta y presión mientras que el movimiento del agua a través del sólido depende de su composición física, la temperatura y su porcentaje de humedad (Mujumdar, 2006).

El significado del término deshidratación se considera como secado artificial en la industria alimenticia. El término secado usualmente infiere la eliminación de agua en pequeñas gotas, de un sólido. En el proceso de secado la mayor atención se presenta al producto sólido. En la mayor parte de las cosas, el secado implica la eliminación de agua, a temperaturas menores de su punto de ebullición. En el secado el agua se elimina normalmente por circulación de aire u otros gases sobre el material a secar con el objeto de que transporte el vapor de agua,

aunque en algunos procesos de secado no se utilizan gases transportadores (Cajamarca, E. 2010).

El secado o deshidratado es una de las tecnologías más frecuentes en la agroindustria y consiste en la eliminación de gran parte del agua del producto procesado, la evaporación del agua se hace a través de una corriente de aire caliente, la cual transmite el calor latente de evaporación al producto. Lo que se busca es disminuir al máximo la actividad bioquímica interna y la acción de microorganismos que para mantener por mucho más tiempo el producto en condiciones de almacenaje (Romero, C. 2000).

La deshidratación o secado se realiza para aumentar la vida útil de los alimentos, para disminuir los costos de transporte, de empaque y de almacenamiento, para suplir las necesidades de materias primas secas como ingredientes para otros productos, así como en el desarrollo de nuevos productos. El proceso de deshidratación generalmente se realiza por medio de un secado térmico utilizando técnicas como secado con aire, al sol y a vacío, microondas y liofilización, pero con la consecuente modificación de las propiedades organolépticas (Cajamarca, E. 2010).

El nivel de agua deseado lo determina el tipo de producto final que buscamos, por ejemplo, el secado de granos y cereales se realiza hasta obtener alrededor de 12% de agua en el producto que es parecido a la humedad del aire normal, en el caso de las frutas secas, los niveles son

más bajos (8-10%), en el caso de nueces y semillas los niveles son de 3-5% (Cajamarca, E. 2010).

El secado es una operación importante en industrias alimenticias de transformación, la razón por la que se aplica puede ser:

- Facilitar el manejo posterior del producto.
- Permitir el empleo satisfactorio del mismo.
- Reducir el costo del embarque.
- Aumentar la capacidad de los aparatos.
- Conservación del producto en función del tiempo.
- Permite que el producto tenga una mayor estabilidad.
- Permite que las materias primas, tengan las características deseadas, para la elaboración de un producto (Cajamarca, E. 2010).

2.3 Principios del Secado

El mecanismo del secado, al ser controlado por la transferencia de calor y por la transferencia de materia, consiste en el transporte de materia desde el interior del sólido a su superficie, la vaporización del líquido en o cerca de la superficie, y el transporte del vapor hacia el seno del gas. Simultáneamente se transfiere calor desde el seno del gas hacia la fase sólida, en donde todo o parte de éste da lugar a la vaporización y el remanente se acumula como calor sensible. (Ángeles C. 2012)

Los fenómenos de transporte que ocurren el exterior del sólido son:

- Transferencia de calor desde el seno del gas a la interfase.

- Transferencia de materia desde la interfase al seno del gas.

Los fenómenos de transporte que ocurren en el interior del sólido son:

- Transferencia de calor desde la interfase hacia el interior del sólido.
- Transferencia de materia desde el interior del sólido hacia la superficie, que puede realizarse por capilaridad o por difusión.

La característica principal en la operación de secado es que los fenómenos de transporte en la fase gas ocurren en condiciones estacionarias, mientras que en la fase sólida ocurren en condiciones no estacionarias. (Ángeles C. 2012)

En cuanto a los mecanismos de transferencia de materia en el interior del sólido, la difusión es el mecanismo controlante en materiales como jabones, gelatina, goma, lana y en la última etapa del secado de almidones, papel, arcillas, textiles, etc.; mientras que la capilaridad es el mecanismo controlante en materiales como arena, pigmentos para pinturas, minerales (sólidos granulares), etc.

Cálculo de la difusividad térmica aparente

Se realizó de la curva de penetración de calor, de acuerdo con Olson y Jackson (1942), utilizando la ecuación propuesta de estos autores para geometrías paralelepípedos.¹

$$\alpha = \frac{0.933}{\left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}\right)f}$$

Siendo a, b y c las tres semi aristas del paralelepípedo y f el factor de penetración del calor obtenido calculando la inversa de la pendiente

negativa de la curva que se consigue al representar el logaritmo decimal de la diferencia entre la temperatura del recinto y la del producto contra el tiempo de tratamiento. (Abril J., et al. 2011)

Contenido de humedad, en base húmeda

Es la humedad que contiene un sólido, expresada como la relación del peso de la humedad en el sólido húmedo. (Ángeles C. 2012)

$$X = \text{Kg de humedad/Kg sólido húmedo}$$

$$X = \text{Kg de humedad/ (Kg sólido seco + Kg humedad)}$$

$$\% \text{ BH} = 100\%$$

Contenido de humedad, en base seca

Es la humedad que contiene un sólido, expresada como la relación entre la masa de la humedad y la del sólido seco. (Ángeles C. 2012)

$$X = \text{Kg de humedad/Kg sólido seco}$$

$$\% \text{BS} = 100X \quad ; \quad X = x/(1-x) \quad ; \quad x = X/(1+X)$$

Humedad de equilibrio: X^*

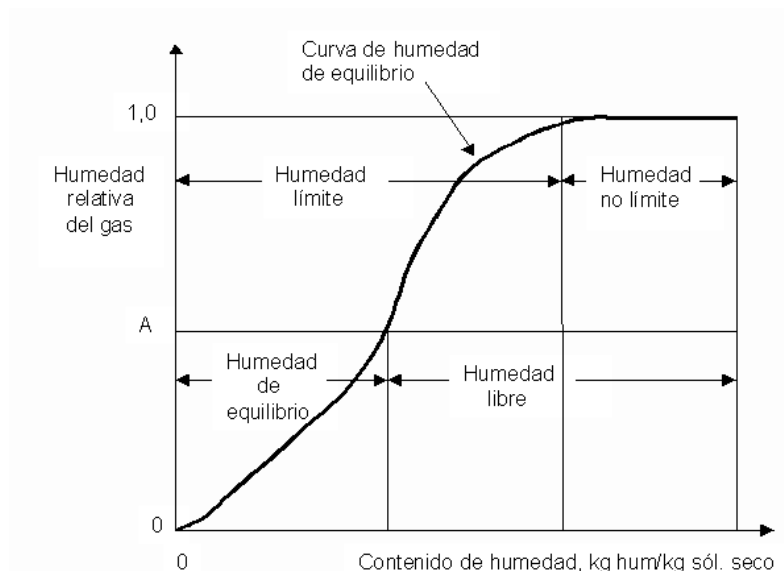
Es el límite al cual puede llevarse el contenido de humedad de un sólido, cuando éste se pone en contacto con un gas por un tiempo suficiente y en condiciones determinadas. El comportamiento de un sólido respecto al secado es función de la naturaleza de la temperatura y la humedad relativa.

Cuando un sólido húmedo se pone en contacto con una corriente de un gas a temperatura y humedad determinadas y constantes, utilizándose

un gran exceso del gas para que sus condiciones permanezcan invariables. Después de haber expuesto el sólido por un tiempo suficiente, éste podrá perder o ganar humedad hasta alcanzar un contenido de humedad definido. A este valor se le conoce como contenido de humedad de equilibrio del material bajo las condiciones específicas de humedad y temperatura del gas. (Ángeles C. 2012)

FIGURA 2.1

DIAGRAMA DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO



Fuente: Carlos, L. y López, J.2017

En la Figura 2.1 se muestra una curva de humedad de equilibrio, en la cual la presión parcial de equilibrio se ha dividido entre la presión de vapor del componente puro, para representar la humedad relativa del gas vs el contenido de humedad del sólido en base seca. Si un sólido ingresa con una humedad X y se emplea un gas con una humedad relativa M, éste solo podrá secarse hasta alcanzar la humedad de

equilibrio (X^*), no se puede llegar a una humedad menor. (Martines E. y Lira L. 2010)

Humedad libre

Se define como la cantidad de humedad que puede perder un sólido después de un contacto suficientemente prolongado con un gas a condiciones constantes de humedad relativa y temperatura.

La humedad libre viene dada por la diferencia entre el contenido de humedad del sólido y el contenido de humedad de equilibrio. Depende tanto de la humedad del sólido como de la humedad relativa del gas, de la temperatura y de la naturaleza del sólido. (Ángeles C. 2012)

Humedad ligada o límite

Es la humedad del sólido que está en contacto con el gas, que ejerce una presión parcial menor que la presión de vapor como líquido puro a la misma temperatura ($p < P^o$). (Ángeles C. 2012)

Si la humedad es el agua, la humedad ligada es el agua combinada con el sólido, que puede estar retenida en pequeños capilares o en solución con las paredes celulares o también ligada por un fenómeno de adsorción física o química sobre la superficie del sólido. (Ángeles C. 2012)

Humedad desligada no límite

Es la humedad del sólido que está en contacto con el gas, que ejerce una presión parcial igual a la presión de vapor como líquido puro a la

misma temperatura ($p = P^\circ$). Si la humedad es el agua, la humedad desligada sería el agua sin combinar, presente principalmente en los espacios vacíos del sólido. (Ángeles C. 2012)

En cualquier proceso de secado, suponiendo que hay un adecuado suministro de calor, la temperatura y la velocidad a la cual ocurre la vaporización de la humedad dependen de la concentración de ésta en el gas de arrastre. En la mayoría de los casos la humedad a evaporar es el agua mientras que el gas de arrastre es el aire. Por tanto, el diagrama conocido como Diagrama Psicométrico o Carta de Humedad, donde se representan en forma gráfica las diversas propiedades para el sistema aire-vapor de agua a la presión atmosférica, es de particular importancia para el secado. (Ángeles C. 2012)

Los parámetros de mayor importancia para el sistema aire-vapor de agua, que en su mayoría se representan en el diagrama, son los siguientes: humedad absoluta (Y) y humedad absoluta de saturación (Y_s).

Humedad relativa

Relación entre la presión parcial que ejerce el vapor de agua en la mezcla aire-vapor de agua y la presión de vapor del agua como líquido puro a la misma temperatura. (Abril J., et al. 2011)

$$HR = p_{\text{agua}} / P^\circ_{\text{agua}}$$

Temperatura de bulbo seco (t_g)

Es la lectura obtenida mediante un termómetro introducido en la mezcla aire-vapor de agua. (Ángeles C. 2012)

2.4 Modelado de la cinética del secado

El secado de un alimento (sólido húmedo) depende de factores externos referidos a las condiciones del aire de secado, tales como la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa, la velocidad y el sentido en que circula respecto al sólido, y de factores internos, por ejemplo, el espesor y geometría del producto.

Para el diseño de un secador se requieren datos sobre el mecanismo y cinética del secado, que pueden venir en forma de gráficos o mediante ecuaciones.

En el desarrollo y perfeccionamiento de los equipos utilizados para el secado es muy importante la simulación y obtención de información teórica referida al comportamiento de cada producto durante la eliminación de la humedad que contiene un sólido.

La representación gráfica de los datos experimentales de una prueba de secado da como resultado las curvas de secado, las cuales se pueden utilizar para obtener modelos matemáticos que ayuden a predecir el comportamiento o cinética del secado de un sólido.

Los modelos matemáticos son herramientas útiles para estimar el tiempo necesario en reducir la cantidad de agua del producto a diferentes condiciones de secado mejorando la eficiencia del proceso. La mayoría de estos modelos son empíricos, pero derivan del modelo difusional de la segunda ley de Fick para diferentes geometrías. El modelo difusional de Fick considera que el transporte de agua desde el interior del sólido hacia la superficie del mismo tiene lugar principalmente por difusión, calculándose de este modo un coeficiente de difusión efectivo (Treybal, R. 1973).

Así mismo, estos modelos de secado se basan en las condiciones de equilibrio entre el sólido húmedo y la atmósfera a la que está expuesta este sólido. Para ello se requiere definir las isotermas de desorción que dependen de su capacidad de retener la humedad, variable que se determina por medio de la actividad del agua.

2.5 Operaciones de secado

Las operaciones de secado pueden clasificarse ampliamente según que sean por lotes o continuas. Estos términos pueden aplicarse específicamente desde el punto de vista de la sustancia que se está secando. Así, la operación denominada secado por lotes, generalmente es un proceso en semilotes, en donde una cierta cantidad de sustancia que se va a secar se expone a una corriente de aire que fluye continuamente, en la cual se evapora la humedad. En las operaciones

continuas, tanto la sustancia que se va a secar, como el gas pasan continuamente a través del equipo.

Generalmente, no se utilizan métodos normales por etapas; en todas las operaciones ocurre el contacto continuo entre el gas y la sustancia que se seca.

El equipo que se utiliza para el secado se puede clasificar de acuerdo con el tipo del equipo y por la naturaleza del proceso de secado. La clasificación siguiente es útil para delinear las teorías de secado y los métodos de diseño.

- a. Método de operación sea por lotes o continuo. El equipo por lotes y semilotes, se opera intermitente o cíclicamente en condiciones de estado no estacionario: el secador se carga con la sustancia, que permanece en el equipo hasta que se seca; entonces, el secador se descarga y se vuelve a cargar con un nuevo lote. Los secadores continuos generalmente se operan en estado estacionario.
- b. Método de obtención del calor necesario para la evaporación de la humedad. En los secadores directos, el calor se obtiene completamente por contacto directo de la sustancia con el gas caliente en el cual tiene lugar la evaporación. En los secadores indirectos, el calor se obtiene independientemente del gas que se utiliza para retirar la humedad evaporada. Por ejemplo, el calor puede obtenerse por conducción a través de una pared metálica en

contacto con la sustancia o con menos frecuencia, por exposición de la sustancia a radiación infrarroja o calentamiento dieléctrico. En este último caso, el calor se genera dentro del sólido mediante un campo eléctrico de alta frecuencia.

- c. Naturaleza de la sustancia que se va a secar. La sustancia puede ser un sólido rígido como madera, un material flexible como tela o papel, un sólido granular, como una masa de cristales, una pasta ligera, un lodo ligero o una solución. Si es un sólido, puede ser frágil o fuerte. La forma física de la sustancia y los diferentes métodos de manejo necesarios tienen tal vez, la mayor influencia sobre el secador que se va a utilizar (Rueda, Y., Rueda, D. 2009).

2.6 Secado de alimentos

Todas las variedades de alimentos necesitan, de alguna forma, ser conservadas principalmente para reducir o detener deterioros, para mantenerlos disponibles durante un periodo determinado de tiempo, para mantener propiedades nutricionales por el mayor tiempo posible o para obtener productos con valor agregado. Entre estas causas, el deterioro es la razón principal para el empleo de técnicas de preservación o conservación (Jangam et al., 2010).

El secado es una de las técnicas más antiguamente utilizada para la conservación de alimentos. El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizado desde los

albores de la humanidad proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia (Fito et al., 2001). Es uno de los procesos más rentables para conservar productos alimenticios, el cual se basa en la remoción de agua mediante la aplicación de calor (Jangam et al., 2010).

La operación de secado involucra una serie de cambios físicos, químicos y sensoriales en el alimento que dependen de la composición de éste, así como de la severidad del método de secado. Ejemplos de estos cambios son encogimiento, cristalización, despolimerización, variación de color, sabor, textura, viscosidad, velocidad de reconstitución, valor nutritivo y estabilidad en el almacenamiento (Contreras, 2006).

Estos factores relacionados con la calidad del producto deben ser analizados cuando se va a diseñar una operación de deshidratación de alimentos, para así provocar un mínimo daño al alimento, sin olvidarse de otros aspectos más tecnológicos relacionados con la eficacia y el coste del proceso (Contreras 2006).

2.7 Tipos de secadores

Se puede clasificar en secado directo e indirecto como se observa en la Tabla 2.1.

- a) Secadores directos** son los que usan aire caliente o gases de combustión encargados de suministrar el calor que hace contacto

directo con el sólido y retira la humedad vaporizada, este tipo de secadores también es llamado secadores adiabáticos.

b) Secadores indirectos son aquellos en los que el calor se transmite a los sólidos, sujetos de secado, por medio de las paredes que lo contienen eliminando la humedad vaporizada, de manera independiente del medio que genera el calor (Rueda, Y., Rueda, D. 2009).

TABLA 2.1
TIPOS DE SECADORES

DIRECTOS	CONTINUOS	<ul style="list-style-type: none"> a. Bandejas secadoras b. Transporte neumático c. Rotativos d. De lecho fluidizado e. Circulación a través del material
	NO CONTINUO	<ul style="list-style-type: none"> a. Circulación a través del material b. Bandejas y compartimiento
INDIRECTOS	CONTINUOS	<ul style="list-style-type: none"> a. Cilíndrico b. Tambores c. Transporte por tornillo d. Tubo giratorio con vapor e. Bandejas vibradoras f. Tipos especiales

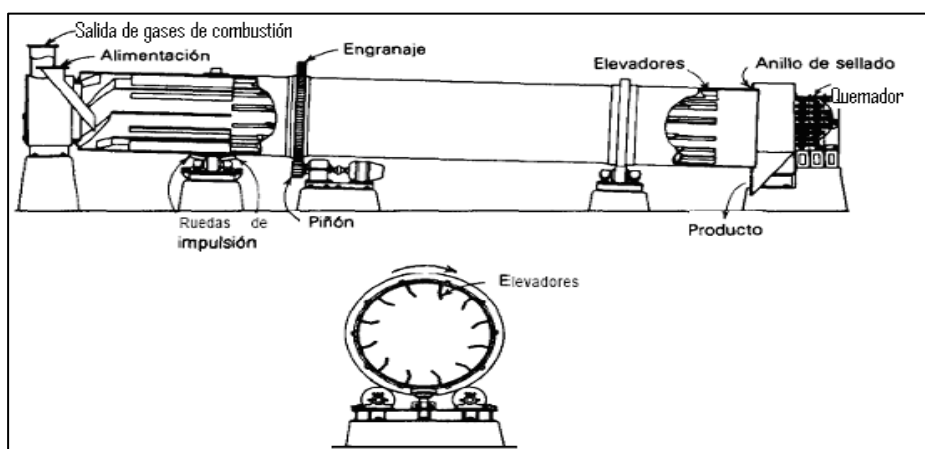
Fuente: Rueda Ordóñez, Yesid J. y Rueda Ordóñez, Diego A. 2009.

2.8 Secadores rotatorios

Consisten en una carcasa cilíndrica giratoria, dispuesta horizontalmente o ligeramente inclinada hacia la salida, como se observa en la Figura 2.2. Al girar la carcasa, una serie de pestañas levantan los sólidos para dejarlos caer después en forma de cascada a través del interior de la carcasa. La alimentación entra por un extremo del cilindro y el producto seco descarga por el otro, se calientan por contacto directo del gas con los sólidos, normalmente son de contraflujo, el gas caliente entra por un lado y el producto húmedo por otro movilizándose uno en dirección contraria al otro.

Los secadores rotatorios de ese tipo se utilizan con frecuencia para que no se puedan exponer directamente a gases de combustión muy calientes, o aire a gran temperatura, este tipo de secadores son de funcionamiento continuo y suelen usarse para sólidos granulados y cristalinos (Rueda, Y., Rueda, D. 2009).

FIGURA 2.2
SECADOR ROTATIVO CILÍNDRICO



Fuente: Rueda Ordóñez, Yesid J. y Rueda Ordóñez, Diego A. 2009

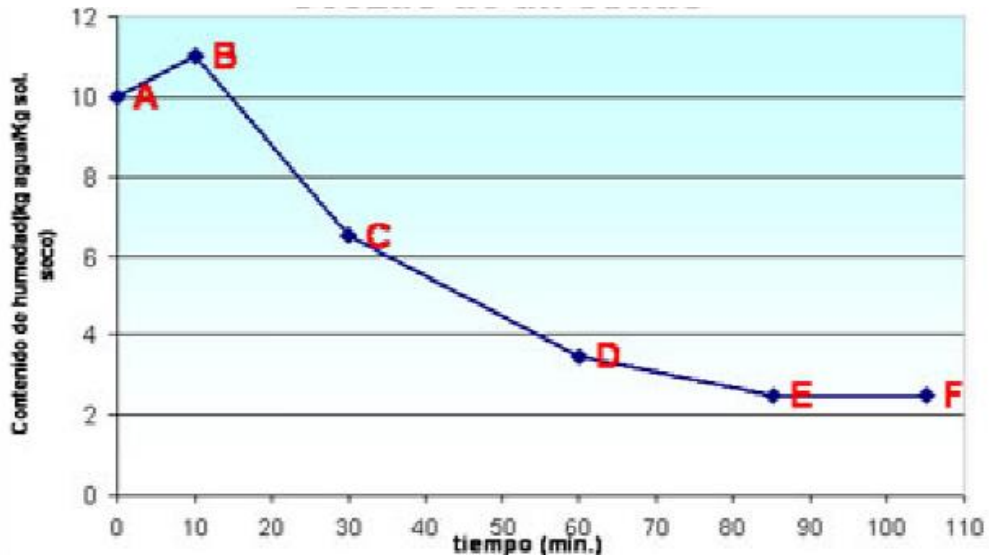
2.9 Las curvas de secado

La cinética de secado de un material no es más que la dependencia de la humedad del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas con este, como la propia humedad o las dimensiones del equipo. A partir de las curvas de secado (x vs t , dx/dt vs x), que deben ser obtenidas a nivel de laboratorio, puede tenerse una idea del tiempo de secado, del consumo de energía, del mecanismo de migración de humedad, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables del proceso tales como: temperatura, humedad de entrada, velocidad del aire, etc. Por todo esto es que determinar las curvas de secado constituye uno de los objetivos fundamentales de este trabajo (Cajamarca, E. 2010).

El secado de un material se puede verificar haciendo uso de gráficos de perfiles de secado vs tiempo de secado, hallado experimentalmente como se observa en la Figura 2.3. La velocidad del secado de una muestra se puede determinar haciendo uso de las siguientes metodologías.

- a) Por medio de una curva de contenido de humedad y tiempo de secado.
- b) Haciendo una curva de Velocidad vs contenido de humedad (Cajamarca, E. 2010).

FIGURA 2.3
PERFIL DE SECADO DE UN SOLIDO



Fuente: Ángeles Queirolo, Carlos E. 2012.

- **Período de inducción inicial:**

Cuando un sólido se coloca en una estufa de secado, comienza a absorber calor e incrementa su temperatura hasta la fijada para el secado. A medida que la temperatura aumenta, la humedad se evapora y se empieza a enfriar el sólido. Posteriormente la velocidad de enfriamiento y calentamiento se igualan y la temperatura se estabiliza.

- **Período de velocidad constante:**

En el punto B la temperatura se estabilizará y permanecerá constante siempre y cuando haya una capa de humedad remanente en la superficie del sólido. Entre los puntos B y C la humedad de evaporación de la superficie se reemplaza por el agua de difusión del

interior del sólido a una velocidad igual a la de evaporación, aquí la velocidad de secado/unidad de superficie es constante.

- **Período de decaimiento de velocidad:**

En el punto C, el agua de la superficie no se reemplazará más para mantener la capa. Pequeñas manchas empiezan a parecer y la velocidad del secado comienza a decaer. A esto se le llama contenido de humedad crítica.

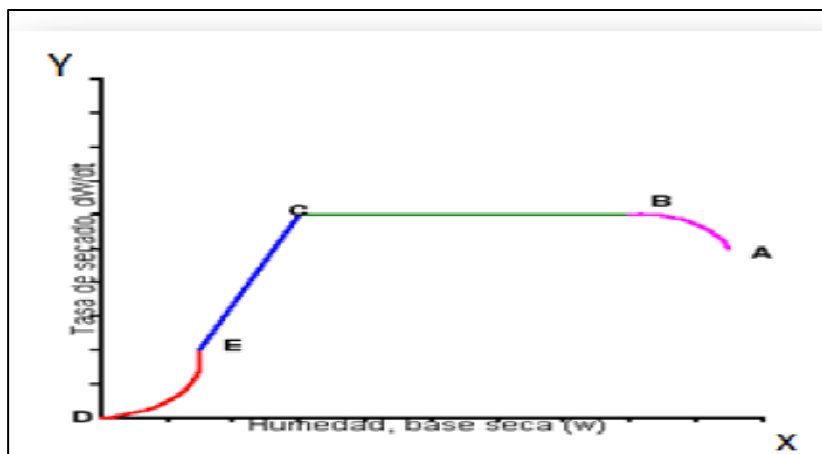
- **Contenido de humedad crítica:**

En el punto D conocido como segundo punto crítico, es el punto donde finaliza el periodo de velocidad constante. Aquí, el agua de superficie del sólido está totalmente evaporada y la velocidad de secado dependerá de la difusión de humedad a la superficie del sólido. Por lo anterior, este punto depende de la porosidad y del tamaño de partícula del sólido que se está secando. Entre los puntos D y E la velocidad de secado cae rápidamente y el periodo se denomina segundo periodo de disminución de velocidad. En el punto E la velocidad del secado es cero y comienza la humedad de equilibrio poniéndose el sólido en equilibrio con su ambiente externo (la temperatura y % de humedad es constante) (Cajamarca, E. 2010).

2.10 Curvas de régimen de secado

Generalmente se pueden apreciar dos partes notorias de la curva de régimen de secado: un período de régimen constante y uno de caída de régimen como se observa en la Figura 2.4, aunque teóricamente existen o se pueden apreciar tres etapas del proceso o períodos de secado.

FIGURA 2.4
CURVA DE SECADO VS. HUMEDAD



Fuente: Ángeles Queirolo, Carlos E. 2012.

- **Etapas A-B:**

Es una etapa de calentamiento (o enfriamiento) inicial del sólido normalmente de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases. Este equilibrio se alcanza a la temperatura de bulbo húmedo del gas.

- **Etapa B-C:**

Es el llamado primer período de secado o período de velocidad de secado constante; donde se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas. En este período el sólido tiene un comportamiento no higroscópico. La velocidad de secado se mantiene constante si el gas tiene un estado estacionario y en general depende solo de las propiedades y velocidad del mismo. Si durante el proceso, el gas se enfría, la velocidad de secado decrece, pero sigue en esta zona dependiendo de factores externos al sólido. Durante este período la temperatura del sólido se mantiene igual a la de bulbo húmedo del gas, ya que se mantiene el equilibrio alcanzado al final de la etapa de calentamiento.

- **Etapa C-E:**

Es el segundo período de secado o período de velocidad de secado decreciente; donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas o las características internas y externas simultáneamente. En estas condiciones el sólido tiene un comportamiento higroscópico. Durante el período, la temperatura del material sobrepasa la de bulbo húmedo debido a que el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantiene estable la temperatura y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido. Ahora la humedad deberá ser

extraída del interior del material con el consiguiente incremento de la resistencia a la evaporación.

Este período de velocidad decreciente puede dividirse en dos partes, con diferentes comportamientos de la velocidad de secado, la cual decrece cada vez más al disminuir la humedad del sólido. Esto implica dos modelos de secado diferente en dicha zona. Un parámetro muy importante a determinar en los materiales a secar es la humedad a la cual se cambia del primero al segundo período, llamada humedad crítica. Esta depende del tipo del material y de la relación de secado en el primer período. La forma de la curva de secado en el segundo período varía en dependencia de las características del material a secar. Existen curvas típicas de cuerpos capilar-porosos con grandes superficies específicas y de pequeñas superficies específicas, así como de cuerpos coloidales (Cajamarca, E. 2010).

Se reportan algunos trabajos donde se han realizado estudios de curvas de secado específicamente de bagazo. (Guerra 1971) lo realizó a baja temperatura y no detectó valor alguno de humedad crítica, partiendo de una humedad del 50 %. (Grobart 1973) determinó un valor constante de humedad crítica de 44.66 % para un rango de temperatura del aire entre 45 °C y 70 °C. (Martínez 1988) obtiene una gran cantidad de secado para bagazo en cama fija donde se aprecia la humedad crítica alrededor del 30 % aunque

no da directamente correlaciones para determinarla y trabaja solamente hasta una temperatura del agente secante de 90 °C.

Una de las tareas primarias en el estudio del secado de un sólido, es la identificación del modelo que más adecuadamente se pueda ajustar a los datos experimentales de secado. La adecuación de un modelo de secado consiste en la estimación de sus parámetros según algún criterio de comportamiento que tome en cuenta la magnitud de la humedad media del sólido y la magnitud de la humedad calculada por el modelo propuesto.

También tenemos a (Novoa y Haber 1995), quienes realizaron un estudio sobre el secado del cacao donde con el proceso de secado lograron una disminución de la humedad del grano hasta un nivel tal que garantiza la conservación en las debidas condiciones hasta su industrialización.

El método utilizado para el procesamiento de los datos experimentales y ajustar los modelos matemáticos de las curvas de secado, se basó en una ecuación cinética que permite describir todo el proceso de secado incluyendo ambos períodos, donde todos los parámetros de la ecuación se pueden determinar fácilmente a partir de la curva de secado y las condiciones límites.

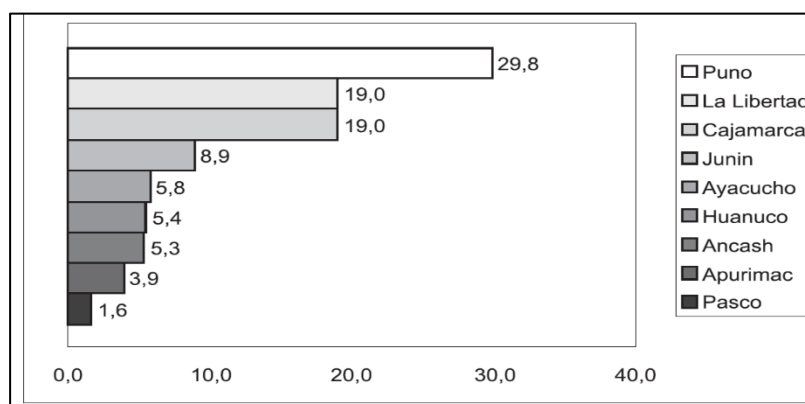
2.11 La Oca (*Oxalis tuberosa*) y su producción andina

La oca es un producto típico de los Andes peruanos, se remite alrededor de 8000 años de antigüedad. También se encuentra en Bolivia y Ecuador. Se ha hallado algunos vestigios de ella en algunas tumbas ancestrales. La Oca es uno de los tubérculos más valiosos del Perú, junto a la papa, el olluco y la mashua. La oca crece entre los 2,800 y 4,000 metros sobre el nivel del mar y puede llegar a medir entre 20 y 30 cm de alto.

Forma parte importante de la alimentación del habitante andino. Se produce en los departamentos de Ancash, Apurímac, Ayacucho, Huánuco, Puno y Junín. La producción de la Oca en el Perú durante el período 2000 – 2005 se produjo en el departamento de Junín como observamos en el Gráfico 2.1.

GRÁFICO 2.1

PRODUCCIÓN DE OCA EN EL PERÚ (en miles de TM promedio para el periodo 2000- 2005)



Fuente: Proceso de Industrialización a nivel de Planta Piloto de la Oca (*Oxalis Tuberosa*). UNMSM. 2008.

2.12 Taxonomía y Morfología de la Oca

La taxonomía y morfología de la oca (*Oxalis tuberosa*) lo observamos en la Tabla 2.2.

TABLA 2.2

TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DE LA OCA

Reino	Vegetal
Clase	Dicotiledonea
Subclase	Dicotyledoneae
Orden	Geraniales
Familia	Oxalidaceae (oxalis)
Género	Oxalis

Fuente: Cajamarca Ruiz, Esther E. 2010

2.13 Tipos de Oca

Existen al menos 50 variedades. Las mejores colecciones de germoplasma en el Perú están en Cusco (400 accesos), Puno y Huancayo, y en Ecuador en Quito.

Las más comunes en nuestro país son las siguientes:

- Zapallo oca, de tubérculos amarillos.
- Chachapea oca, de tubérculos grises y dulces.
- Paucar oca, de tubérculos rojos y dulces.
- Mestiza oca, de tubérculos blancos.
- Nigro oca, de tubérculos negruzcos.
- Luncho oca, de tubérculos blancos y amargos, usados en la preparación de chuño.

- Huari chuchu, de tubérculos rojos muy alargados.
- Khella sunti, de tubérculos blanquecinos muy desteñidos.
- Chair achacana, de tubérculos amarillos con listones negros.
- Lluchu gorra, de tubérculos rosados que al cocinarse desprenden su hollejo.
- Kheni harinosa, de tubérculos amarillos muy intenso, casi anaranjados.
- Uma huaculla, de tubérculos rojos con yemas negras y gran tamaño (Portal Perú Ecológico, 2012).

2.14 Propiedades y valor nutritivo de la Oca.

La oca es un valioso recurso nutricional de la Región Andina. Es una fuente importante de carbohidratos, calcio, fósforo, hierro y posee un alto contenido de vitamina C.

- Tiene un alto poder nutritivo, al igual que la papa.
- Se utiliza para lograr una rápida cicatrización.
- Sirve como un efectivo astringente.
- Son reconocidos sus beneficios para reducir el dolor y la hinchazón de las heridas.
- El cocimiento de las hojas se usa contra el dolor de oído.
- Se utiliza como almidón.

- Se consume cocida y usualmente se pone al sol y se deshidrata. Al ponerse al sol se pone más dulce. También lo utilizan para hacer dulces y postres.
- El tallo de la Oca es un excelente forraje para los animales.

La composición nutritiva de los tubérculos en 100 gramos de parte comestible fresca, y de la kaya (tubérculo congelado y deshidratado) se puede observar en la Tabla 2.3.

TABLA 2.3
COMPOSICIÓN NUTRITIVA DE LA OCA (100 g)

	Oca fresca	Kaya
Energía (kcal)	61	325
Agua (%)	84.1	15.3
Proteína (g)	1	4.3
Carbohidratos (g)	13.3	75.4
Ceniza (g)	1	3.9
Calcio (mg)	2	52
Fósforo (mg)	36	171
Hierro (mg)	1.6	9.9
Vitamina C (mg.)	38.4	2.4

Fuente: Caracterización y determinación de ecotipos de Oca (Oxalis tuberosa) para el procesamiento de harinas en la quebrada de Ancash. UNMSM. 2007

2.15 Importancia alimentaria de la Oca.

Es un valioso recurso nutricional de la región andina. Es una fuente importante de carbohidratos, calcio, fósforo y hierro. Algunas son ligeramente dulces, especialmente luego de haber sido expuestas al sol por algunos días. Los usos medicinales son múltiples, entre los más reconocidos está su efecto astringente, que produce una acción

cicatrizante, antiinflamatoria y antihemorrágica. El zumo de las hojas sirve para el dolor de los oídos y el emplasto es utilizado para desinflamar los testículos. (Quezada, Rocío G. 2013).

2.16 Definición de términos básicos

- **Actividad del agua (Aw):** Se entiende como actividad de agua (valor aw), la humedad en equilibrio de un producto, determinada por la presión parcial del vapor de agua en su superficie. El valor aw depende de la composición, la temperatura y el contenido en agua del producto. Tiene incidencia sobre las características de calidad, y su tiempo de conservación.
- **Carta psicométrica:** Diagrama que representa el sistema aire-vapor de agua correspondiente a diferentes temperaturas.
- **Compuestos higroscópicos:** son todas aquellas sustancias que atraen agua en forma de vapor o de líquido de su ambiente, de ello su principal aplicación como desecantes. Muchos de ellos reaccionan químicamente con el agua como los hidruros o los metales alcalinos. Otros lo atrapan como agua de hidratación en su estructura cristalina como es el caso del sulfato sódico. El agua también puede adsorberse físicamente.
- **Humedad:** Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.

- **Humedad crítica:** Es el punto que separa los dos períodos de secado antecrítico y poscrítico.
- **Humedad absoluta:** Peso del vapor de agua que contiene el aire de un lugar por unidad de volumen; se mide generalmente en g/m^3 .
- **Liofilización:** La liofilización es una técnica de deshidratación por frío, un proceso común en la industria alimentaria conocido como deshidrocongelación el cual tiene la virtud de mantener al máximo las propiedades organolépticas de los alimentos. Este método se realiza al vacío.
- **Período antecrítico:** Es el período de tiempo en el que la velocidad de secado es constante, desde la humedad inicial hasta la humedad crítica.
- **Período poscrítico:** Es el período de tiempo en el que la velocidad de secado disminuye hasta llegar a un valor de cero. Este período empieza con la humedad crítica hasta la humedad de equilibrio.
- **Punto de rocío:** Temperatura a la que una mezcla dada de vapor de agua y aire se satura.
- **Temperatura de bulbo húmedo:** Temperatura de equilibrio termodinámico entre la velocidad de transferencia de calor por convección y la velocidad de transferencia de materia que abandona la superficie.

- **Temperatura de bulbo seco:** Temperatura del aire que no considera los factores ambientales, es medida con un termómetro convencional.
- **Vida útil:** La vida útil de un alimento es el periodo de tiempo que transcurre entre la producción o envasado del producto alimenticio y el punto en el cual el alimento pierde sus cualidades físico-químicas y organolépticas.

CAPÍTULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS

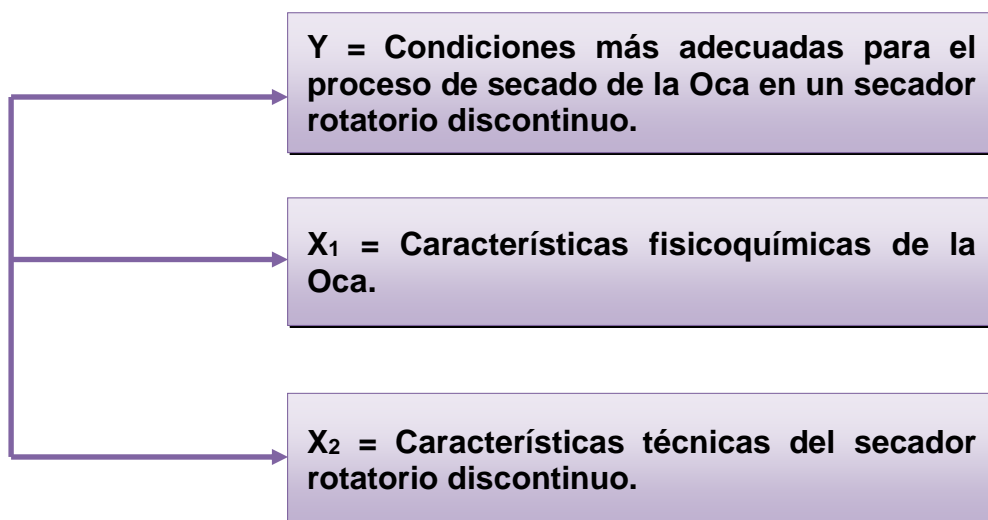
3.1 Variables de la investigación

La presente investigación se caracteriza por ser longitudinal estudiando la variable a lo largo del tiempo establecido, por ser éste el determinante en la relación causa efecto.

Por su naturaleza, todas las variables identificadas son del tipo cuantitativas. Por su dependencia Y es dependiente, y las variables X_1 y X_2 son independientes.

Es decir: $Y = f(X_1, X_2)$. La Figura 3.1 muestra la relación entre las variables.

FIGURA 3.1
RELACIÓN DE LAS VARIABLES DE INVESTIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia

3.2 Operacionalización de variables

TABLA 3.1
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y = Condiciones más adecuadas para el proceso de secado de la Oca en un secador rotatorio discontinuo.	<ul style="list-style-type: none"> - Humedad de la oca seca. - Carga de materia prima a secar. - Temperatura de secado. - Geometría de corte de la muestra. 	<ul style="list-style-type: none"> % g °C cm. 	Ensayos experimentales
VARIABLES IND.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X ₁ = Características fisicoquímicas de la Oca.	<ul style="list-style-type: none"> - Densidad. - Humedad inicial. - Temperatura de estabilidad química. 	<ul style="list-style-type: none"> g/cm³ % °C 	Análisis de laboratorios o bibliografías.
X ₂ = Características técnicas del secador rotatorio discontinuo.	<ul style="list-style-type: none"> - Longitud - Diámetro 	<ul style="list-style-type: none"> cm cm 	Evaluación técnica.

Fuente: Elaboración propia

3.3 Hipótesis general e Hipótesis específicas

Hipótesis General

El proceso de secado de la oca en un secador rotatorio discontinuo depende de factores como la humedad, carga de materia prima a secar, temperatura de secado y geometría de corte de la muestra.

Hipótesis Específicas

- a. La selección de la oca a través de la evaluación fisicoquímica permitirá definir las características iniciales de la materia prima a ser procesada.
- b. Las condiciones de proceso de secado estarán definidas por las características del secador rotatorio discontinuo.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo de Investigación

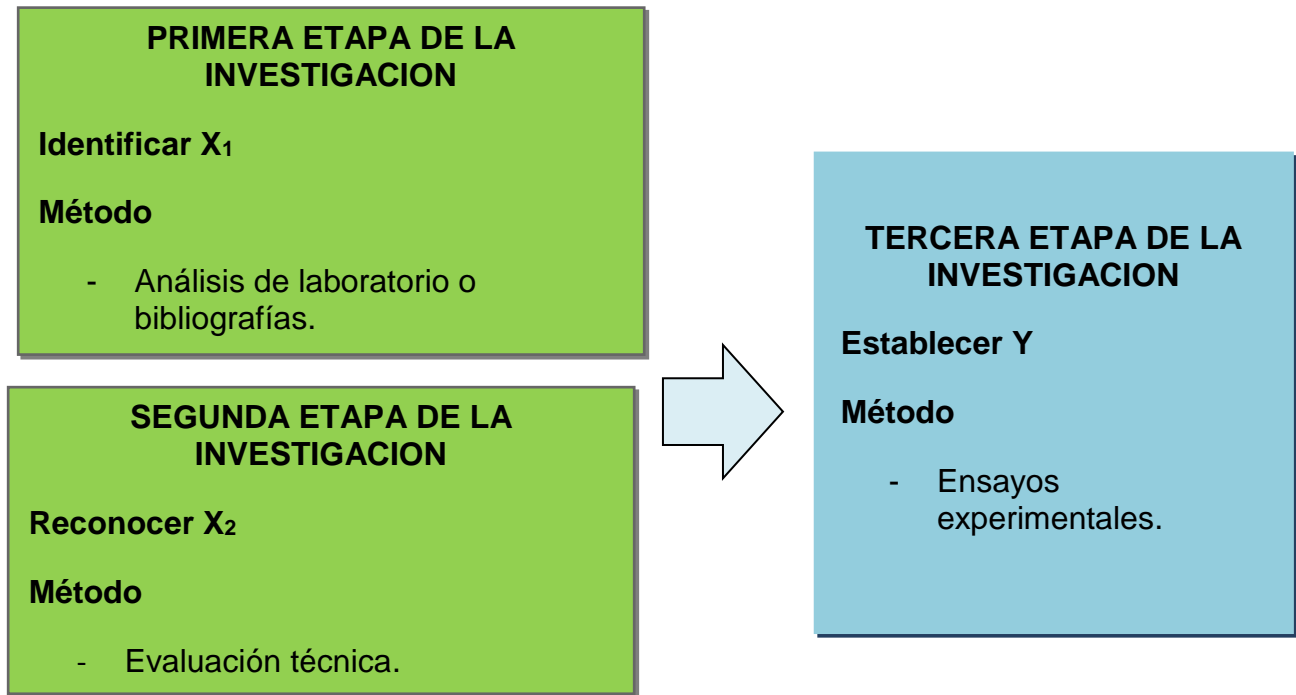
Los tipos de investigaciones que se realizaron en el presente trabajo de tesis fueron:

- **Por su nivel de estudios** es de tipo exploratorio, puesto que busca identificar metodología e investigaciones similares para conseguir nuevos rumbos en la investigación del conocimiento proceso de secado de la oca.
- **Por su diseño interpretativo** es experimental porque nos permitirá manipular el factor causal para determinar el efecto deseado.
- **Por el énfasis de la naturaleza de los datos manejados** es del tipo cuantitativa porque las variables de la investigación son de carácter medible.
- **Por el ámbito de desarrollo** es de laboratorio, ya que se realizará a nivel laboratorio.

4.2 Diseño de la Investigación

La presente investigación se ha considerado tres momentos, los cuales se aprecia en la Figura 4.1

FIGURA 4.1
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia

DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

El procedimiento para el desarrollo experimental es el siguiente:

- 1.- Pesar aproximadamente 1g de la muestra el cual tenía una geometría de corte de 1.2 cm (diámetro).
- 2.- Pesar la bolsita de organza para luego colocar la muestra dentro de ella.
- 3.- Introducir la muestra en el secador rotatorio discontinuo y proceder a secar a una temperatura establecida.
- 4.- Controlar el peso en intervalos de tiempo de 10 minutos, hasta llegar a un peso constante.
- 5.- Realizar el proceso a diferentes temperaturas, las temperaturas establecidas para el tratamiento fueron (60, 70, 80, 90) °C.
- 6.- Realizar la cantidad de corridas necesarias hasta lograr una mejor aproximación a su comportamiento y obtener una curva ideal de secado luego de haber realizado los cálculos, descartar las corridas que no se aproximen a dicho comportamiento.

4.3 Población y muestra

El criterio población y muestra no fue aplicado en la siguiente investigación; más bien se aplicó el criterio de muestra experimental siendo de 1g aproximadamente en cada corrida experimentada que se realizó. Estas muestras fueron adquiridas en el mercado mayorista de la parada proveniente de Junín.

4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Técnicas

- Ensayos experimentales
- Evaluación técnica
- Análisis bibliográfico

Instrumentos

- Balanza analítica al 0,0001g
- Balanza de humedad
- Calibrador vernier

Materiales para recolectar datos

- Pinza de acero
- Cuchillo, tabla de picar
- Placa Petri, probeta
- Cinta métrica o wincha
- Cronómetro
- Bolsitas de organza, papel aluminio.

4.5 Procedimiento de recolección de datos

4.5.1 Determinación de humedades

Esta información se obtuvo secando la muestra por intervalos de tiempo para luego ser pesada hasta llegar a un peso constante.

Cálculo de la humedad del sólido:
$$X = \frac{W_i - W_f}{W_f}$$

X = humedad del sólido

W_i = peso inicial del sólido

W_f = peso final del sólido

4.5.2 Determinación del tiempo de secado

Esta información se obtuvo al igual que la determinación de la humedad; secando la muestra por intervalos de tiempo de 10 minutos hasta llegar a un peso constante. El formato que se utilizó lo observamos en la Tabla 4.1.

TABLA 4.1
FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

T(min)	W_s (g)	X
θ_1	W_1	X_1
θ_2	W_2	X_2
θ_3	W_3	X_3
θ_4	W_4	X_4
θ_5	W_5	X_5
....
θ_n	W_n	X_n

Fuente: Elaboración propia

4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos

4.6.1 Determinación de la curva de secado

Todos los cálculos estadísticos para hallar el modelo matemático y las gráficas de las curvas de secado; se realizaron en el programa Microsoft Excel.

Para la realización de las curvas de secado se aplicó una regresión a los datos obtenidos que se aproximen a su comportamiento.

Curva de Secado

El secado de un material se puede verificar haciendo uso de gráfico por medio de una curva de contenido de humedad vs tiempo de secado hallado experimentalmente.

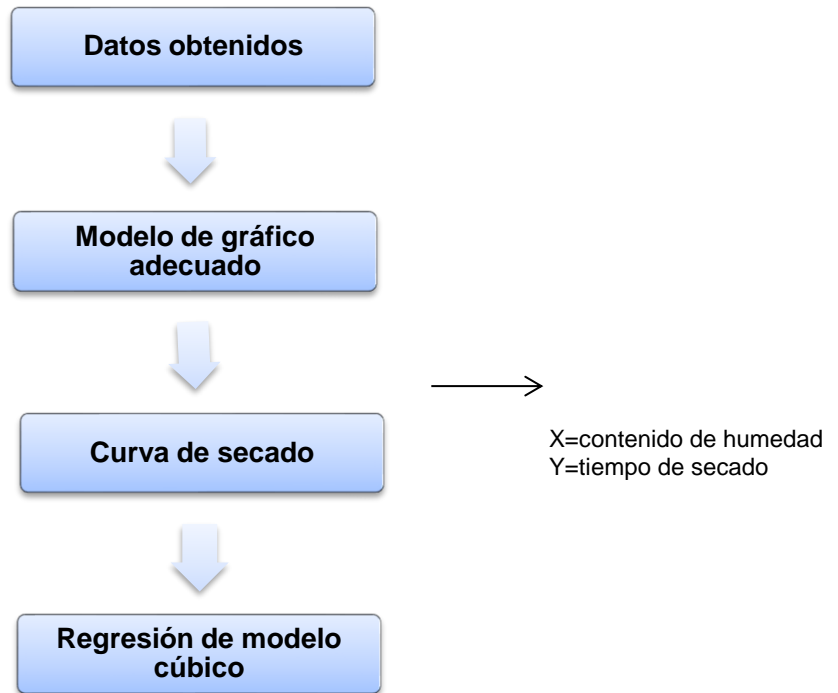
Por el conocimiento que tenemos del tema es una:

Regresión de modelo cúbica: dadas dos variables (Y: Contenido de humedad (kg agua/kg sólido); X: tiempo (min)) se trata de encontrar una función cúbica (de grado 3) de X que nos permita aproximar Y mediante: $Y = ax^3 + bx^2 + cx + d$

Representación del Análisis estadísticos de datos

El Gráfico 4.1, representa el diagrama de bloques de análisis estadísticos de datos que se utilizó, obtenidas posteriormente a las corridas experimentales.

GRÁFICO 4.1
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE DATOS



Fuente: Elaboración propia

4.6.2 Determinación y análisis estadísticos de los diez modelos matemáticos

En esta investigación, se utilizará el software Polymath (versión educacional de libre uso) para la regresión de mínimos cuadrados de los diez modelos matemáticos seleccionados.

Para el análisis estadístico se realizó un ANOVA (análisis de varianza) sobre los valores de "R²" y "Varianza" asociados a los modelos matemáticos de la curva de secado con el software Minitab.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Resultados de Humedad y Tiempo del Proceso de Secado de la oca a 60°C

El proceso de secado se inició con la temperatura de 60°C evidenciándose que a un tiempo de 2 horas y 10 minutos el peso de la oca es constante, tal como se observa en la Tabla 5.1 y Gráfico 5.1.

$$- W_b = 0.305g$$

$$- W_o = 1.013g$$

$$- M_s = W_b + W_o$$

$$M_s = 0.305 + 1.013$$

$$M_s = 1.318g$$

$$- X = \frac{W_i - W_f}{W_f}$$

$$X = \frac{1.318 - 0.738}{0.738}$$

$$X = 0.785907859$$

Donde:

W_b = peso de la bolsita organza (g)

W_o = peso de la muestra de oca (g)

M_s = masa total a secar (g)

X = humedad

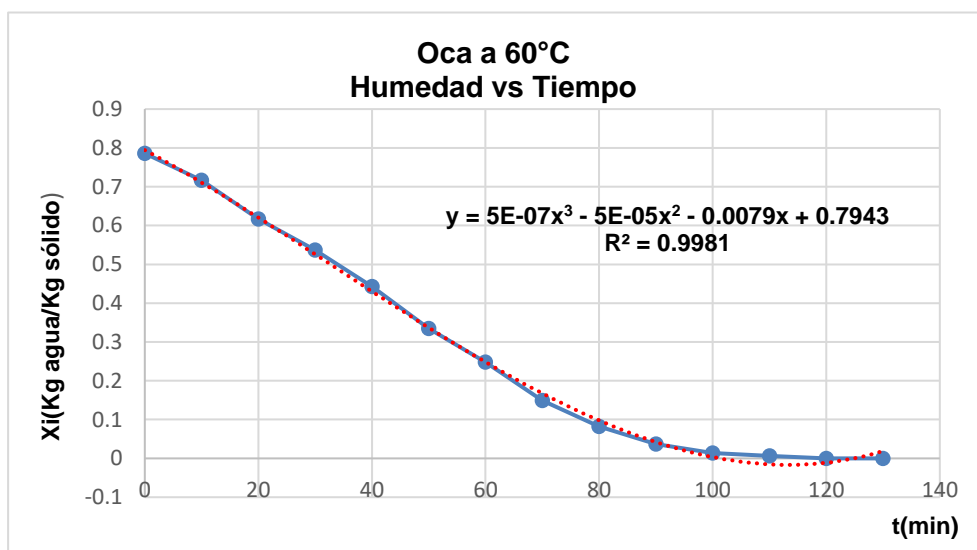
W_i = peso inicial del sólido , W_f = peso final del sólido

TABLA 5.1
RESULTADOS DE HUMEDAD Y TIEMPO DEL PROCESO DE SECADO
DE LA OCA A 60°C

t	Ms	X
0	1.318	0.785907859
10	1.267	0.716802168
20	1.193	0.616531165
30	1.134	0.536585366
40	1.065	0.443089431
50	0.985	0.334688347
60	0.921	0.24796748
70	0.848	0.149051491
80	0.799	0.082655827
90	0.765	0.036585366
100	0.748	0.013550136
110	0.743	0.006775068
120	0.738	0
130	0.738	0

Fuente: Elaboración propia

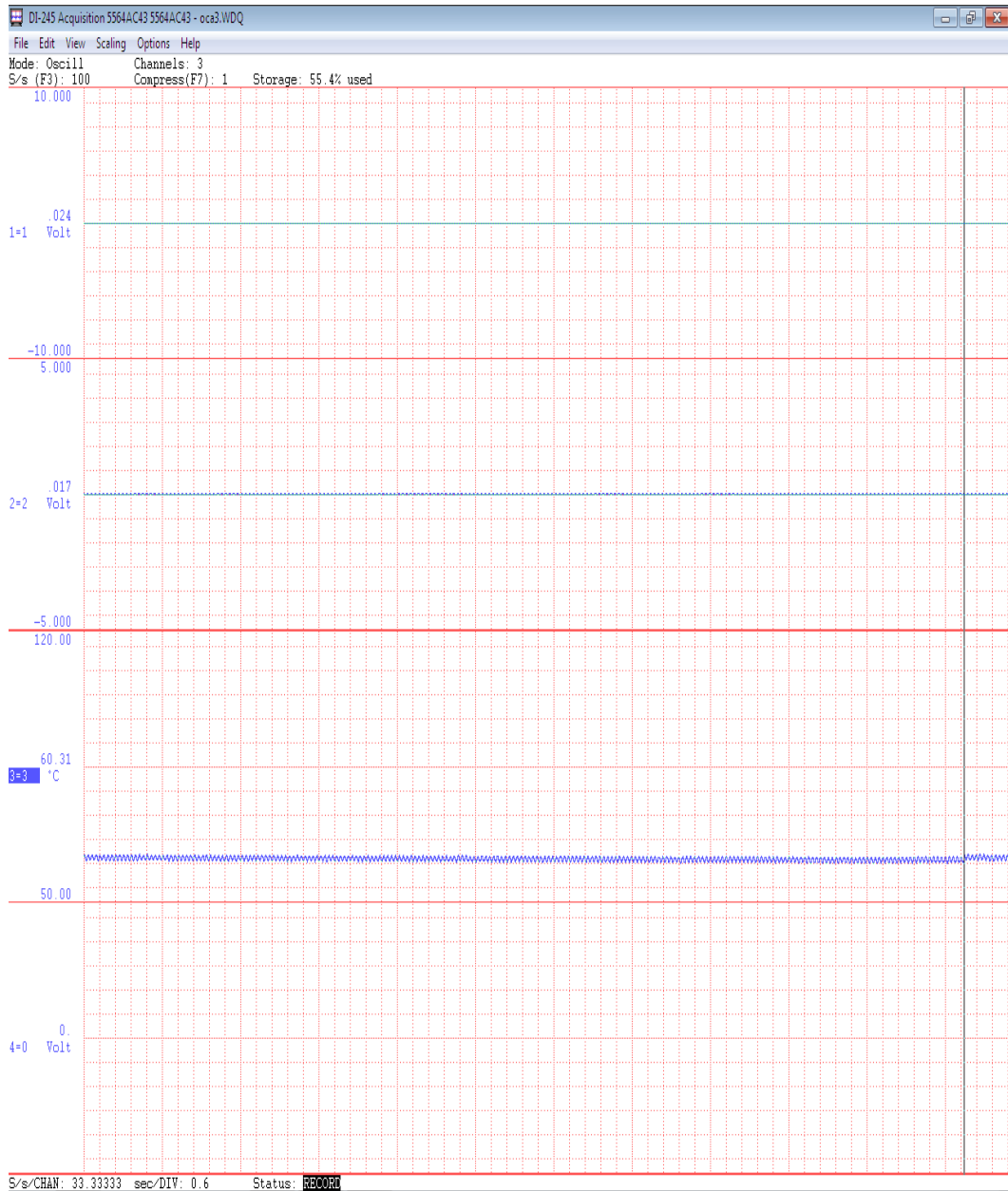
GRÁFICO 5.1
CURVA DE SECADO DE LA OCA A 60°C



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.1

LECTURA A LA TEMPERATURA DE 60°C EN EL PROGRAMA



Fuente: Elaboración propia

5.2 Resultados de Humedad y Tiempo del Proceso de Secado de la oca a 70°C

El proceso de secado siguiente se realizó a la temperatura de 70°C evidenciándose que a un tiempo de 1 hora y 40 minutos el peso de la oca es constante, tal como se observa en la Tabla 5.2 y Gráfico 5.2.

- $W_b = 0.309g$

- $W_o = 1.047g$

- $M_s = 1.356g$

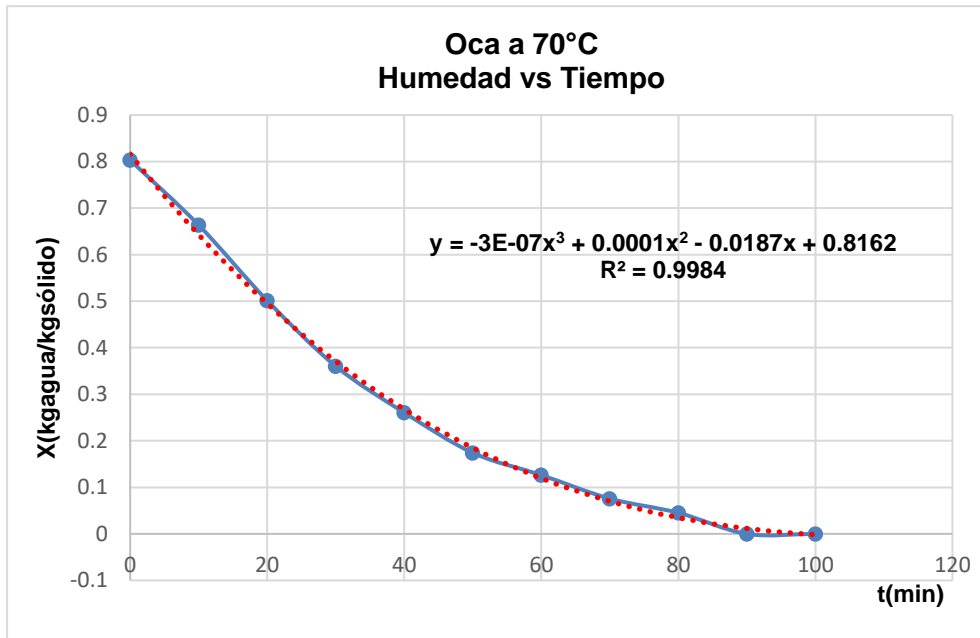
TABLA 5.2
RESULTADOS DE HUMEDAD Y TIEMPO DEL PROCESO DE SECADO
DE LA OCA A 70°C

T	Ms	X
0	1.356	0.80319149
10	1.251	0.66356383
20	1.129	0.50132979
30	1.023	0.36037234
40	0.948	0.2606383
50	0.883	0.17420213
60	0.847	0.12632979
70	0.809	0.07579787
80	0.786	0.04521277
90	0.752	0
100	0.752	0

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.2

CURVA DE SECADO DE LA OCA A 70°C



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.2

LECTURA A LA TEMPERATURA DE 70°C EN EL PROGRAMA



Fuente: Elaboración propia

5.3 Resultados de Humedad y Tiempo del Proceso de Secado de la oca a 80°C

El proceso de secado posterior se realizó a la temperatura de 80°C evidenciándose que a un tiempo de 1 hora y 20 minutos el peso de la oca es constante, tal como se observa en la Tabla 5.3 y Gráfico 5.3.

- $W_b = 0.315g$

- $W_o = 1.109g$

- $M_s = 1.424g$

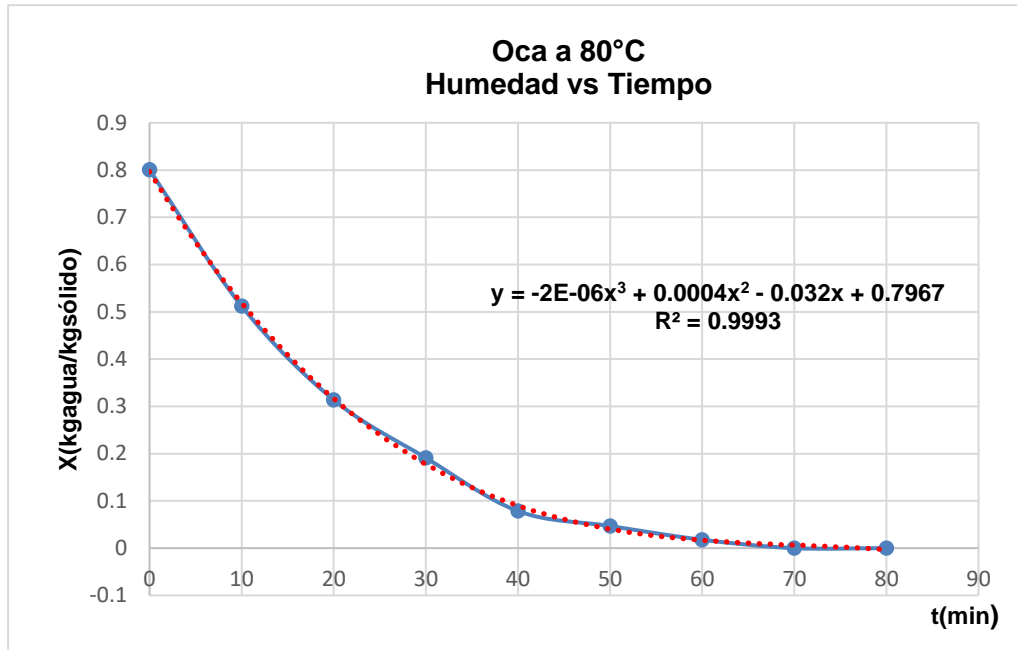
TABLA 5.3
RESULTADOS DE HUMEDAD Y TIEMPO DEL PROCESO DE SECADO
DE LA OCA A 80°C

T	Ms	X
0	1.424	0.80025284
10	1.196	0.51201011
20	1.039	0.31352718
30	0.942	0.1908976
40	0.853	0.0783818
50	0.828	0.04677623
60	0.805	0.01769912
70	0.791	0
80	0.791	0

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.3

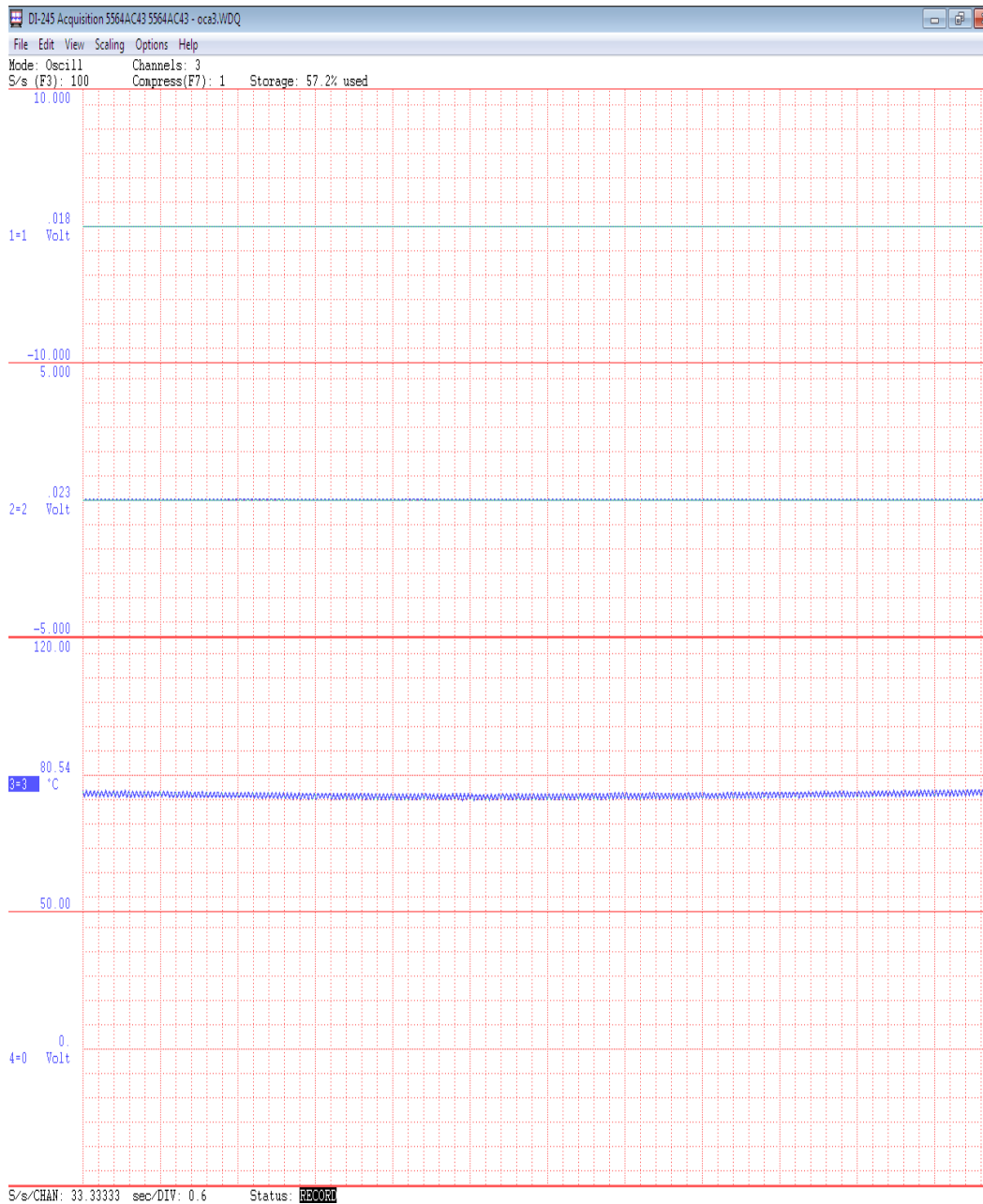
CURVA DE SECADO DE LA OCA A 80°C



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.3

LECTURA A LA TEMPERATURA DE 80°C EN EL PROGRAMA



Fuente: Elaboración propia

5.4 Resultados de Humedad y Tiempo del Proceso de Secado de la oca a 90°C

Y por último se realizó el proceso de secado a la temperatura de 90°C evidenciándose que a un tiempo de 1 hora y 10 minutos el peso de la oca es constante, tal como se observa en la Tabla 5.4 y Gráfico 5.4.

- $W_b = 0.312g$

- $W_o = 1.178g$

- $M_s = 1.49g$

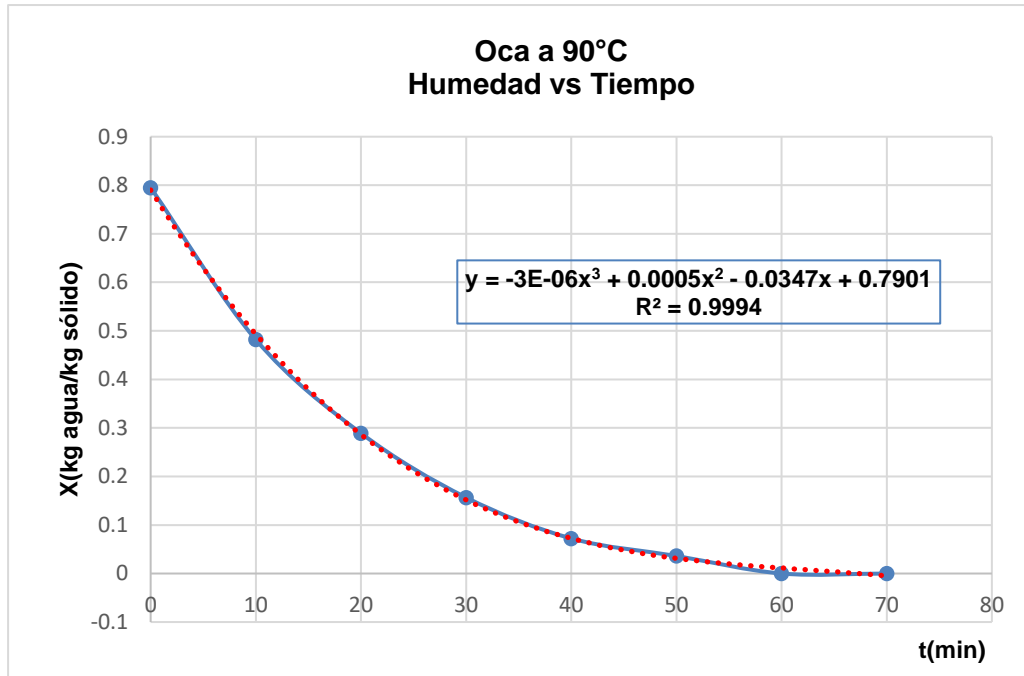
TABLA 5.4
RESULTADOS DE HUMEDAD Y TIEMPO DEL PROCESO DE SECADO
DE LA OCA A 90°C

T	Ms	X
0	1.49	0.79518072
10	1.23	0.48192771
20	1.07	0.28915663
30	0.96	0.15662651
40	0.89	0.07228916
50	0.86	0.03614458
60	0.83	0
70	0.83	0

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.4

CURVA DE SECADO DE LA OCA A 90°C



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.4

LECTURA A LA TEMPERATURA DE 90°C EN EL PROGRAMA



Fuente: Elaboración propia

5.5 Modelos Matemáticos seleccionados para el Secado de la oca (oxalis tuberosa)

TABLA 5.5
MODELOS MATEMÁTICOS

N°	Modelo	Ecuación	Constantes
1	Dos términos exponencial	$X(t) = ae^{(-Kt)} + (1-a)e^{(-Kat)}$	a, K
2	Dos términos	$X(t) = ae^{(-Kt)} + be^{(-gt)}$	a, K, b, g
3	Henderson y Pabis modificado	$X(t) = ae^{(-Kt)} + be^{(-gt)} + ce^{(-ht)}$	a, K, b, g, c, h
4	Henderson	$X(t) = ae^{(-Kt)}$	a, K
5	Logarítmico	$X(t) = ae^{(-Kt)} + c$	a, K, c
6	Midilli	$X(t) = ae^{(-Kt^n)} + bt$	a, K, n, b
7	Newton	$X(t) = e^{(-Kt)}$	K
8	Page	$X(t) = e^{(-Kt^n)}$	K, n
9	Verma	$X(t) = ae^{(-Kt)} + (1-a)e^{(-gt)}$	a, K, g
10	Wang and Singh	$X(t) = 1 + at + bt^2$	a, b

Fuente: Elaboración propia

Regresión de Mínimos Cuadrados:

Dada la ecuación de modelo 'Dos términos exponencial':

$$\hat{X}_i = X(t) = ae^{(-Kt)} + (1-a)e^{(-Kat)}$$

Se define la función objetivo:

$$S = \sum (X_i - \hat{X}_i)^2$$

$$S = \sum \left[X_i - \left(ae^{(-Kt_i)} + (1-a)e^{(-Kat_i)} \right) \right]^2$$

Dónde:

S : Función objetivo

X_i, t_i : Datos experimentales

\hat{X}_i : Predicción del modelo matemático

a, K : Constantes del modelo

Aplicando la condición de mínimo para la constante a :

$$\frac{dS}{da} = 0$$

$$\frac{dS}{da} = \sum [X_i - ae^{-Kt_i} - (1-a)e^{-Kat_i}]^2,$$

$$\frac{dS}{da} = \sum 2[X_i - ae^{-Kt_i} - (1-a)e^{-Kat_i}][X_i - ae^{-Kt_i} - (1-a)e^{-Kat_i}]'$$

$$\frac{dS}{da} = 2 \sum [X_i - ae^{-Kt_i} - (1-a)e^{-Kat_i}][-e^{-Kt_i} + e^{-Kat_i}(Kt_i - aKt_i + 1)]$$

$$\frac{1}{2} \frac{dS}{da} = \sum [X_i - ae^{-Kt_i} - (1-a)e^{-Kat_i}][-e^{-Kt_i} + e^{-Kat_i}(Kt_i - aKt_i + 1)] = 0 \quad \dots (\alpha)$$

Aplicando la condición de mínimo para la constante K :

$$\frac{dS}{dK} = 0$$

$$\frac{dS}{dK} = \sum [X_i - ae^{-Kt_i} - (1-a)e^{-Kat_i}]^2,$$

$$\frac{dS}{dK} = \sum 2[X_i - ae^{-Kt_i} - (1-a)e^{-Kat_i}][X_i - ae^{-Kt_i} - (1-a)e^{-Kat_i}]'$$

$$\frac{dS}{dK} = 2 \sum [X_i - ae^{-Kt_i} - (1-a)e^{-Kat_i}][at_i e^{-Kt_i} + (1-a)at_i e^{-Kat_i}]$$

$$\frac{1}{2} \frac{dS}{dK} = \sum [X_i - ae^{-Kt_i} - (1-a)e^{-Kat_i}][at_i e^{-Kt_i} + (1-a)at_i e^{-Kat_i}] = 0 \quad \dots (\beta)$$

Desarrollando las expresiones de sumatoria de las ecuaciones (α) y (β)

De (α):

$$\begin{aligned} & \left[X_1 - ae^{-Kt_1} - (1-a)e^{-Kat_1} \right] \left[-e^{-Kt_1} + e^{-Kat_1} (Kt_1 - aKt_1 + 1) \right] + \\ & \left[X_2 - ae^{-Kt_2} - (1-a)e^{-Kat_2} \right] \left[-e^{-Kt_2} + e^{-Kat_2} (Kt_2 - aKt_2 + 1) \right] + \\ & \vdots \\ & \left[X_n - ae^{-Kt_n} - (1-a)e^{-Kat_n} \right] \left[-e^{-Kt_n} + e^{-Kat_n} (Kt_n - aKt_n + 1) \right] = 0 \end{aligned}$$

De (β):

$$\begin{aligned} & \left[X_1 - ae^{-Kt_1} - (1-a)e^{-Kat_1} \right] \left[at_1 e^{-Kt_1} + (1-a)at_1 e^{-Kat_1} \right] + \\ & \left[X_2 - ae^{-Kt_2} - (1-a)e^{-Kat_2} \right] \left[at_2 e^{-Kt_2} + (1-a)at_2 e^{-Kat_2} \right] + \\ & \vdots \\ & \left[X_n - ae^{-Kt_n} - (1-a)e^{-Kat_n} \right] \left[at_n e^{-Kt_n} + (1-a)at_n e^{-Kat_n} \right] = 0 \end{aligned}$$

Se obtiene un sistema no lineal de ecuaciones con dos variables a , K el cual puede ser resuelto mediante métodos numéricos tales como Newton Raphson, Gauss newton, Levenberg–Marquardt, entre otros.

Se utilizará el software Polymath (versión educacional de libre uso) para la regresión de mínimos cuadrados de los diez modelos matemáticos seleccionados.

5.6 Resultados de la Regresión de los Modelos Matemáticos

1. Modelo Dos términos exponencial

Ecuación: $X(t) = ae^{(-Kt)} + (1-a)e^{(-Kat)}$

TABLA 5.6

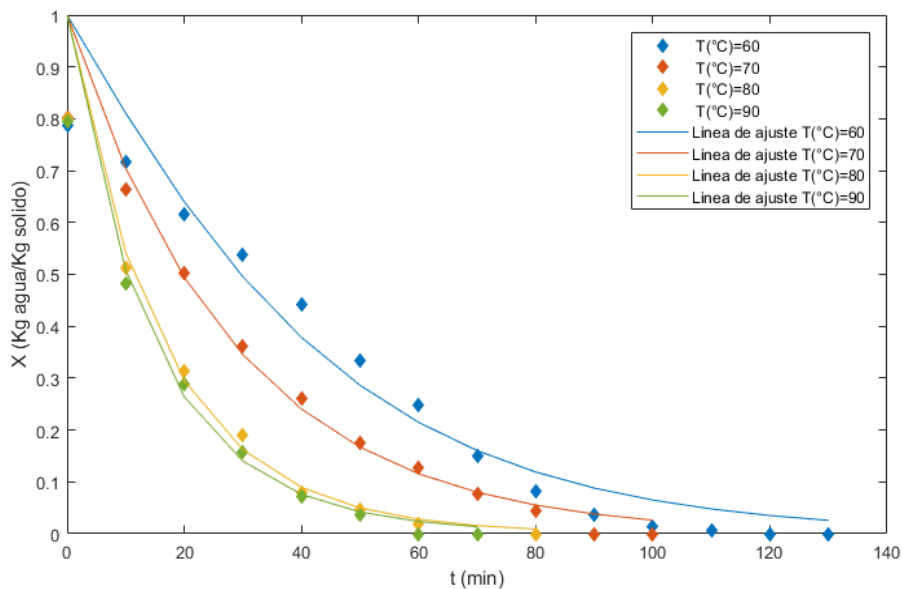
CONSTANTES DEL MODELO DOS TERMINOS EXPONENCIAL

T(°C)	Constantes		Estadísticos	
	A	K	R ²	Varianza
60	1.626782	0.0316664	0.9303315	0.0062354
70	1.30424	0.0383286	0.9430942	0.0048343
80	0.7420362	0.0659686	0.9313063	0.0060766
90	0.6288518	0.0797065	0.9208436	0.0073885

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.5

AJUSTE DEL MODELO DOS TERMINOS EXPONENCIAL



Fuente: Elaboración propia

2. Modelo Dos términos

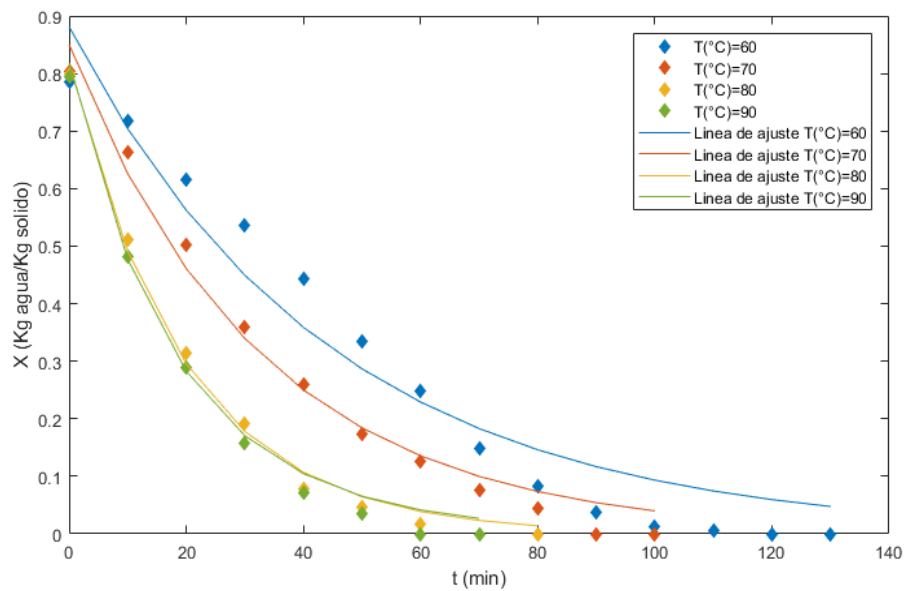
Ecuación: $X(t) = ae^{(-Kt)} + be^{(-gt)}$

TABLA 5.7
CONSTANTES DEL MODELO DOS TERMINOS

T(°C)	Constantes				Estadísticos	
	a	K	b	g	R ²	Varianza
60	0.5236811	0.022459	0.3575257	0.0224581	0.9460709	0.005792
70	0.5701592	0.0305986	0.2797605	0.0305973	0.9845079	0.0016921
80	0.5856844	0.0507766	0.2297075	0.0507746	0.9943554	0.000699
90	0.5763399	0.0627726	0.2424488	0.0358268	0.9907722	0.001292

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.6
AJUSTE DEL MODELO DOS TERMINOS



Fuente: Elaboración propia

3. Modelo Henderson y Pabis modificado

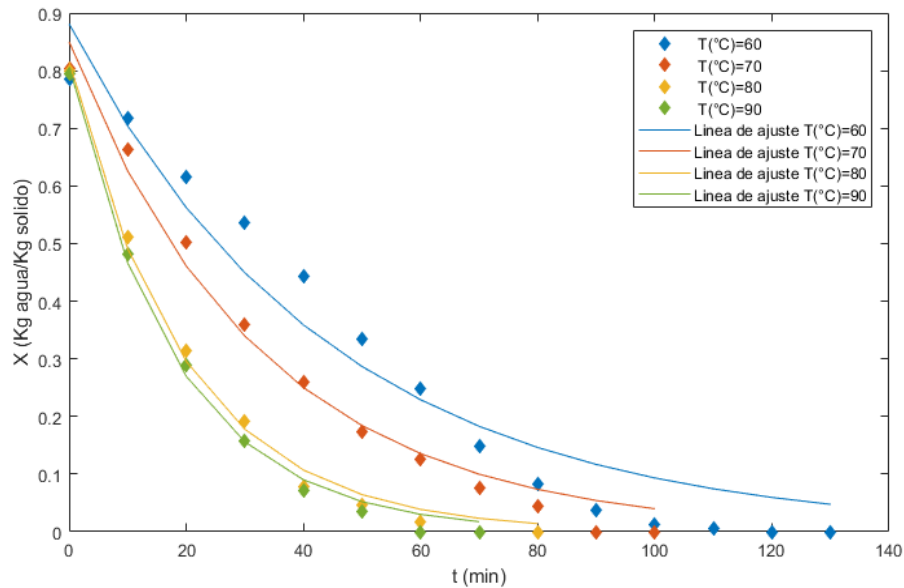
Ecuación: $X(t) = ae^{(-Kt)} + be^{(-gt)} + ce^{(-ht)}$

TABLA 5.8
CONSTANTES DEL MODELO HENDERSON Y PABIS MODIFICADO

T(°C)	Constantes						Estadísticos	
	a	K	B	g	C	h	R ²	Varianza
60	0.2937328	0.0224584	0.2937328	0.0224584	0.2937332	0.0224583	0.9460709	0.00724
70	0.2833032	0.0305977	0.2833032	0.0305977	0.283304	0.0305977	0.9845079	0.002369
80	0.2718513	0.0507745	0.2717653	0.0507768	0.2717755	0.0507768	0.9943554	0.0011651
90	0.268784	0.0547891	0.268784	0.0547891	0.2688249	0.0547789	0.9954703	0.0012684

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.7
AJUSTE DEL MODELO HENDERSON Y PABIS MODIFICADO



Fuente: Elaboración propia

4. Modelo Henderson

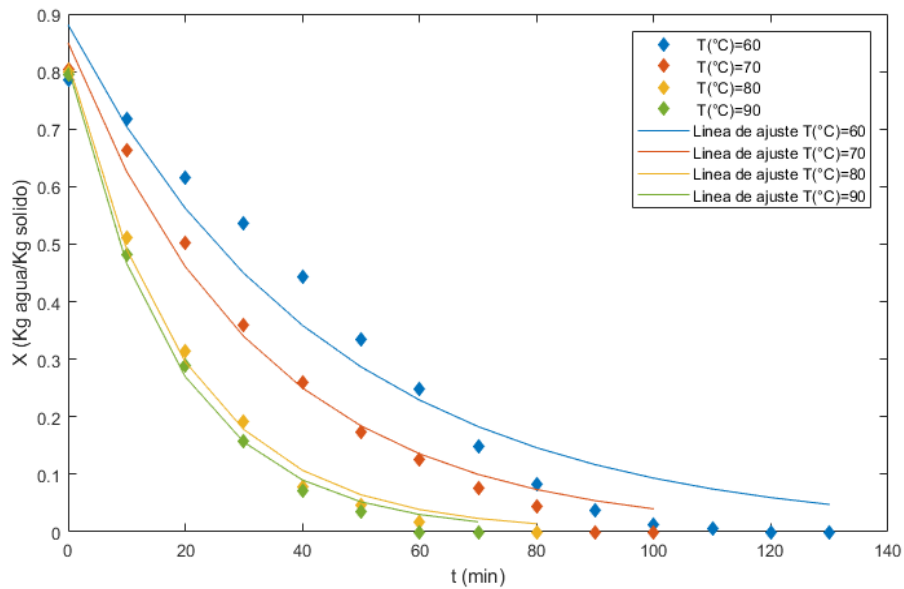
Ecuación $X(t) = ae^{(-Kt)}$

TABLA 5.9
CONSTANTES DEL MODELO HENDERSON

T(°C)	Constantes		Estadísticos	
	A	K	R ²	Varianza
60	0.8812043	0.0224585	0.9460709	0.0048267
70	0.8499186	0.0305981	0.9845079	0.0013161
80	0.8153917	0.050776	0.9943554	0.0004993
90	0.8063907	0.0547854	0.9954703	0.0004228

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.8
AJUSTE DEL MODELO HENDERSON



Fuente: Elaboración propia

5. Modelo Logarítmico

Ecuación $X(t) = ae^{(-Kt)} + c$

TABLA 5.10

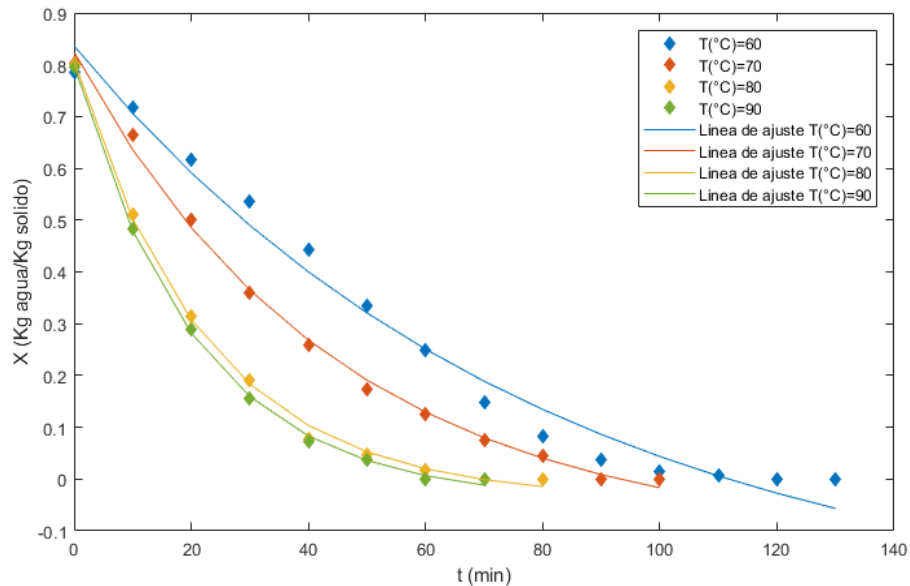
CONSTANTES DEL MODELO LOGARITMICO

T(°C)	Constantes			Estadísticos	
	a	K	c	R ²	Varianza
60	1.115294	0.0124109	-0.278851	0.9821816	0.0017397
70	0.9426051	0.0223024	-0.1181642	0.9970915	0.000278
80	0.8446027	0.0446283	-0.0382632	0.9982234	0.0001834
90	0.8390522	0.0476987	-0.04149	0.9993439	7.35E-05

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.9

AJUSTE DEL MODELO LOGARITMICO



Fuente: Elaboración propia

6. Modelo Midilli

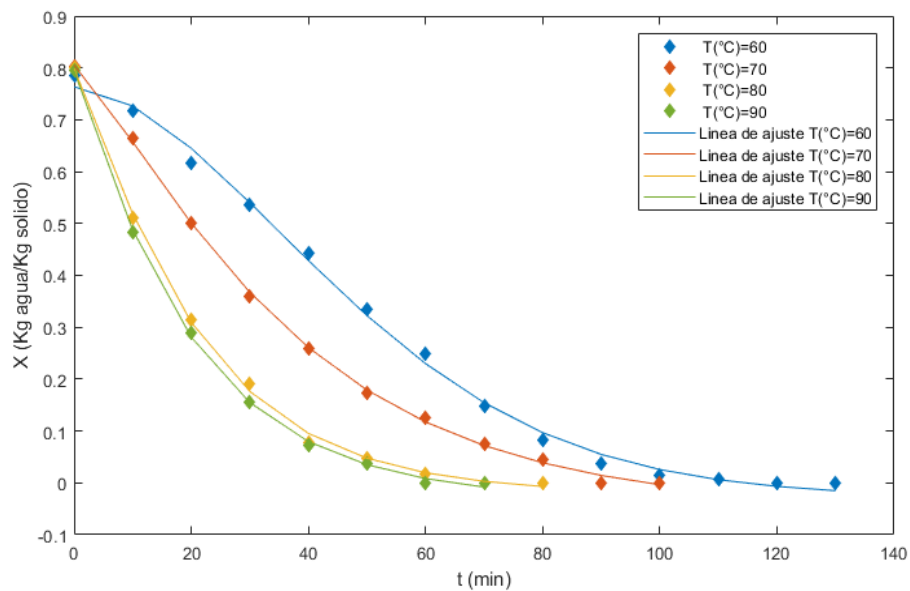
$$\text{Ecuación } X(t) = ae^{(-Kt^n)} + bt$$

TABLA 5.11
CONSTANTES DEL MODELO MIDILLI

T(°C)	Constantes				Estadísticos	
	a	K	n	b	R ²	Varianza
60	0.7637321	0.0007864	1.781255	-0.0001759	0.9971201	0.0003093
70	0.8057	0.0119013	1.221714	-0.0003311	0.99939	6.66E-05
80	0.7987033	0.031914	1.127663	-0.0002023	0.9989859	0.0001256
90	0.7942357	0.040295	1.077125	-0.0003422	0.9994804	7.27E-05

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.10
AJUSTE DEL MODELO MIDILLI



Fuente: Elaboración propia

7. Modelo Newton

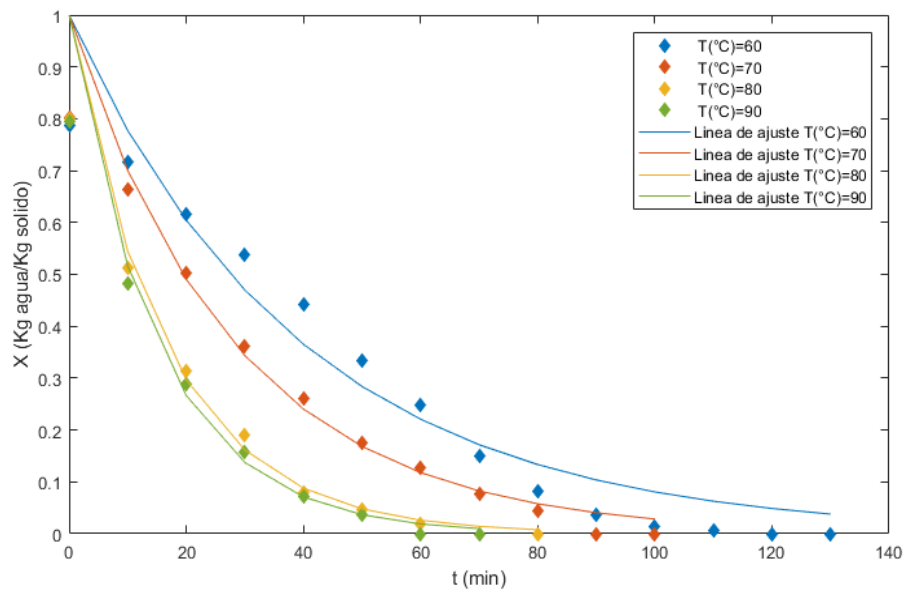
Ecuación: $X(t) = e^{(-Kt)}$

TABLA 5.12
CONSTANTES DEL MODELO NEWTON

T(°C)	Constante	Estadísticos	
	K	R ²	Varianza
60	0.0251797	0.9231696	0.0063474
70	0.0356372	0.9429266	0.0043636
80	0.0608	0.9312731	0.0053196
90	0.0661652	0.9206307	0.00635

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.11
AJUSTE DEL MODELO NEWTON



Fuente: Elaboración propia

8. Modelo Page

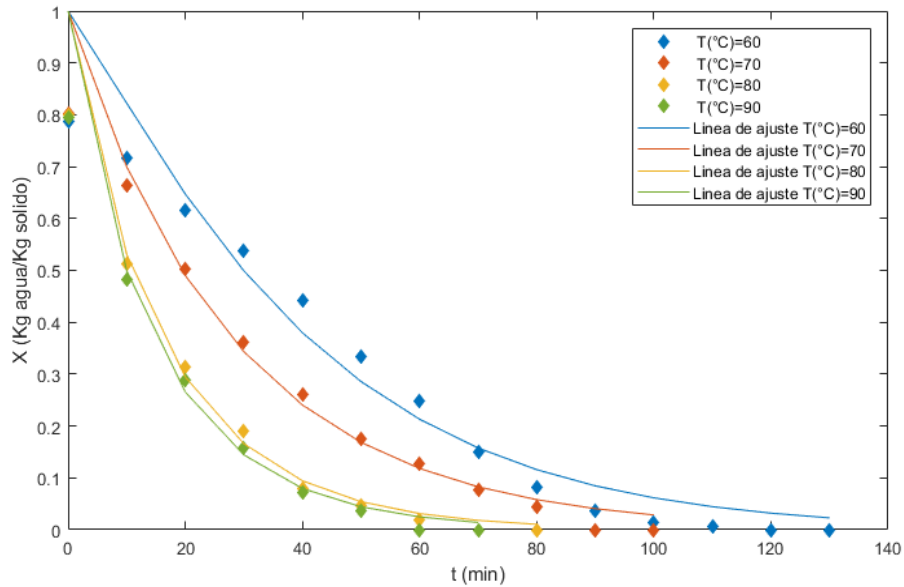
Ecuación: $X(t) = e^{(-Kt^n)}$

TABLA 5.13
CONSTANTES DEL MODELO PAGE

T(°C)	Constantes		Estadísticos	
	K	n	R ²	Varianza
60	0.0137023	1.154313	0.9294761	0.0063119
70	0.0358374	0.9984377	0.9429276	0.0048484
80	0.0711377	0.9493866	0.9318661	0.0060271
90	0.080994	0.9331852	0.9216413	0.007314

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.12
AJUSTE DEL MODELO PAGE



Fuente: Elaboración propia

9. Modelo Verma

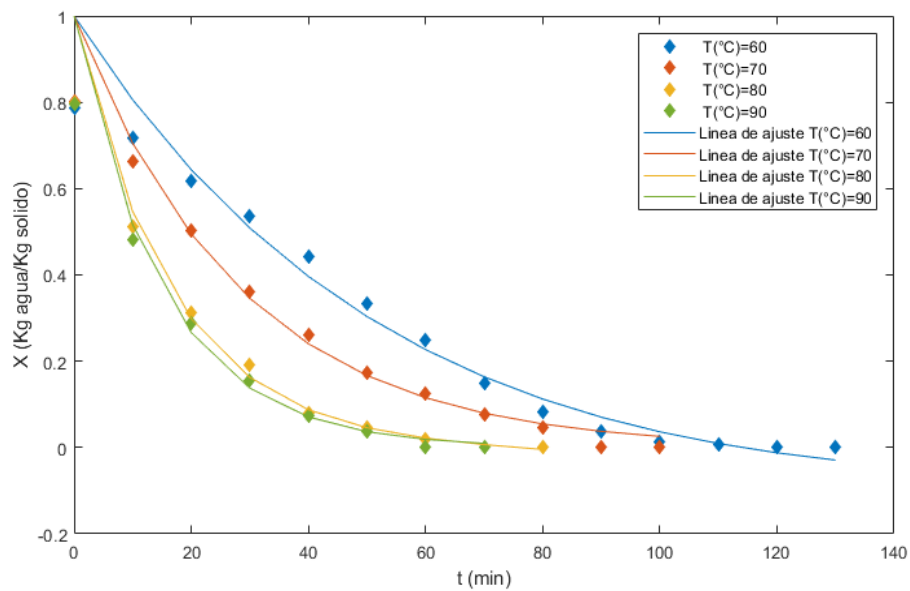
$$\text{Ecuación } X(t) = ae^{(-Kt)} + (1-a)e^{(-gt)}$$

TABLA 5.14
CONSTANTES DEL MODELO VERMA

T(°C)	Constantes			Estadísticos	
	a	K	g	R ²	Varianza
60	1.627129	0.0159733	0.0076133	0.9416739	0.0056948
70	2.243375	0.0403364	0.0448807	0.9431378	0.0054344
80	1.000322	0.0603432	-0.0456576	0.93165	0.0070539
90	1.208032	0.0661652	0.0661653	0.9206307	0.00889

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.13
AJUSTE DEL MODELO VERMA



Fuente: Elaboración propia

10. Modelo Wang and Singh

Ecuación $X(t) = 1 + at + bt^2$

TABLA 5.15

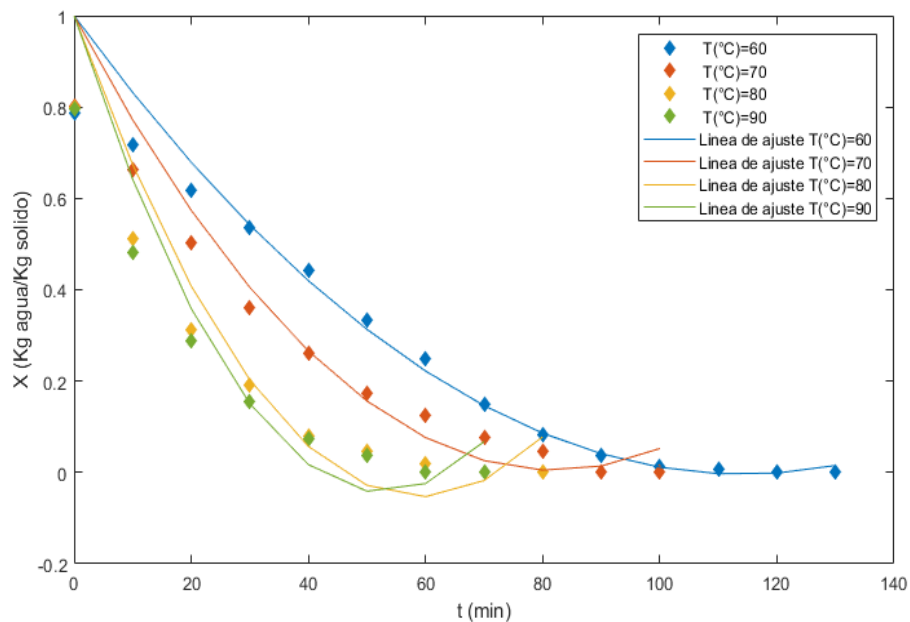
CONSTANTES DEL MODELO WANG AND SINGH

T(°C)	Constantes		Estadísticos	
	A	b	R ²	Varianza
60	-0.0175869	7.70E-05	0.9394213	0.0054218
70	-0.0242726	0.000148	0.9115122	0.0075172
80	-0.0356242	0.0003012	0.850374	0.0132358
90	-0.0395702	0.000375	0.8455195	0.0144193

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.14

AJUSTE DEL MODELO WANG AND SINGH



Fuente: Elaboración propia

5.7 Análisis estadístico de los Modelos Matemáticos

Para el análisis estadístico se realizó un ANOVA (análisis de varianza) sobre los valores de “R²” y “Varianza” asociados a los modelos matemáticos de la curva de secado con el software Minitab y se obtuvo los siguientes resultados:

❖ Para el índice de correlación R²:

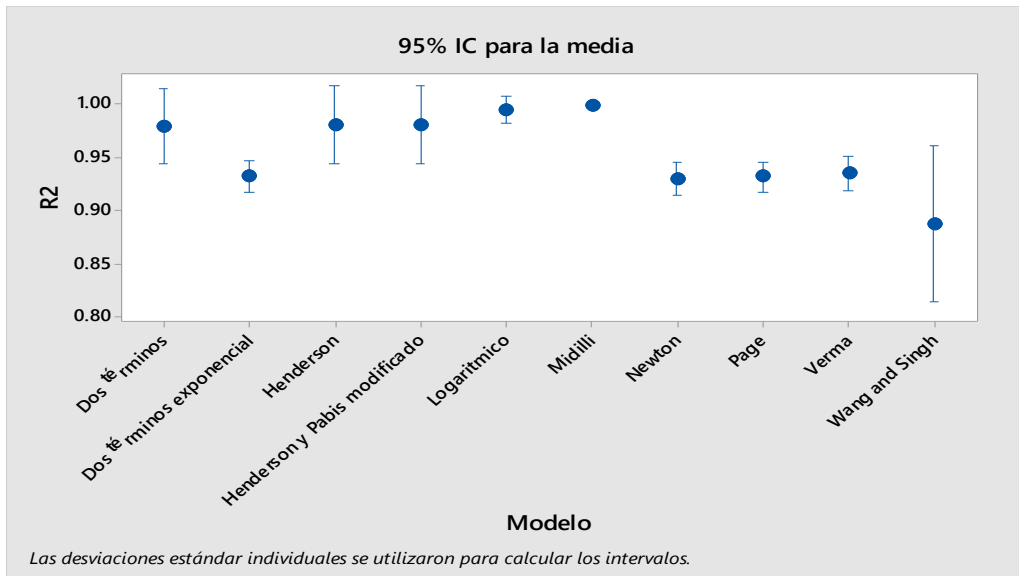
ANOVA de un solo factor: R² vs. Modelo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0.04854	0.005394	13.00	0.000
Error	30	0.01244	0.000415		
Total	39	0.06099			

Medias

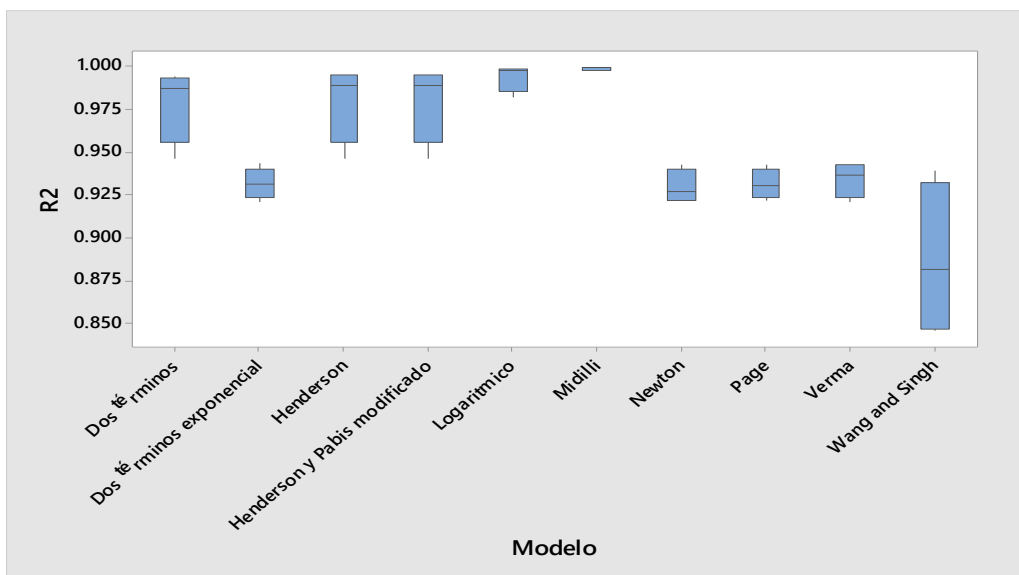
Modelo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Dos términos	4	0.9789	0.0223	(0.9581; 0.9997)
Dos términos exponencial	4	0.93139	0.00912	(0.91060; 0.95219)
Henderson	4	0.9801	0.0232	(0.9593; 1.0009)
Henderson y Pabis modificado	4	0.9801	0.0232	(0.9593; 1.0009)
Logarítmico	4	0.99421	0.00807	(0.97341; 1.01501)
Midilli	4	0.998744	0.001104	(0.977948; 1.019540)
Newton	4	0.92950	0.01004	(0.90870; 0.95030)
Page	4	0.93148	0.00879	(0.91068; 0.95227)
Verma	4	0.93427	0.01043	(0.91348; 0.95507)
Wang and Singh	4	0.8867	0.0462	(0.8659; 0.9075)

FIGURA 5.5
GRÁFICO DE INTERVALOS PARA R²



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.6
GRÁFICO DE CAJAS PARA R²



Fuente: Elaboración propia

Del ANOVA para “R²”, a un nivel de confianza de 95% (con un valor p = 0 < 0.05) se afirma que existen diferencias significativas entre los modelos matemáticos estudiados. Del gráfico de intervalos se afirma que tanto el modelo Logarítmico como Midilli presentan mayor magnitud en la media de R² y del gráfico de cajas se afirma que el modelo Midilli (representado por una caja de menor tamaño) presenta menor dispersión en cuanto a los valores de R² próximos a 1. Esto indica que la mejor correlación de los datos experimentales queda representada por el modelo Midilli.

❖ **Para la varianza:**

ANOVA de un solo factor: Varianza vs. Modelo

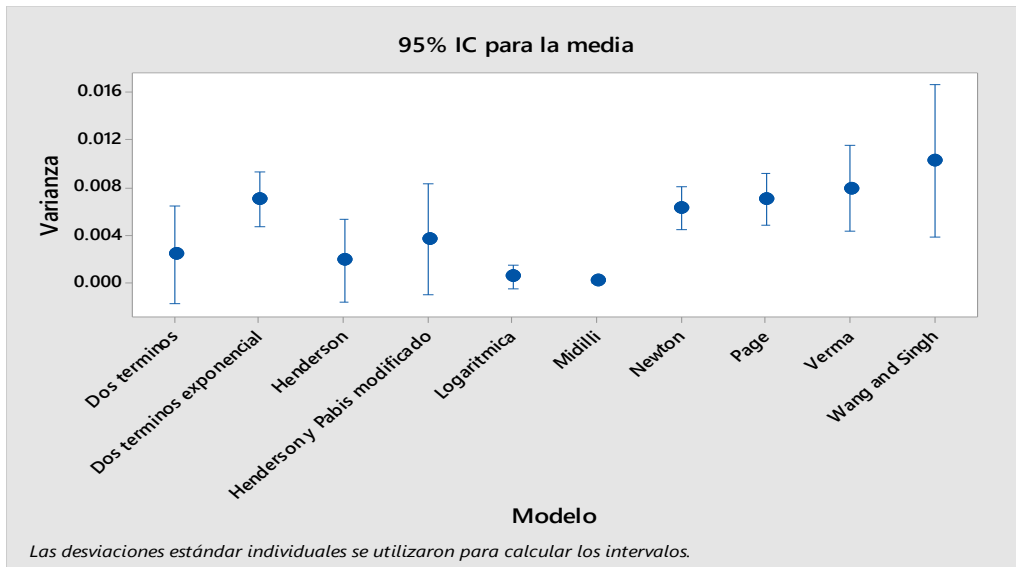
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0.000367	0.000041	9.45	0.000
Error	30	0.000129	0.000004		
Total	39	0.000496			

Medias

Modelo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Dos términos	4	0.00237	0.00232	(0.00025; 0.00449)
Dos términos exponencial	4	0.006134	0.001045	(0.004013; 0.008254)
Henderson	4	0.00177	0.00208	(-0.00035; 0.00389)
Henderson y Pabis modificado	4	0.00301	0.00287	(0.00089; 0.00513)
Logaritmico	4	0.000569	0.000785	(-0.001552; 0.002689)
Midilli	4	0.000144	0.000114	(-0.001977; 0.002264)
Newton	4	0.005595	0.000954	(0.003475; 0.007716)
Page	4	0.006125	0.001015	(0.004005; 0.008246)
Verma	4	0.006768	0.001583	(0.004648; 0.008889)
Wang and Singh	4	0.01015	0.00436	(0.00803; 0.01227)

FIGURA 5.7

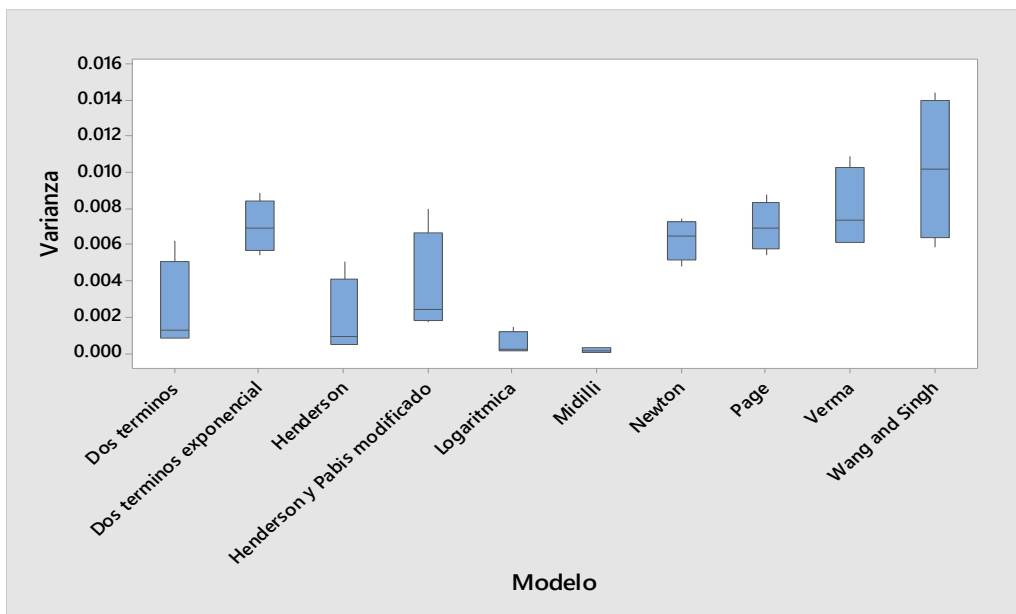
GRÁFICO DE INTERVALOS PARA LA VARIANZA



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.8

GRÁFICO DE CAJAS PARA LA VARIANZA



Fuente: Elaboración propia

Del ANOVA para “Varianza”, a un nivel de confianza de 95% (con un valor $p = 0 < 0.05$) se afirma que existen diferencias significativas entre los modelos matemáticos estudiados. Del gráfico de intervalos se afirma que tanto el modelo Logarítmico como Midilli presentan menor magnitud de varianza y del gráfico de cajas se afirma que el modelo Midilli presenta una dispersión mínima entre los valores de varianza cercanos a 0. Esto indica que el modelo Midilli representa con mayor precisión la curva de secado en comparación con los otros modelos estudiados.

5.8 Curva de velocidad de secado del modelo Midilli

En base al modelo de Midilli, se realizaron los cálculos para la curva de velocidad de secado, como observamos a continuación en la Tabla 5.16 y Gráfico 5.15.

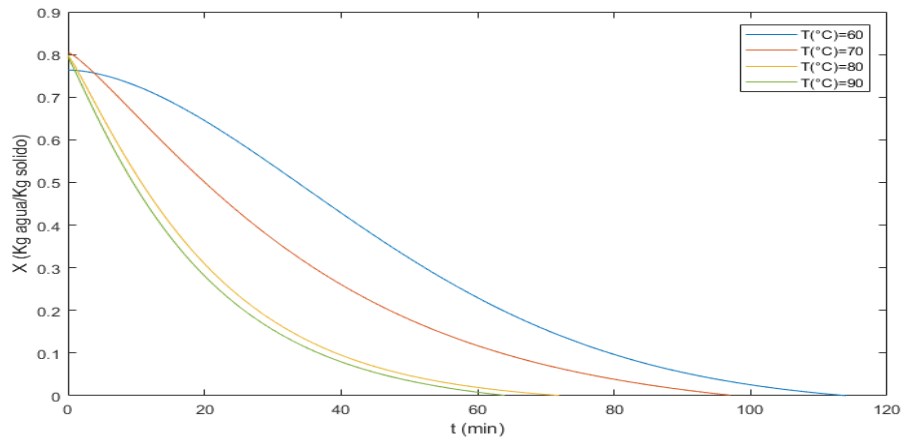
TABLA 5.16
HUMEDAD - TIEMPO

t (min)	X(60°C)	X(70°C)	X(80°C)	X(90°C)
0	0.7637321	0.8057	0.7987033	0.7942357
10	0.7265264	0.6574677	0.5184777	0.4874204
20	0.6451135	0.5007511	0.309315	0.2808823
30	0.5403136	0.3672626	0.1761077	0.1547332
40	0.4285681	0.2607579	0.0953054	0.0795461
50	0.3223958	0.1788575	0.0474906	0.0349839
60	0.2297983	0.1173658	0.0194702	0.0083107
70	0.1544877	0.0719176	0.0029585	-0.0081076
80	0.0967879	0.0386323	-0.0070169	-
90	0.0548206	0.0143223	-	-
100	0.0256323	-0.0035054	-	-
110	0.0060573	-	-	-
120	-0.0067467	-	-	-
130	-0.0150543	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.15

CURVA DE HUMEDAD - TIEMPO



Fuente: Elaboración propia

Se realizó el cálculo de la derivada de la ecuación de Midilli, como se presenta en la Tabla 5.17:

$$\frac{dX}{dt} = -aKnt^{n-1}e^{-Kt^n} + b$$

TABLA 5.17

VALORES DE LA DERIVADA HUMEDAD - TIEMPO

t (min)	dX(60°C)	dX(70°C)	dX(80°C)	dX(90°C)
0	-	-	-	-
10	-0.00634081	-0.01633897	-0.02533535	-0.02578617
20	-0.0096123	-0.01466442	-0.01673333	-0.01607624
30	-0.01107148	-0.01198919	-0.01032345	-0.00965169
40	-0.0110674	-0.00935748	-0.00616166	-0.00572067
50	-0.01003392	-0.007095	-0.00361842	-0.00339961
60	-0.00842535	-0.00527709	-0.00212093	-0.00205902
70	-0.00663366	-0.00387755	-0.00126218	-0.00129679
80	-0.00493988	-0.00283264	-0.00077968	-
90	-0.00350466	-0.00207079	-	-
100	-0.00238704	-0.00152595	-	-
110	-0.00157606	-	-	-
120	-0.00102298	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Se calculó la relación Ls/A mediante la siguiente Tabla 5.18:

TABLA 5.18
RELACION Ls/A

	60°C	70°C	80°C	90°C
Ls	0.00047300	0.00048710	0.00052600	0.00056500
A	0.00022608	0.00022608	0.00022608	0.00022608
Ls/A	2.09217976	2.15454706	2.32661005	2.49911536

Fuente: Elaboración propia

Y se procedió al cálculo del valor de N para cada temperatura como observamos en la Tabla 5.19.

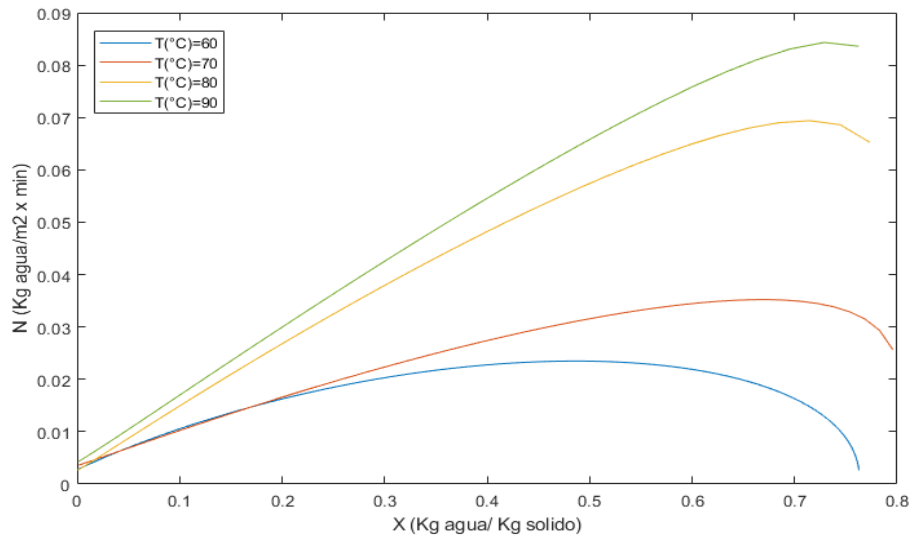
$$N = - \frac{Ls}{A} \frac{dX}{dt}$$

TABLA 5.19
VELOCIDAD DE SECADO

t (min)	N(60°C)	N(70°C)	N(80°C)	N(90°C)
0	0.00036801	0.00071337	0.00047067	0.0008552
10	0.01326612	0.03520308	0.05894548	0.06444261
20	0.02011066	0.03159519	0.03893194	0.04017638
30	0.02316352	0.02583127	0.02401864	0.02412068
40	0.023155	0.02016114	0.01433579	0.01429661
50	0.02099277	0.01528652	0.00841866	0.00849601
60	0.01762735	0.01136974	0.00493458	0.00514574
70	0.01387881	0.00835437	0.00293661	0.00324083
80	0.01033511	0.00610305	0.00181402	-
90	0.00733239	0.00446161	-	-
100	0.00499411	0.00328774	-	-
110	0.0032974	-	-	-
120	0.00214026	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.16
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO N – X



Fuente: Elaboración propia

✚ Por lo tanto:

Para lograr una humedad de secado del 13% BH se calculó:

TABLA 5.20
SECADO DE LA OCA A 13%

T(°C)	t (min)	BH	BS	N (Kg agua /m² x min)
60	70.71	13%	0.14942529	0.01361416
70	54.40	13%	0.14942529	0.01344223
80	32.76	13%	0.14942529	0.02087497
90	30.55	13%	0.14942529	0.0234374

Fuente: Elaboración propia

5.9 Características Técnicas del secador rotatorio discontinuo

El equipo secador rotatorio discontinuo está conformado por las siguientes herramientas y dispositivos:

➤ **Secador rotatorio discontinuo**

- Longitud, $L = 45.5 \text{ cm}$.
- Diámetro, $D = 3.35 \text{ cm}$.
- Peso = 1 kg.
- Potencia motor = 0.75 HP

FIGURA 5.9

SECADOR ROTATORIO DISCONTINUO



Fuente: Elaboración propia

➤ **Pistola de calor**

- Potencia de 1800w
- Control de temperatura ($50^{\circ}\text{C} - 450^{\circ}\text{C} / 90^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$)
- Dos niveles de flujo de aire
- Flujo de aire 300/500 l /min

FIGURA 5.10
PISTOLA DE CALOR



Fuente: Elaboración propia

➤ **Interfase (Data Logger)**

- Cable USB
- Cuatro canales de entrada analógica.
- Mediciones de voltaje y de temperatura programables por canal.

FIGURA 5.11
INTERFASE (DATA LOGGER)

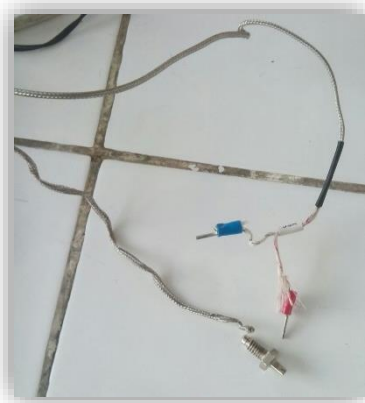


Fuente: Elaboración propia

➤ **Sensor de temperatura**

FIGURA 5.12

SENSOR DE TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia

➤ **Equipo Secador Rotatorio Discontinuo**

FIGURA 5.13

EQUIPO SECADOR ROTATORIO DISCONTINUO



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación de la hipótesis con los resultados

Respecto a la hipótesis general:

El proceso de secado de la oca (*oxalis tuberosa*) de acuerdo a los resultados en un secador rotatorio discontinuo se cumple que disminuye el tiempo de secado a 32.76 minutos a una temperatura de 80°C, con una velocidad de secado de 0.02087497 kg agua/m².min para obtener una humedad de 13% bh.

Por lo que la hipótesis general del presente estudio se cumple.

Respecto a las hipótesis específicas:

- Las propiedades fisicoquímicas de la oca (*oxalis tuberosa*) son adecuadas para ser secadas en un secador rotatorio discontinuo ya que no se ha observado variaciones significativas en las condiciones empleadas. De acuerdo a los resultados sí se cumple con la hipótesis a. del presente estudio.
- Según los resultados se cumple con la hipótesis b. ya que se determinó los factores que influyen en el proceso de secado de oca que son la temperatura y tiempo.

6.2 Contrastación de la hipótesis con otros estudios similares

De acuerdo a la investigación realizada por Esther Elizabeth Cajamarca Ruiz denominada “Evaluación Nutricional de la oca (*oxalis tuberosa sara-oca*) fresca, endulzada y deshidratada en secador de bandejas” (2010); determino que, a temperatura y tiempos de exposición menores, el contenido de vitamina C es afectado en menor proporción, logrando que los productos obtenidos del proceso sean considerados como una alternativa alimenticia en la dieta diaria por la conservación del valor nutricional. De esta manera se comprobó el buen desarrollo de la metodología.

Así mismo se encontró estudio realizados por J. Morsetto, A. Lema, M. Pontin, G. Paisio denominada “Estudio Preliminar sobre la Cinética de secado para perejil en condiciones de secado solar” (2008); observo que el modelo que describe de manera más adecuada a la cinética de secado es el de Midilli – Kucuk. Concluimos de igual manera corroborando así el funcionamiento del modelo planteado.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

- a. Se determinó las condiciones del proceso de secado de la oca de variedad zapallo en un secador rotatorio discontinuo que deberá ser en un tiempo de secado a 32.76 minutos, a una temperatura óptima de 80°C, con una velocidad de secado 0.02087497kg agua/m².min.

- b. De los diez modelos seleccionados para el secado de la oca, el modelo de Midilli es el que mejor describe el proceso, es decir, se ajusta bien a los datos de secado bajo las condiciones dadas; ya que presenta los valores más altos de índice de correlación (R²) y los más bajos de varianza para todas las temperaturas (60,70,80 y 90 °C) empleadas en este estudio.

- c. Las características fisicoquímicas de la oca variedad zapallo para el secado óptimo son: 0.636 g/ml de densidad, Humedad de 80.1%, Proteína (1.1%), Fibra (0.8%) y Azúcares Totales (14.1%)

- d. Las características técnicas del secador rotatorio discontinuo son: 45.5cm de longitud y 3.35cm del diámetro donde se ingresa la muestra; para el secado de la oca de variedad zapallo en este equipo de secador.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

- a. Utilizar siempre la oca fresca al medio ambiente ya que si lo guardamos en la refrigeradora absorberá más humedad y darán resultados erróneos.

- b. Realizar los estudios pertinentes para otras variedades de oca debido a su grado nutricional; como lo es una de ellas la vitamina C, entre otros.

- c. Proteger la oca con una tela porosa para evitar que los insectos dejen sus huevos y se formen larvas lo que generaría la aparición de microorganismos patógenos.

CAPÍTULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANGELES QUEIROLO, CARLOS E. **Estudio sobre el secado por medio de aire caliente del pimiento (*Capsicum annum* L.) variedad piquillo**. Informe de Investigación. Callao. Instituto de Investigación de Ingeniería Química. 2012.
2. BARRERA. **Caracterización de las Raíces y los Tubérculos Andinos en la Ecorregión Andina del Ecuador**. Quito. Editorial Norma. 2004.
3. CAJAMARCA RUIZ, ESTHER E. **Evaluación Nutricional de la Oca (*Oxalis tuberosa sara-oca*) fresca, endulzada y deshidratada en secador de bandejas**. Tesis para optar el título de Bioquímico farmacéutico. Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2010.
4. CÁRDENAS, M. **Manual de Plantas Económicas de Bolivia**. La Paz. Editorial Los Amigos del Libro. Segunda Edición. 1989.
5. CARLOS, L. y LOPEZ, J. **Optimización de secado del Yawuarchunka (*Pleysalis Peruviana* Linnaeus), empleando la técnica de un proceso combinado aire caliente-microondas**. Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería Química. Callao. Universidad Nacional del Callao. 2017.

6. CONTRERAS, C. **Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas.** Tesis Doctoral. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. 2006.
7. ESPINOZA SAAVEDRA, JOSÉ LUIS. **Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtila (*ugni molinae turcz.*).** Tesis para optar el título de Ingeniero en Alimentos. Santiago. Universidad de Chile. 2011.
8. EUGENIO, G. y RIVERA R. **Desarrollo de Tecnología en el Secado de Oca (*Oxalis tuberosa*) para usarla como Conservas Alimenticias.** Tesis para optar el título de Ingeniero en Alimentos. Ambato. Universidad Técnica de Ambato. 1996.
9. FITO, P., ANDRÉS A., BARAT J., ALBORS A. **Introducción al secado de alimentos por aire caliente.** Valencia. Editorial U.P.V. 2001.
10. GÓMEZ, J. y LEÓN, D. **Diseño y Construcción de un Secador de Bandejas para Germen de Trigo.** Tesis para optar el título de Ingeniero Químico. Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2004.

11. JANGAM, S.V., Law, C.L., Mujumdar, A.S. **Drying of Foods, Vegetables and Fruits, Volume 2**. ISBN: 978-981-08-7985-3. (2011).
12. J. MORSETTO, A. LEMA, M. PONTIN, G. PAISIO. **Estudio Preliminar sobre la Cinética de secado para Perejil en condiciones de secado solar**. Argentina. Universidad Nacional de Río Cuarto. 2008.
13. MUJUMDAR, A. **Principles, Classification, and Selection of Dryers**. Handbook of Industrial Drying. 4 -31 p. (2006).
14. ORBEGOZO ALVAREZ, GUILLERMO. **Estudio sobre la estructura y variabilidad de la oca (Oxalis tuberosa Mol.)**. Tesis para optar el título de Magister en Agricultura. Turrialba. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 2011.
15. PORTAL PERÚ ECOLÓGICO. **Oca (Oxalis tuberosa)**. Disponible en: http://www.peruecologico.com.pe/flo_oca_1.htm. Consultada el 20 de marzo del 2016.
16. ROMERO, C. **Deshidratación Osmótica de Tomate de Árbol (Cyphomandra betacea)**. Journal. Food Sciences: Estados Unidos. 2000.
17. RUEDA ORDÓÑEZ, YESID J. y RUEDA ORDÓÑEZ, DIEGO A. **Diseño y construcción de secador rotativo directo cilíndrico para pollinaza**. Disponible en:

<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5835/2/129563.pdf>. Consultada el 19 de marzo del 2016.

18. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, QUEZADA RIVERA.
Consecuencias de una mala alimentación del personal de salud del Hospital Militar de la III División de Cuenca, desde octubre del 2012 a mayo del 2013. Disponible en:
<http://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/reducacue/4445/4/9BT2013-ETI38.pdf>. Consultada el 20 de marzo el 2016.
19. UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS.
Proceso de Industrialización a nivel de Planta Piloto de la Oca (Oxalis Tuberosa). Disponible en:
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/vol11_n1/a02v11n1.pdf. Consultada el 09 de abril del 2016.
20. UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS.
Caracterización y determinación de ecotipos de Oca (Oxalis tuberosa) para el procesamiento de harinas en la quebrada de Ancash. Disponible en:
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/vol10_n1/a02.pdf. Consultada el 10 de abril del 2016.

CAPÍTULO X

ANEXOS

ANEXO N°01 MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROCESO DE SECADO DE LA OCA (*OXALIS TUBEROSA*) EN UN SECADOR ROTATORIO DISCONTINUO

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuáles son las condiciones más adecuadas para el proceso de secado de la Oca en un secador rotatorio discontinuo?	Establecer las condiciones más adecuadas para el proceso de secado de la Oca en un secador rotatorio discontinuo.	El proceso de secado de la oca en un secador rotatorio discontinuo depende de factores como la humedad de la oca, carga de materia prima a secar, temperatura de secado y geometría de corte de la muestra.	Y = Condiciones más adecuadas para el proceso de secado de la Oca en un secador rotatorio discontinuo.	- Humedad de la oca seca. - Carga de materia a secar. - Temperatura de secado. - Geometría de corte de la muestra.	% g °C cm	Ensayos experimentales
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
a. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la oca?	a. Identificar las características fisicoquímicas de la oca.	a. La selección de la oca a través de la evaluación fisicoquímica permitirá definir las características iniciales de la materia prima a ser procesada.	X ₁ = Características fisicoquímicas de la oca.	- Densidad. - Humedad inicial. - Temperatura de estabilidad química.	g/cm ³ % °C	Análisis de laboratorio o bibliografía.
b. ¿Cuáles son las características técnicas del secador rotatorio discontinuo?	b. Reconocer las características técnicas del secador rotatorio discontinuo.	b. Las condiciones de proceso de secado estarán definidas por las características del secador rotatorio discontinuo.	X ₂ = Características técnicas del secador rotatorio discontinuo.	- Longitud - Diámetro	cm cm	Evaluación técnica.

Relación de variables: $Y=f(X_1, X_2)$

Y = Condiciones más adecuadas para el proceso de secado de la oca en un secador rotatorio discontinuo.

X₁ = Características fisicoquímicas de la oca.

X₂ = Características técnicas del secador rotatorio discontinuo.

ANEXO N°02

RESULTADOS DEL SOFTWARE POLYMATH

1. Modelo Dos Términos exponencial

POLYMATH Report
Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X1 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t1) + (1-a) \cdot \text{EXP}(-K \cdot a \cdot t1)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	0.5	1.626782	0.4462406
K	0.1	0.0316664	0.0086575

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9303315
R ² adj	0.9245258
Rmsd	0.0195386
Variance	0.0062354

General

Sample size	14
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	41

Source data points and calculated data points

	t1	X1	X1 calc	Delta X1
1	0	0.7859	1	-0.2141
2	10	0.7168	0.8107847	-0.0939847
3	20	0.6165	0.6398309	-0.0233309
4	30	0.5366	0.495506	0.041094
5	40	0.4431	0.3785423	0.0645577
6	50	0.3347	0.2862686	0.0484314
7	60	0.248	0.2148244	0.0331756
8	70	0.1491	0.1602533	-0.0111533
9	80	0.0827	0.1189894	-0.0362894
10	90	0.0365	0.0880267	-0.0515267
11	100	0.0136	0.064931	-0.051331
12	110	0.0068	0.0477833	-0.0409833
13	120	0	0.0350981	-0.0350981
14	130	0	0.0257416	-0.0257416

POLYMATH Report
Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X3 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t3) + (1-a) \cdot \text{EXP}(-K \cdot a \cdot t3)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	0.5	0.7420362	3.428351
K	0.1	0.0659686	0.1580332

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9313063
R ² adj	0.9214929
Rmsd	0.0229158
Variance	0.0060766

General

Sample size	9
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	10

Source data points and calculated data points

	t3	X3	X3 calc	Delta X3
1	0	0.8002	1	-0.1998
2	10	0.512	0.5417554	-0.0297554
3	20	0.3135	0.2952598	0.0182402
4	30	0.1909	0.1619483	0.0289517
5	40	0.0784	0.0894266	-0.0110266
6	50	0.0468	0.0497267	-0.0029267
7	60	0.0177	0.0278497	-0.0101497
8	70	0	0.0157105	-0.0157105
9	80	0	0.0089266	-0.0089266

POLYMATH Report
Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X2 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t2) + (1-a) \cdot \text{EXP}(-K \cdot a \cdot t2)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	0.5	1.30424	2.067868
K	0.1	0.0383286	0.03444045

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9430942
R ² adj	0.9367713
Rmsd	0.0189624
Variance	0.0048343

General

Sample size	11
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	40

Source data points and calculated data points

	t2	X2	X2 calc	Delta X2
1	0	0.8032	1	-0.1968
2	10	0.6634	0.7044434	-0.0410434
3	20	0.5013	0.4940071	0.0072929
4	30	0.3604	0.3451229	0.0152771
5	40	0.2601	0.2403366	0.0197634
6	50	0.1742	0.1669081	0.0072919
7	60	0.1263	0.1156421	0.0106579
8	70	0.0758	0.0799609	-0.0041609
9	80	0.0452	0.0551925	-0.0099925
10	90	0	0.0380386	-0.0380386
11	100	0	0.0261816	-0.0261816

POLYMATH Report
Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X4 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t4) + (1-a) \cdot \text{EXP}(-K \cdot a \cdot t4)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	0.5	0.6288518	1.518324
K	0.1	0.0797065	0.1414028

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9208436
R ² adj	0.9076509
Rmsd	0.0263186
Variance	0.0073885

General

Sample size	8
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	10

Source data points and calculated data points

	t4	X4	X4 calc	Delta X4
1	0	0.7952	1	-0.2048
2	10	0.4819	0.5082266	-0.0263266
3	20	0.2891	0.2639112	0.0251888
4	30	0.1566	0.1400606	0.0165394
5	40	0.0723	0.0759179	-0.0036179
6	50	0.0361	0.0419661	-0.0058661
7	60	0	0.0236091	-0.0236091
8	70	0	0.0134849	-0.0134849

2. Modelo Dos términos

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X1 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t1) + b \cdot \text{EXP}(-g \cdot t1)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	2	0.5236811	0.2366752
K	0.3	0.022459	0.0164722
b	0.5	0.3575257	0.2366744
g	0.1	0.0224581	0.0241259

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9460709
R ² adj	0.9298921
Rmsd	0.0171904
Variance	0.005792

General

Sample size	14
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	28

Source data points and calculated data points

	t1	X1	X1 calc	Delta X1
1	0	0.7859	0.8812068	-0.0953068
2	10	0.7168	0.7039488	0.0128512
3	20	0.6165	0.5623469	0.0541531
4	30	0.5366	0.4492288	0.0873712
5	40	0.4431	0.3588648	0.0842352
6	50	0.3347	0.2866778	0.0480222
7	60	0.248	0.2290115	0.0189885
8	70	0.1491	0.182945	-0.033845
9	80	0.0827	0.146145	-0.063445
10	90	0.0365	0.1167474	-0.0802474
11	100	0.0136	0.0932632	-0.0796632
12	110	0.0068	0.074503	-0.067703
13	120	0	0.0595164	-0.0595164
14	130	0	0.0475445	-0.0475445

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X3 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t3) + b \cdot \text{EXP}(-g \cdot t3)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.5856844	1.72E-05
K	0.3	0.0507766	2.67E-06
b	0.5	0.2297075	1.72E-05
g	0.1	0.0507746	6.81E-06

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9943554
R ² adj	0.9909687
Rmsd	0.0065689
Variance	0.000699

General

Sample size	9
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	62

Source data points and calculated data points

	t3	X3	X3 calc	Delta X3
1	0	0.8002	0.8153919	-0.0151919
2	10	0.512	0.4907371	0.0212629
3	20	0.3135	0.2953463	0.0181537
4	30	0.1909	0.1777518	0.0131482
5	40	0.0784	0.1069785	-0.0285785
6	50	0.0468	0.0643842	-0.0175842
7	60	0.0177	0.0387491	-0.0210491
8	70	0	0.0233208	-0.0233208
9	80	0	0.0140355	-0.0140355

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X2 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t2) + b \cdot \text{EXP}(-g \cdot t2)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.5701592	0.1523756
K	0.3	0.0305986	0.0136798
b	0.5	0.2797605	0.1523751
g	0.1	0.0305973	0.0278779

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9845079
R ² adj	0.9778684
Rmsd	0.009894
Variance	0.0016921

General

Sample size	11
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	49

Source data points and calculated data points

	t2	X2	X2 calc	Delta X2
1	0	0.8032	0.8499197	-0.0467197
2	10	0.6634	0.6258809	0.0375191
3	20	0.5013	0.4608987	0.0404013
4	30	0.3604	0.3394058	0.0209942
5	40	0.2601	0.2499384	0.0101616
6	50	0.1742	0.1840547	-0.0098547
7	60	0.1263	0.1355379	-0.0092379
8	70	0.0758	0.0998101	-0.0240101
9	80	0.0452	0.0735001	-0.0283001
10	90	0	0.0541255	-0.0541255
11	100	0	0.039858	-0.039858

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X4 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t4) + b \cdot \text{EXP}(-g \cdot t4)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.5763399	15.65004
K	0.3	0.0627726	0.5093892
b	0.5	0.2424488	15.66665
g	0.1	0.0358268	0.6429398

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Tolerance = 0.0001

Precision

R ²	0.9907722
R ² adj	0.9838514
Rmsd	0.0089861
Variance	0.001292
Chi-Sq	0.5167945
Alamda	0.1

General

Sample size	8
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	6

Source data points and calculated data points

	t4	X4	X4 calc	Delta X4
1	0	0.7952	0.8187887	-0.0235887
2	10	0.4819	0.4770967	0.0048033
3	20	0.2891	0.2826483	0.0064517
4	30	0.1566	0.1704281	-0.0138281
5	40	0.0723	0.1046379	-0.0323379
6	50	0.0361	0.0654048	-0.0293048
7	60	0	0.0415868	-0.0415868
8	70	0	0.0268632	-0.0268632

3. Modelo Henderson y Pabis modificado

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X1 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t1) + b \cdot \text{EXP}(-g \cdot t1) + c \cdot \text{EXP}(-h \cdot t1)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.2937328	0.0984378
K	0.1	0.0224584	0.0105798
b	1	0.2937328	0.0984378
g	0.1	0.0224584	0.0105798
c	1	0.2937332	0.1291057
h	0.1	0.0224583	0.0148111

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R^2	0.9460709
R^2adj	0.9123652
Rmsd	0.0171904
Variance	0.00724

General

Sample size	14
Model vars	6
Indep vars	1
Iterations	24

Source data points and calculated data points

t1	X1	X1 calc	Delta X1	
1	0	0.7859	0.8811988	-0.0952988
2	10	0.7168	0.7039445	0.0128555
3	20	0.6165	0.5623451	0.0541549
4	30	0.5366	0.4492287	0.0873713
5	40	0.4431	0.3588657	0.0842343
6	50	0.3347	0.2866794	0.0480206
7	60	0.248	0.2290135	0.0189865
8	70	0.1491	0.1829471	-0.0338471
9	80	0.0827	0.146147	-0.063447
10	90	0.0365	0.1167494	-0.0802494
11	100	0.0136	0.0932651	-0.0796651
12	110	0.0068	0.0745047	-0.0677047
13	120	0	0.059518	-0.059518
14	130	0	0.0475459	-0.0475459

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X3 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t3) + b \cdot \text{EXP}(-g \cdot t3) + c \cdot \text{EXP}(-h \cdot t3)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1.01	0.2718513	0.2263652
K	0.1	0.0507745	0.0759049
b	1	0.2717653	0.2263668
g	0.1	0.0507768	0.0759342
c	1	0.2717755	0.2263668
h	0.1	0.0507768	0.0759314

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R^2	0.9943554
R^2adj	0.9849478
Rmsd	0.0065689
Variance	0.0011651

General

Sample size	9
Model vars	6
Indep vars	1
Iterations	38

Source data points and calculated data points

t3	X3	X3 calc	Delta X3	
1	0	0.8002	0.8153921	-0.0151921
2	10	0.512	0.490737	0.021263
3	20	0.3135	0.2953461	0.0181539
4	30	0.1909	0.1777516	0.0131484
5	40	0.0784	0.1069783	-0.0285783
6	50	0.0468	0.064384	-0.017584
7	60	0.0177	0.038749	-0.021049
8	70	0	0.0233208	-0.0233208
9	80	0	0.0140354	-0.0140354

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X2 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t2) + b \cdot \text{EXP}(-g \cdot t2) + c \cdot \text{EXP}(-h \cdot t2)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.2833032	0.0644194
K	0.1	0.0305977	0.0121537
b	1	0.2833032	0.0644194
g	0.1	0.0305977	0.0121537
c	1	0.283304	0.0879646
h	0.1	0.0305977	0.0162736

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R^2	0.9845079
R^2adj	0.9690158
Rmsd	0.009894
Variance	0.002369

General

Sample size	11
Model vars	6
Indep vars	1
Iterations	26

Source data points and calculated data points

t2	X2	X2 calc	Delta X2	
1	0	0.8032	0.8499104	-0.0467104
2	10	0.6634	0.625877	0.037523
3	20	0.5013	0.4608981	0.0404019
4	30	0.3604	0.339407	0.020993
5	40	0.2601	0.2499405	0.0101595
6	50	0.1742	0.1840571	-0.0098571
7	60	0.1263	0.1355403	-0.0092403
8	70	0.0758	0.0998124	-0.0240124
9	80	0.0452	0.0735022	-0.0283022
10	90	0	0.0541273	-0.0541273
11	100	0	0.0398595	-0.0398595

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X4 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t4) + b \cdot \text{EXP}(-g \cdot t4) + c \cdot \text{EXP}(-h \cdot t4)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.268784	0.1015614
K	0.1	0.0547891	0.0340783
b	1	0.268784	0.1015614
g	0.1	0.0547891	0.0340783
c	1	0.2688249	0.1346506
h	0.1	0.0547789	0.047442

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R^2	0.9954703
R^2adj	0.9841461
Rmsd	0.0062958
Variance	0.0012684

General

Sample size	8
Model vars	6
Indep vars	1
Iterations	33

Source data points and calculated data points

t4	X4	X4 calc	Delta X4	
1	0	0.7952	0.8063929	-0.0111929
2	10	0.4819	0.4662464	0.0156536
3	20	0.2891	0.2695779	0.0195221
4	30	0.1566	0.1558666	0.0007334
5	40	0.0723	0.0901201	-0.0178201
6	50	0.0361	0.0521063	-0.0160063
7	60	0	0.0301272	-0.0301272
8	70	0	0.0174192	-0.0174192

4. Modelo Henderson

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X1 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t1)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.8812043	2.88E-05
K	0.1	0.0224585	1.19E-06

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9460709
R ² adj	0.9415768
Rmsd	0.0171904
Variance	0.0048267

General

Sample size	14
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	9

Source data points and calculated data points

	t1	X1	X1 calc	Delta X1
1	0	0.7859	0.8812043	-0.0953043
2	10	0.7168	0.7039479	0.0128521
3	20	0.6165	0.562347	0.054153
4	30	0.5366	0.4492296	0.0873704
5	40	0.4431	0.3588659	0.0842341
6	50	0.3347	0.2866792	0.0480208
7	60	0.248	0.2290129	0.0189871
8	70	0.1491	0.1829464	-0.0338464
9	80	0.0827	0.1461463	-0.0634463
10	90	0.0365	0.1167486	-0.0802486
11	100	0.0136	0.0932643	-0.0796643
12	110	0.0068	0.074504	-0.067704
13	120	0	0.0595173	-0.0595173
14	130	0	0.0475453	-0.0475453

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X2 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t2)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.8499186	1.76E-05
K	0.1	0.0305981	1.06E-06

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9845079
R ² adj	0.9827865
Rmsd	0.009894
Variance	0.0013161

General

Sample size	11
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	7

Source data points and calculated data points

	t2	X2	X2 calc	Delta X2
1	0	0.8032	0.8499186	-0.0467186
2	10	0.6634	0.6258808	0.0375192
3	20	0.5013	0.4608992	0.0404008
4	30	0.3604	0.3394066	0.0209934
5	40	0.2601	0.2499393	0.0101607
6	50	0.1742	0.1840555	-0.0098555
7	60	0.1263	0.1355386	-0.0092386
8	70	0.0758	0.0998108	-0.0240108
9	80	0.0452	0.0735007	-0.0283007
10	90	0	0.054126	-0.054126
11	100	0	0.0398584	-0.0398584

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X3 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t3)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.8153917	1.34E-05
K	0.1	0.050776	1.49E-06

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9943554
R ² adj	0.9935491
Rmsd	0.0065689
Variance	0.0004993

General

Sample size	9
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	7

Source data points and calculated data points

	t3	X3	X3 calc	Delta X3
1	0	0.8002	0.8153917	-0.0151917
2	10	0.512	0.4907372	0.0212628
3	20	0.3135	0.2953464	0.0181536
4	30	0.1909	0.177752	0.013148
5	40	0.0784	0.1069787	-0.0285787
6	50	0.0468	0.0643843	-0.0175843
7	60	0.0177	0.0387492	-0.0210492
8	70	0	0.0233209	-0.0233209
9	80	0	0.0140355	-0.0140355

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X4 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t4)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.8063907	1.30E-05
K	0.1	0.0547854	1.61E-06

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9954703
R ² adj	0.9947154
Rmsd	0.0062958
Variance	0.0004228

General

Sample size	8
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	7

Source data points and calculated data points

	t4	X4	X4 calc	Delta X4
1	0	0.7952	0.8063907	-0.0111907
2	10	0.4819	0.4662463	0.0156537
3	20	0.2891	0.2695785	0.0195215
4	30	0.1566	0.1558674	0.0007326
5	40	0.0723	0.0901208	-0.0178208
6	50	0.0361	0.0521069	-0.0160069
7	60	0	0.0301276	-0.0301276
8	70	0	0.0174195	-0.0174195

5. Modelo Logarítmico

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X1 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t1) + c$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	1.115294	0.1973334
K	0.1	0.0124109	0.0050169
c	1	-0.278851	0.2220902

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9821816
R ² adj	0.9789419
Rmsd	0.0098812
Variance	0.0017397

General

Sample size	14
Model vars	3
Indep vars	1
Iterations	11

Source data points and calculated data points

	t1	X1	X1 calc	Delta X1
1	0	0.7859	0.8364429	-0.0505429
2	10	0.7168	0.7062693	0.0105307
3	20	0.6165	0.5912892	0.0252108
4	30	0.5366	0.4897292	0.0468708
5	40	0.4431	0.4000229	0.0430771
6	50	0.3347	0.3207869	0.0139131
7	60	0.248	0.2507991	-0.0027991
8	70	0.1491	0.18898	-0.03998
9	80	0.0827	0.1343762	-0.0516762
10	90	0.0365	0.0861456	-0.0496456
11	100	0.0136	0.0435444	-0.0299444
12	110	0.0068	0.0059154	0.0008846
13	120	0	-0.0273216	0.0273216
14	130	0	-0.0566793	0.0566793

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X3 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t3) + c$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.8446027	0.0357935
K	0.1	0.0446283	0.0049559
c	1	-0.0382632	0.0270617

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9982234
R ² adj	0.9976311
Rmsd	0.0036853
Variance	0.0001834

General

Sample size	9
Model vars	3
Indep vars	1
Iterations	6

Source data points and calculated data points

	t3	X3	X3 calc	Delta X3
1	0	0.8002	0.8063396	-0.0061396
2	10	0.512	0.5022846	0.0097154
3	20	0.3135	0.3076886	0.0058114
4	30	0.1909	0.1831468	0.0077532
5	40	0.0784	0.1034397	-0.0250397
6	50	0.0468	0.052427	-0.005627
7	60	0.0177	0.0197788	-0.0020788
8	70	0	-0.0011162	0.0011162
9	80	0	-0.014489	0.014489

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X2 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t2) + c$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.9426051	7.32E-06
K	0.1	0.0223024	2.95E-07
c	1	-0.1181642	3.67E-06

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9970915
R ² adj	0.9963644
Rmsd	0.004287
Variance	0.000278

General

Sample size	11
Model vars	3
Indep vars	1
Iterations	10

Source data points and calculated data points

	t2	X2	X2 calc	Delta X2
1	0	0.8032	0.8244409	-0.0212409
2	10	0.6634	0.6360099	0.0273901
3	20	0.5013	0.4852472	0.0160528
4	30	0.3604	0.3646225	-0.0042225
5	40	0.2601	0.2681113	-0.0080113
6	50	0.1742	0.1908931	-0.0166931
7	60	0.1263	0.1291112	-0.0028112
8	70	0.0758	0.0796797	-0.0038797
9	80	0.0452	0.0401298	0.0050702
10	90	0	0.0084862	-0.0084862
11	100	0	-0.0168318	0.0168318

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X4 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t4) + c$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	0.8390522	0.0260996
K	0.1	0.0476987	0.0040217
c	1	-0.04149	0.0216248

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9993439
R ² adj	0.9990815
Rmsd	0.0023961
Variance	7.35E-05

General

Sample size	8
Model vars	3
Indep vars	1
Iterations	6

Source data points and calculated data points

	t4	X4	X4 calc	Delta X4
1	0	0.7952	0.7975622	-0.0023622
2	10	0.4819	0.4792684	0.0026316
3	20	0.2891	0.2817191	0.0073809
4	30	0.1566	0.1591099	-0.0025099
5	40	0.0723	0.0830125	-0.0107125
6	50	0.0361	0.0357826	0.0003174
7	60	0	0.0064693	-0.0064693
8	70	0	-0.011724	0.011724

6. Modelo Midilli

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X1 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t1^n) + b \cdot t1$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	10	0.7637321	0.0148789
K	0.1	0.0007864	4.00E-05
n	0.1	1.781255	0.0125621
b	0.2	-0.0001759	0.0001066

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9971201
R ² adj	0.9962561
Rmsd	0.0039725
Variance	0.0003093

General

Sample size	14
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	25

Source data points and calculated data points

	t1	X1	X1 calc	Delta X1
1	0	0.7859	0.7637321	0.0221679
2	10	0.7168	0.7265264	-0.0097264
3	20	0.6165	0.6451135	-0.0286135
4	30	0.5366	0.5403136	-0.0037136
5	40	0.4431	0.4285681	0.0145319
6	50	0.3347	0.3223958	0.0123042
7	60	0.248	0.2297983	0.0182017
8	70	0.1491	0.1544877	-0.0053877
9	80	0.0827	0.0967879	-0.0140879
10	90	0.0365	0.0548206	-0.0183206
11	100	0.0136	0.0256323	-0.0120323
12	110	0.0068	0.0060573	0.0007427
13	120	0	-0.0067467	0.0067467
14	130	0	-0.0150543	0.0150543

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X2 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t2^n) + b \cdot t2$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	10	0.8057	3.85E-06
K	0.1	0.0119013	1.06E-07
n	0.1	1.221714	2.36E-06
b	0.2	-0.0003311	3.11E-08

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.99939
R ² adj	0.9991285
Rmsd	0.0019633
Variance	6.66E-05

General

Sample size	11
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	8

Source data points and calculated data points

	t2	X2	X2 calc	Delta X2
1	0	0.8032	0.8057	-0.0025
2	10	0.6634	0.6574677	0.0059323
3	20	0.5013	0.5007511	0.0005489
4	30	0.3604	0.3672626	-0.0068626
5	40	0.2601	0.2607579	-0.0006579
6	50	0.1742	0.1788575	-0.0046575
7	60	0.1263	0.1173658	0.0089342
8	70	0.0758	0.0719176	0.0038824
9	80	0.0452	0.0386323	0.0065677
10	90	0	0.0143223	-0.0143223
11	100	0	-0.0035054	0.0035054

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X3 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t3^n) + b \cdot t3$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	10	0.7987033	7.08E-06
K	0.1	0.031914	5.38E-07
n	0.1	1.127663	5.16E-06
b	0.2	-0.0002023	6.38E-08

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9989859
R ² adj	0.9983775
Rmsd	0.0027843
Variance	0.0001256

General

Sample size	9
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	7

Source data points and calculated data points

	t3	X3	X3 calc	Delta X3
1	0	0.8002	0.7987033	0.0014967
2	10	0.512	0.5184777	-0.0064777
3	20	0.3135	0.309315	0.004185
4	30	0.1909	0.1761077	0.0147923
5	40	0.0784	0.0953054	-0.0169054
6	50	0.0468	0.0474906	-0.0006906
7	60	0.0177	0.0194702	-0.0017702
8	70	0	0.0029585	-0.0029585
9	80	0	-0.0070169	0.0070169

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X4 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t4^n) + b \cdot t4$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	10	0.7942357	0.0001886
K	0.1	0.040295	1.80E-05
n	0.1	1.077125	0.0001387
b	0.2	-0.0003422	2.00E-06

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9994804
R ² adj	0.9990908
Rmsd	0.0021322
Variance	7.27E-05

General

Sample size	8
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	7

Source data points and calculated data points

	t4	X4	X4 calc	Delta X4
1	0	0.7952	0.7942357	0.0009643
2	10	0.4819	0.4874204	-0.0055204
3	20	0.2891	0.2808823	0.0082177
4	30	0.1566	0.1547332	0.0018668
5	40	0.0723	0.0795461	-0.0072461
6	50	0.0361	0.0349839	0.0011161
7	60	0	0.0083107	-0.0083107
8	70	0	-0.0081076	0.0081076

7. Modelo Newton

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X1 = \text{EXP}(-K*t1)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
K	0.1	0.0251797	1.40E-06

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9231696
R ² adj	0.9231696
Rmsd	0.0205183
Variance	0.0063474

General

Sample size	14
Model vars	1
Indep vars	1
Iterations	7

Source data points and calculated data points

	t1	X1	X1 calc	Delta X1
1	0	0.7859	1	-0.2141
2	10	0.7168	0.7774028	-0.0606028
3	20	0.6165	0.6043552	0.0121448
4	30	0.5366	0.4698274	0.0667726
5	40	0.4431	0.3652452	0.0778548
6	50	0.3347	0.2839426	0.0507574
7	60	0.248	0.2207378	0.0272622
8	70	0.1491	0.1716022	-0.0225022
9	80	0.0827	0.133404	-0.050704
10	90	0.0365	0.1037087	-0.0672087
11	100	0.0136	0.0806234	-0.0670234
12	110	0.0068	0.0626769	-0.0558769
13	120	0	0.0487252	-0.0487252
14	130	0	0.0378791	-0.0378791

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X2 = \text{EXP}(-K*t2)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
K	0.1	0.0356372	2.00E-06

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9429266
R ² adj	0.9429266
Rmsd	0.0189903
Variance	0.0043636

General

Sample size	11
Model vars	1
Indep vars	1
Iterations	5

Source data points and calculated data points

	t2	X2	X2 calc	Delta X2
1	0	0.8032	1	-0.1968
2	10	0.6634	0.7002124	-0.0368124
3	20	0.5013	0.4902973	0.0110027
4	30	0.3604	0.3433123	0.0170877
5	40	0.2601	0.2403915	0.0197085
6	50	0.1742	0.1683251	0.0058749
7	60	0.1263	0.1178633	0.0084367
8	70	0.0758	0.0825293	-0.0067293
9	80	0.0452	0.0577881	-0.0125881
10	90	0	0.0404639	-0.0404639
11	100	0	0.0283333	-0.0283333

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X3 = \text{EXP}(-K*t3)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
K	0.1	0.0608	5.07E-05

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9312731
R ² adj	0.9312731
Rmsd	0.0229214
Variance	0.0053196

General

Sample size	9
Model vars	1
Indep vars	1
Iterations	6

Source data points and calculated data points

	t3	X3	X3 calc	Delta X3
1	0	0.8002	1	-0.1998
2	10	0.512	0.5444388	-0.0324388
3	20	0.3135	0.2964136	0.0170864
4	30	0.1909	0.1613791	0.0295209
5	40	0.0784	0.087861	-0.009461
6	50	0.0468	0.047835	-0.001035
7	60	0.0177	0.0260432	-0.0083432
8	70	0	0.0141789	-0.0141789
9	80	0	0.0077196	-0.0077196

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X4 = \text{EXP}(-K*t4)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
K	0.1	0.0661652	0.020428

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9206307
R ² adj	0.9206307
Rmsd	0.026354
Variance	0.00635

General

Sample size	8
Model vars	1
Indep vars	1
Iterations	5

Source data points and calculated data points

	t4	X4	X4 calc	Delta X4
1	0	0.7952	1	-0.2048
2	10	0.4819	0.5159983	-0.0340983
3	20	0.2891	0.2662542	0.0228458
4	30	0.1566	0.1373867	0.0192133
5	40	0.0723	0.0708913	0.0014087
6	50	0.0361	0.0365798	-0.0004798
7	60	0	0.0188751	-0.0188751
8	70	0	0.0097395	-0.0097395

8. Modelo Page

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X1 = \text{EXP}(-K \cdot t1^n)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
K	1	0.0137023	0.0020862
n	0.1	1.154313	0.0391226

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9294761
R ² adj	0.9235991
Rmsd	0.0196582
Variance	0.0063119

General

Sample size	14
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	22

Source data points and calculated data points

	t1	X1	X1 calc	Delta X1
1	0	0.7859	1	-0.2141
2	10	0.7168	0.8224378	-0.1056378
3	20	0.6165	0.647199	-0.030699
4	30	0.5366	0.4991781	0.0374219
5	40	0.4431	0.3796742	0.0634258
6	50	0.3347	0.2856573	0.0490427
7	60	0.248	0.2130012	0.0349988
8	70	0.1491	0.1576099	-0.0085099
9	80	0.0827	0.1158404	-0.0331404
10	90	0.0365	0.0846303	-0.0481303
11	100	0.0136	0.0614936	-0.0478936
12	110	0.0068	0.0444604	-0.0376604
13	120	0	0.0319981	-0.0319981
14	130	0	0.022931	-0.022931

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X2 = \text{EXP}(-K \cdot t2^n)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
K	1	0.0358374	2.15E-06
n	0.1	0.9984377	1.67E-05

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9429276
R ² adj	0.9365862
Rmsd	0.0189901
Variance	0.0048484

General

Sample size	11
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	18

Source data points and calculated data points

	t2	X2	X2 calc	Delta X2
1	0	0.8032	1	-0.1968
2	10	0.6634	0.6997119	-0.0363119
3	20	0.5013	0.4899753	0.0113247
4	30	0.3604	0.3432065	0.0171935
5	40	0.2601	0.2404468	0.0196532
6	50	0.1742	0.1684781	0.0057219
7	60	0.1263	0.1180637	0.0082363
8	70	0.0758	0.0827427	-0.0069427
9	80	0.0452	0.0579933	-0.0127933
10	90	0	0.0406496	-0.0406496
11	100	0	0.0284945	-0.0284945

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X3 = \text{EXP}(-K \cdot t3^n)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
K	1	0.0711377	6.34E-06
n	0.1	0.9493866	2.84E-05

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9318661
R ² adj	0.9221327
Rmsd	0.0228223
Variance	0.0060271

General

Sample size	9
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	15

Source data points and calculated data points

	t3	X3	X3 calc	Delta X3
1	0	0.8002	1	-0.1998
2	10	0.512	0.5309325	-0.0189325
3	20	0.3135	0.2944671	0.0190329
4	30	0.1909	0.1658568	0.0250432
5	40	0.0784	0.0943372	-0.0159372
6	50	0.0468	0.0540439	-0.0072439
7	60	0.0177	0.0311361	-0.0134361
8	70	0	0.018022	-0.018022
9	80	0	0.0104727	-0.0104727

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X4 = \text{EXP}(-K \cdot t4^n)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
K	1	0.0809994	8.54E-06
n	0.1	0.9331852	3.44E-05

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9216413
R ² adj	0.9085815
Rmsd	0.0261857
Variance	0.007314

General

Sample size	8
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	15

Source data points and calculated data points

	t4	X4	X4 calc	Delta X4
1	0	0.7952	1	-0.2048
2	10	0.4819	0.4993512	-0.0174512
3	20	0.2891	0.265528	0.023572
4	30	0.1566	0.1442957	0.0123043
5	40	0.0723	0.0794961	-0.0071961
6	50	0.0361	0.0442358	-0.0081358
7	60	0	0.0248088	-0.0248088
8	70	0	0.0140033	-0.0140033

9. Modelo Verma

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X1 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t1) + (1) \cdot \text{EXP}(-g \cdot t1) + (-a) \cdot \text{EXP}(-g \cdot t1)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	0.7	1.627129	5.094181
K	0.01	0.0159733	0.0173644
g	0.0001	0.0076133	0.0283434

NOTE: Calculations exceeded the maximum number of iterations

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9416739
R ² adj	0.9310692
Rmsd	0.0178775
Variance	0.0056948

General

Sample size	14
Model vars	3
Indep vars	1
Iterations	64

Source data points and calculated data points

	t1	X1	X1 calc	Delta X1	
1	0	0	0.7859	1	-0.2141
2	10	0.7168	0.8057626	-0.0889626	
3	20	0.6165	0.6436169	-0.0271169	
4	30	0.5366	0.5085748	0.0280252	
5	40	0.4431	0.396403	0.046697	
6	50	0.3347	0.30351	0.03119	
7	60	0.248	0.2268504	0.0211496	
8	70	0.1491	0.163843	-0.014743	
9	80	0.0827	0.1123012	-0.0296012	
10	90	0.0365	0.0703736	-0.0338736	
11	100	0.0136	0.036494	-0.022894	
12	110	0.0068	0.009338	-0.002538	
13	120	0	-0.0122132	0.0122132	
14	130	0	-0.0291041	0.0291041	

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X3 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t3) + (1) \cdot \text{EXP}(-g \cdot t3) + (-a) \cdot \text{EXP}(-g \cdot t3)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	0.7	1.000322	0.0001306
K	0.01	0.0603432	0.0006118
g	0.0001	-0.0456576	0.0054651

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.93165
R ² adj	0.9088667
Rmsd	0.0228584
Variance	0.0070539

General

Sample size	9
Model vars	3
Indep vars	1
Iterations	18

Source data points and calculated data points

	t3	X3	X3 calc	Delta X3	
1	0	0	0.8002	1	-0.1998
2	10	0.512	0.5465994	-0.0345994	
3	20	0.3135	0.2984281	0.0150719	
4	30	0.1909	0.1623921	0.0285079	
5	40	0.0784	0.0875108	-0.0091108	
6	50	0.0468	0.0457998	0.0010002	
7	60	0.0177	0.0217933	-0.0040933	
8	70	0	0.0067792	-0.0067792	
9	80	0	-0.004407	0.004407	

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X2 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t2) + (1) \cdot \text{EXP}(-g \cdot t2) + (-a) \cdot \text{EXP}(-g \cdot t2)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	0.7	2.243375	53.85697
K	0.01	0.0403364	0.0647552
g	0.0001	0.0448807	0.1352078

NOTE: Calculations exceeded the maximum number of iterations

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9431378
R ² adj	0.9289223
Rmsd	0.0189551
Variance	0.0054344

General

Sample size	11
Model vars	3
Indep vars	1
Iterations	64

Source data points and calculated data points

	t2	X2	X2 calc	Delta X2	
1	0	0	0.8032	1	-0.1968
2	10	0.6634	0.7049716	-0.0415716	
3	20	0.5013	0.494528	0.006772	
4	30	0.3604	0.3454181	0.0149819	
5	40	0.2601	0.2403641	0.0197359	
6	50	0.1742	0.166709	0.007491	
7	60	0.1263	0.1152859	0.0110141	
8	70	0.0758	0.0795168	-0.0037168	
9	80	0.0452	0.0547173	-0.0095173	
10	90	0	0.0375729	-0.0375729	
11	100	0	0.0257512	-0.0257512	

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X4 = a \cdot \text{EXP}(-K \cdot t4) + (1) \cdot \text{EXP}(-g \cdot t4) + (-a) \cdot \text{EXP}(-g \cdot t4)$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	0.7	1.208032	6.84E+05
K	0.01	0.0661652	0.0566123
g	0.0001	0.0661653	0.3287458

NOTE: Calculations exceeded the maximum number of iterations

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9206307
R ² adj	0.8888829
Rmsd	0.026354
Variance	0.00889

General

Sample size	8
Model vars	3
Indep vars	1
Iterations	64

Source data points and calculated data points

	t4	X4	X4 calc	Delta X4	
1	0	0	0.7952	1	-0.2048
2	10	0.4819	0.5159982	-0.0340982	
3	20	0.2891	0.2662542	0.0228458	
4	30	0.1566	0.1373867	0.0192133	
5	40	0.0723	0.0708913	0.0014087	
6	50	0.0361	0.0365798	-0.0004798	
7	60	0	0.0188751	-0.0188751	
8	70	0	0.0097395	-0.0097395	

10. Modelo Wang and Singh

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X1 = 1+a*t1+b*t1^2$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	-0.0175869	0.0022504
b	0.1	7.70E-05	2.16E-05

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9394213
R ² adj	0.9343731
Rmsd	0.0182194
Variance	0.0054218

General

Sample size	14
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	5

Source data points and calculated data points

	t1	X1	X1 calc	Delta X1
1	0	0.7859	1	-0.2141
2	10	0.7168	0.8318323	-0.1150323
3	20	0.6165	0.6790673	-0.0625673
4	30	0.5366	0.541705	-0.005105
5	40	0.4431	0.4197454	0.0233546
6	50	0.3347	0.3131885	0.0215115
7	60	0.248	0.2220343	0.0259657
8	70	0.1491	0.1462827	0.0028173
9	80	0.0827	0.0859338	-0.0032338
10	90	0.0365	0.0409877	-0.0044877
11	100	0.0136	0.0114442	0.0021558
12	110	0.0068	-0.0026966	0.0094966
13	120	0	-0.0014347	0.0014347
14	130	0	0.0152298	-0.0152298

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X3 = 1+a*t3+b*t3^2$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	-0.0356242	0.007688
b	0.1	0.0003012	0.0001172

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.850374
R ² adj	0.8289988
Rmsd	0.0338206
Variance	0.0132358

General

Sample size	9
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	5

Source data points and calculated data points

	t3	X3	X3 calc	Delta X3
1	0	0.8002	1	-0.1998
2	10	0.512	0.6738803	-0.1618803
3	20	0.3135	0.4080058	-0.0945058
4	30	0.1909	0.2023767	-0.0114767
5	40	0.0784	0.0569928	0.0214072
6	50	0.0468	-0.0281458	0.0749458
7	60	0.0177	-0.0530391	0.0707391
8	70	0	-0.0176872	0.0176872
9	80	0	0.0779101	-0.0779101

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X2 = 1+a*t2+b*t2^2$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	-0.0242726	0.0040212
b	0.1	0.000148	4.96E-05

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9115122
R ² adj	0.9016802
Rmsd	0.023646
Variance	0.0075172

General

Sample size	11
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	5

Source data points and calculated data points

	t2	X2	X2 calc	Delta X2
1	0	0.8032	1	-0.1968
2	10	0.6634	0.7720704	-0.1086704
3	20	0.5013	0.5737329	-0.0724329
4	30	0.3604	0.4049873	-0.0445873
5	40	0.2601	0.2658339	-0.0057339
6	50	0.1742	0.1562724	0.0179276
7	60	0.1263	0.076303	0.049997
8	70	0.0758	0.0259257	0.0498743
9	80	0.0452	0.0051404	0.0400596
10	90	0	0.0139471	-0.0139471
11	100	0	0.0523459	-0.0523459

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $X4 = 1+a*t4+b*t4^2$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1	-0.0395702	0.0100484
b	0.1	0.000375	0.0001739

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.8455195
R ² adj	0.8197728
Rmsd	0.0367669
Variance	0.0144193

General

Sample size	8
Model vars	2
Indep vars	1
Iterations	5

Source data points and calculated data points

	t4	X4	X4 calc	Delta X4
1	0	0.7952	1	-0.2048
2	10	0.4819	0.6417951	-0.1598951
3	20	0.2891	0.3585849	-0.0694849
4	30	0.1566	0.1503693	0.0062307
5	40	0.0723	0.0171485	0.0551515
6	50	0.0361	-0.0410777	0.0771777
7	60	0	-0.0243092	0.0243092
8	70	0	0.0674539	-0.0674539

ANEXO N°03

INFORMACIÓN, DATOS Y RESULTADOS DEL SOFTWARE MINITAB

ANOVA de un solo factor: R2 vs. Modelo

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Modelo	10	Dos términos; Dos términos exponencial; Henderson; Henderson y Pabis modificado; Logarítmico; Midilli; Newton; Page; Verma; Wang and Singh

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0.04854	0.005394	13.00	0.000
Error	30	0.01244	0.000415		
Total	39	0.06099			

Resumen del modelo

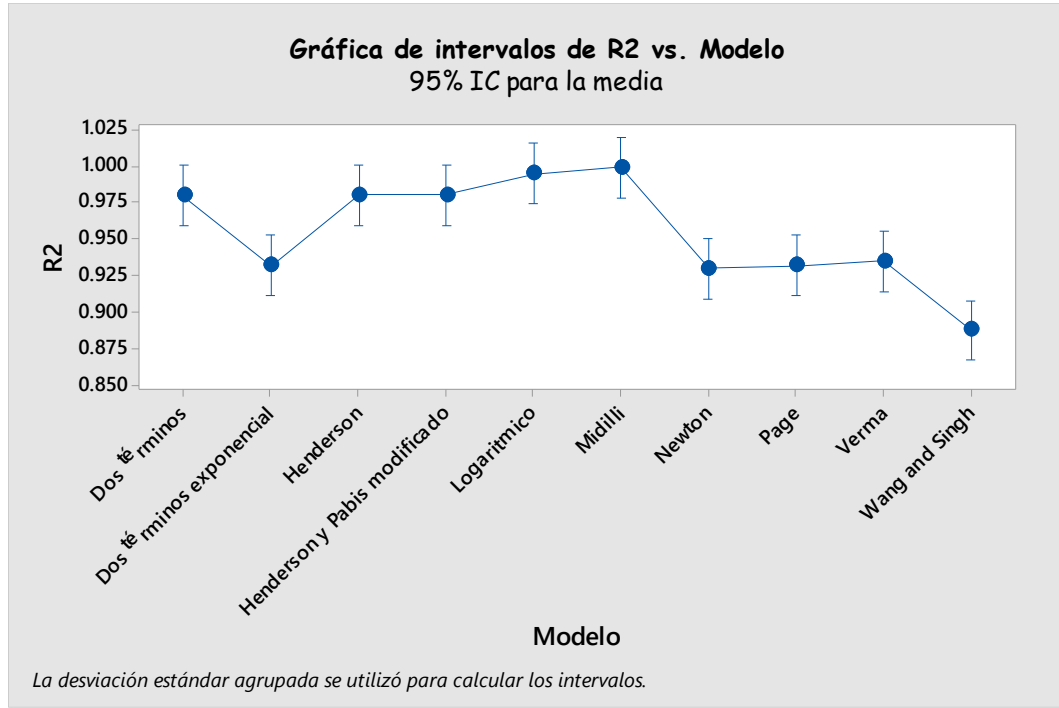
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0203653	79.60%	73.48%	63.73%

Medias

Modelo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Dos términos	4	0.9789	0.0223	(0.9581; 0.9997)
Dos términos exponencial	4	0.93139	0.00912	(0.91060; 0.95219)
Henderson	4	0.9801	0.0232	(0.9593; 1.0009)
Henderson y Pabis modificado	4	0.9801	0.0232	(0.9593; 1.0009)
Logarítmico	4	0.99421	0.00807	(0.97341; 1.01501)
Midilli	4	0.998744	0.001104	(0.977948; 1.019540)
Newton	4	0.92950	0.01004	(0.90870; 0.95030)
Page	4	0.93148	0.00879	(0.91068; 0.95227)
Verma	4	0.93427	0.01043	(0.91348; 0.95507)
Wang and Singh	4	0.8867	0.0462	(0.8659; 0.9075)

Desv.Est. agrupada = 0.020365

GRÁFICA DE INTERVALOS DE R² VS. MODELO



Fuente: Elaboración propia

ANOVA de un solo factor: Varianza vs. Modelo

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Modelo	10	Dos términos; Dos términos exponencial; Henderson; Henderson y Pabis modificado; Logarítmico; Midilli; Newton; Page; Verma; Wang and Singh

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0.000367	0.000041	9.45	0.000
Error	30	0.000129	0.000004		
Total	39	0.000496			

Resumen del modelo

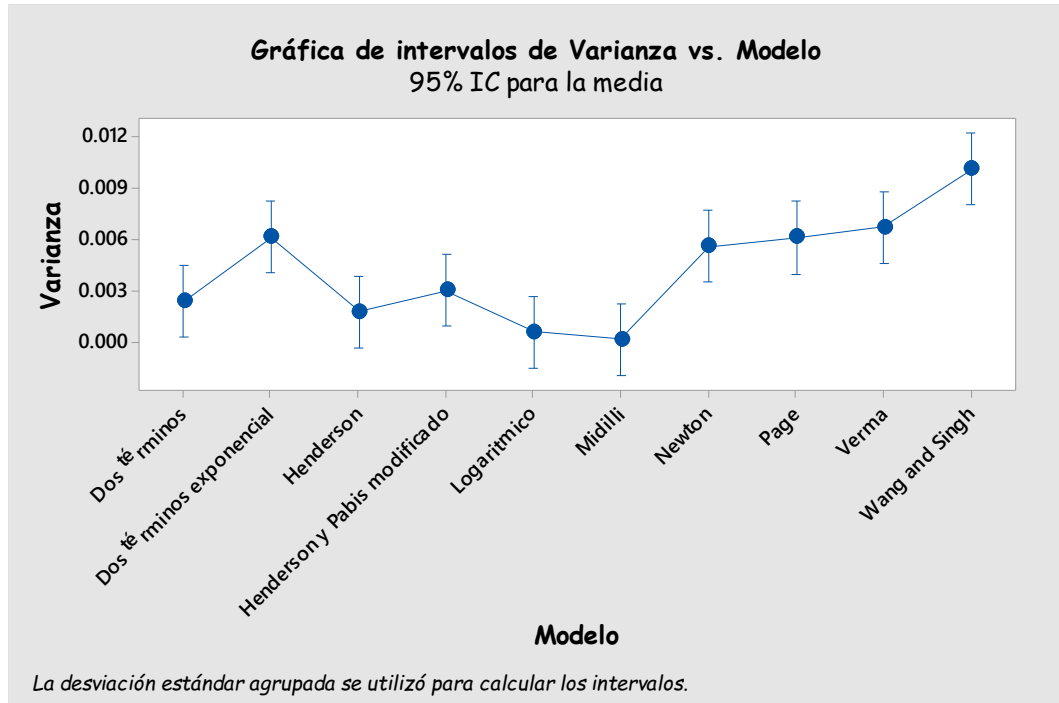
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0020767	73.92%	66.09%	53.63%

Medias

Modelo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Dos términos	4	0.00237	0.00232	(0.00025; 0.00449)
Dos términos exponencial	4	0.006134	0.001045	(0.004013; 0.008254)
Henderson	4	0.00177	0.00208	(-0.00035; 0.00389)
Henderson y Pabis modificado	4	0.00301	0.00287	(0.00089; 0.00513)
Logarítmico	4	0.000569	0.000785	(-0.001552; 0.002689)
Midilli	4	0.000144	0.000114	(-0.001977; 0.002264)
Newton	4	0.005595	0.000954	(0.003475; 0.007716)
Page	4	0.006125	0.001015	(0.004005; 0.008246)
Verma	4	0.006768	0.001583	(0.004648; 0.008889)
Wang and Singh	4	0.01015	0.00436	(0.00803; 0.01227)

Desv.Est. agrupada = 0.00207666

GRÁFICA DE INTERVALOS DE VARIANZA VS. MODELO



Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°04
GALERIA DE FOTOS

FOTO N°1
OCAS FRESCAS



FOTO N°2
MUESTRAS A SECAR



FOTO N°3
SECANDO LA MUESTRA



FOTO N°4
MUESTRAS SECAS



ANEXO N°05

CONTENIDO DE VITAMINA C

Las muestras de ocas frescas y ocas endulzadas sometidas a deshidratación a las temperaturas 70°C, 80°C, y 90°C, existe diferencia entre ellas en lo que corresponde al tiempo de secado, pues experimentalmente se puede determinar que a menor temperatura existe mayor tiempo de secado en la oca fresca y tiempos menores para las muestras de ocas endulzadas debido a que estas fueron sometidas a un proceso previo el endulzado en el cual perdieron agua por acción del calor cuando fueron sometidos a la exposición al sol.

TABLA

CONTENIDO DE VITAMINA C EN MUESTRAS ESTUDIADAS

OCA	Tiempo de deshidratación (min)	VITAMINA C (mg/100g) Base seca	Perdidas de vitamina C (%)
FRESCA		187.19	
Deshidratado a 70°C	270	33.67	82.01
Deshidratado a 80°C	220	71.93	61.57
Deshidratado a 90°C	160	58.87	68.55
ENDULZADA		65.34	
Deshidratado a 70°C	260	25.69	60.69
Deshidratado a 80°C	190	41.95	35.79
Deshidratado a 90°C	140	36.63	43.93

Fuente: Cajamarca Ruiz, Esther E. 2010

ANEXO N°06

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LA OCA FRESCA Y DESHIDRATADA A LA TEMPERATURA ÓPTIMA (80°C)

Todas las determinaciones físicas como químicas se realizaron por duplicado tanto en la oca deshidratada a 80°C; cuyos valores se encuentran expresados en base seca.

TABLA
CONTENIDO NUTRICIONAL EXPRESADO EN MUESTRA SECA

PARÁMETROS	OCA FRESCA	DESHIDRATADO 80° C	OCA ENDULZADA	DESHIDRATADO 80° C
HUMEDAD (%)	80,1	15,1	51,0	13,0
CENIZA (%)	3,9	7,3	4,3	8,1
AZÚCARES TOTALES (%)	14,1	59,1	36,4	61,8
AZÚCARES REDUCTORES (%)	4,7	21,9	21,1	34,6
AZÚCARES NO REDUCTORES (%)	9,4	37,2	15,6	27,2
FIBRA (%)	0,8	6,8	3,0	7,3
PROTEÍNA (%)	1,1	8,6	5,3	9,8
pH	4,54	6,30	5,70	6,0
ALMIDÓN (%)	10,6	23,7	7,2	17,4
ACIDO OXÁLICO mg/100g	135	31,4	72	54,4
ACIDO ASCÓRBICO mg/100g	187,19	71,93	65,34	41,96

Fuente: Cajamarca Ruiz, Esther E. 2010

ANEXO N°07

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA OCA FRESCA, ENDULZADA Y SUS DESHIDRATADOS 80°C

El análisis microbiológico se realizó por duplicado tanto en la oca fresca, endulzada como en sus deshidratados a 80°C; que reportaron el menor porcentaje de pérdida de vitamina C, para la determinación de hongos (mohos y levaduras), y de coliformes totales realizándose por diluciones de 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} .

TABLA

CONTENIDO PROMEDIO DE HONGOS (MOHOS Y LEVADURAS) Y COLIFORMES TOTALES EN LAS MUESTRAS ESTUDIADAS DE OCA FRESCA, ENDULZADA Y SUS DESHIDRATADOS A 80°C

HONGOS	OCA FRESCA	OCA FRESCA DESHIDRATADA	OCA ENDULZADA	OCA ENDULZADA DESHIDRATADA
Mohos (UPC/gramo)	-	-	-	-
Levaduras (UPC/gramo)	1000	-	1300	-
Coliformes	110	0,00	80	0,00
Totales UCF/gramo				

Fuente: Cajamarca Ruiz, Esther E. 2010

ANEXO N°08

MÉTODOS

Determinación de Fibra: Técnica AOAC 7050.

Determinación de Proteína: Técnica AOAC 2049.

Determinación de Azúcares: Método de FEHLING.

Determinación de Almidón:

- Metodi di análisis, F. distefano etal determinación de ll'amido p13-14.
- Análisis moderno de los alimentos F. Hard, H. Fisher.
- Método 15,2 almidón, método de la hidrolisis acida p 404-406.

Determinación de Vitamina C: Se utilizó el método de Cromatografía líquida de alta resolución.

Determinación de la Cantidad de microorganismos mohos y levaduras: Método de reencuentro siembra por extensión en superficie.

ANEXO N°09

RESOLUCIÓN MINISTERIAL DE INOCUIDAD ALIMENTARIA

MINISTERIO DE SALUD

No. 908-2012/MINSA



Resolución Ministerial

Lima, 14 de NOVIEMBRE del 2012

Visto, el Expediente N° 12-039517-001, que contiene el Informe N° 20-2012-LGC-DES-DGPS-MINSA, de la Dirección General de Promoción de la Salud;

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 123° de la Ley N° 26842, Ley General de Salud, establece que la Autoridad de Salud a nivel nacional es el órgano especializado del Poder Ejecutivo que tiene a su cargo la dirección y gestión de la política nacional de salud y actúa como la máxima autoridad normativa en materia de salud;

Que, el artículo 2° de la Ley N° 27657, Ley del Ministerio de Salud, señala que el Ministerio de Salud es el ente rector del Sector Salud que conduce, regula y promueve la intervención del Sistema Nacional Coordinado y Descentralizado de Salud, con la finalidad de lograr el desarrollo de la persona humana, a través de la promoción, protección, recuperación y rehabilitación de su salud;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 298-2011/MINSA, se aprobó la Guía Técnica de Gestión de Promoción de la Salud en Instituciones Educativas para el Desarrollo Sostenible, la cual tiene como finalidad contribuir al desarrollo integral sostenible de los y las estudiantes y al óptimo desarrollo de sus capacidades, promoviendo una cultura de salud en el ámbito escolar;

Que, el artículo 60° del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Salud, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2005-SA y sus modificatorias, estipula que la Dirección General de Promoción de la Salud es el órgano técnico normativo, responsable de la conducción del proceso de Promoción de la Salud, la que a través de la Dirección de Educación para la Salud se encarga de desarrollar alianzas estratégicas intra e intersectoriales con instituciones y organizaciones sociales que permitan el desarrollo de la educación para la salud, así como coordinar con el Ministerio de Educación la incorporación en el currículo educativo de contenidos de salud;

Que, con el documento del visto, la Dirección General de Promoción de la Salud ha recomendado una lista de alimentos saludables para su expendio en los quioscos escolares de las instituciones educativas, con la finalidad que los estudiantes consuman alimentos sanos e inocuos, a través de la oferta de alimentos nutricionalmente saludables, la implementación de normas sanitarias de calidad e inocuidad y la promoción de comportamientos saludables en la comunidad educativa; la cual ha sido coordinada y consensuada con la Dirección General de Salud Ambiental y el Centro Nacional de Alimentación y Nutrición, del Instituto Nacional de Salud, órganos competentes en higiene



M. SÁVEDRA



C. CABEZAS S.



S. OCHOA J.



D. Suárez



M. De Hólich

alimentaria, alimentación y nutrición humana del Ministerio de Salud, habiendo formulado sus respectivos aportes mediante el Informe N° 003125-2012/DHAZ/DIGESA y el Oficio N° 262-2012-DG-CENAN/INS, respectivamente;

Que, dicha iniciativa tiene su sustento en la Política 15 del Acuerdo Nacional, referida a la Promoción de la Seguridad Alimentaria y Nutricional, como una propuesta para garantizar una vida activa y saludable dentro de una concepción de desarrollo humano integral, así como en el Convenio N° 004-2008/MINSA, Convenio Marco de Cooperación Técnica entre el Ministerio de Educación y el Ministerio de Salud y sus respectivas adendas, cuyo objetivo es fortalecer el desarrollo integral de los estudiantes y la promoción de una cultura de salud, orientada al mejoramiento de la calidad de vida del ámbito de las instituciones educativas, con la participación de la comunidad educativa;

Que, resulta necesario mejorar el estado nutricional de la población peruana y favorecer la prevención del riesgo y daño alimentario nutricional, fomentando hábitos nutricionales saludables según etapas de vida, siendo el quiosco escolar un lugar estratégico para el consumo de alimentos saludables para las y los estudiantes de las instituciones educativas;

Estando a lo propuesto por la Dirección General de Promoción de la Salud;

Con el visado del Director General de la Dirección General de Promoción de la Salud, de la Directora General de la Dirección General de Salud Ambiental, de la Directora General de la Oficina General de Asesoría Jurídica, del Viceministro de Salud y del Jefe del Instituto Nacional de Salud, y;

De conformidad con lo previsto en el literal f) del artículo 8° de la Ley N° 27657, Ley del Ministerio de Salud;

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Aprobar la **Lista de Alimentos Saludables recomendados para su expendio en los Quioscos Escolares de las Instituciones Educativas**, que como Anexo forma parte integrante de la presente Resolución.

Artículo 2°.- Encargar a la Dirección General de Promoción de la Salud, establecer y desarrollar estrategias de articulación intersectorial e intergubernamental, así como la asistencia técnica para la implementación del listado de alimentos recomendados para quioscos escolares.

Artículo 3°.- Encargar a la Dirección General de Promoción de la Salud, que en coordinación con el Ministerio de Educación, promuevan e implementen los quioscos saludables en las instituciones educativas, en el marco del Convenio N° 004-2008/MINSA, Convenio Marco de Cooperación Técnica entre el Ministerio de Educación y el Ministerio de Salud y sus respectivas adendas.

Artículo 4°.- Disponer que la Oficina General de Comunicaciones publique la presente Resolución en el Portal de Internet del Ministerio de Salud, en la dirección electrónica: <http://www.minsa.gob.pe>

Regístrese, comuníquese y publíquese.

MIDORI DE HABICH ROSPIGLIOSI
Ministra de Salud



M. S. VAYEDRA



G. CABEZAS S.



B. DÍAZ A.



D. SUÁREZ



D. CEPEDA S.M.

Anexo

LISTA DE ALIMENTOS SALUDABLES RECOMENDADOS PARA SU EXPENDIO EN LOS QUIOSCOS ESCOLARES DE LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS

1. Cereales

- Cereales no refinados: kiwicha, quinua, kañihua, centeno, trigo, cebada, arroz, maíz y sus productos derivados **en preparados** bajos en sal, bajos en aceite, y/o bajos en azúcar.
- Productos de panificación y galletería: pan campesino, pan de cebada, pan de labranza, pan francés, entre otros de la localidad, así como panes, tostados y galletas con bajo contenido en sal, azúcar y grasas trans.



M. SAAVEDRA



G. CABEZ



W. AGUIÑO V.

2. Frutas, Vegetales (hortalizas, legumbres) y Tubérculos

- Frutos secos o semillas envasadas: maní, pecanas, nueces, habas, pasas, guindones, ajonjolí, almendras, castañas, etc., al natural o tostados sin adición de azúcar o sal.
- Frutas frescas de estación, disponibles localmente según ámbitos geográficos, previamente lavadas y desinfectadas.
- Verduras y hortalizas frescas de estación, disponibles localmente, según ámbitos geográficos previamente lavadas y desinfectadas, **preparadas y sin cremas**.
- Tubérculos y raíces sancochadas: papa, olluco, oca, mashua, chuño o moraya, yacón, yuca, camote, arracacha, dale dale, uncucha, entre otros, en **preparados** bajos en sal.
- Legumbres: habas, tarwi, sancochadas o tostadas bajas en sal y/o aceite.

3. Líquidos

- Jugos de frutas naturales de estación, disponibles localmente, **lavadas** (para el caso de fresas deben ser desinfectadas) y sin azúcar o con bajo contenido de azúcar, preparados al momento.
- Refrescos de frutas naturales de estación previamente **lavadas**, con bajo contenido de azúcar, disponibles localmente según ámbitos geográficos.
- Infusiones de hierbas aromáticas como: manzanilla, anís, hierbaluisa, hoja de coca, boldo, manayupa, cedrón, muña, jazmín, entre otras, frías o calientes sin o con bajo contenido de azúcar.
- Agua hervida o envasada con o sin gas.



S. OSORIO A.

4. Lácteos y derivados

- Leches enteras, semidescremadas o descremadas **pasteurizadas, no saborizadas**, sin colorantes, sin o con bajo contenido de azúcar.
- Yogures semi descremados o descremados con bajo contenido de azúcar.
- Quesos frescos pasteurizados u otros bajos en sal y grasas.

5. Alimentos preparados

Preparaciones elaboradas con los alimentos indicados en la presente lista en condiciones higiénicas, como por ejemplo:

- Ensalada de frutas
- Ensalada de vegetales **preparados y sin cremas.**
- Chapo, plátano asado, entre otras preparaciones de cada región.
- Carnes frescas o secas¹ **preparados para sándwiches u otros:** pescado de mar o de río, pollo, pavo, res, pota, majaz, sajino u otros; guisados, sancochadas, horneados o a la plancha, **bien cocidos, sin salsas, ni cremas ni aji.**
- Vísceras preparados para sándwiches u otros: sangrecita, mollejas, hígado, corazón, entre otros; guisados, sancochadas, horneados o a la plancha, **bien cocidos, sin salsas, ni cremas ni aji.**



M. SAAVEDRA



S. GABEZAR S.



O. AQUINO V.

INDICACIONES PARA SER TOMADAS EN CUENTA:

Los alimentos deben ser preparados en ambientes que reúnan las condiciones sanitarias que establezca la autoridad competente, así también se deberá desarrollar las buenas prácticas de manipulación, limpieza y desinfección a fin de asegurar su calidad sanitaria. Las preparaciones deben realizarse en el día y ser consumidas de inmediato.

- Los productos industrializados deberán contar con registro sanitario y fecha de vencimiento vigente, además la información consignada en el rotulado de estos productos deberá cumplir con lo establecido en el Artículo 117° del Reglamento sobre Vigilancia Sanitaria y Control Sanitario de Alimentos y Bebidas, aprobado por Decreto Supremo N° 007-98/SA².

Para el caso de alimentos perecibles como las carnes, leche y sus derivados, el establecimiento debe contar con equipos de refrigeración que permitan mantener la cadena de frío.

- Definiciones de ingredientes añadidos para alimentos preparados sólidos:

Bajo en azúcar	≤ 5g (1 cucharita) por 100 g
Bajo en sal	1,25 g (¼ cucharita) por 100g
Bajo en aceite	≤ 3g (1 cucharita) por 100 g

- Definiciones de ingredientes añadidos para alimentos preparados líquidos:

Bajo en azúcar	6,25 g (1 ¼ cucharita) por vaso de 250 ml
----------------	---



g. OSTOS J.

¹ La refrigeración solo se considera para productos perecibles como carnes, quesos, leche, yogurt y similares

² a) Nombre del producto b) Declaración de los ingredientes y aditivos empleados en la elaboración del producto c) Nombre y dirección del fabricante d) Nombre, razón social y dirección del importador, lo que podrá figurar en etiqueta adicional, e) Registro sanitario, f) Fecha de vencimiento, cuando el producto lo requiera con arreglo a lo que establece el CODEX Alimentarius o la norma sanitaria peruana que es aplicable, g) Código o clave de lote, h) Condiciones especiales de conservación cuando el producto lo requiera.