

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

“EFECTO DEL TIEMPO DE CONGELACIÓN DEL YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) EN LA CINÉTICA DE SECADO Y REHIDRATACIÓN”

Tesis para optar el título profesional de:

Ing. Agroindustrial

Autor:

Mirian Anaí Núñez González

Asesor:

Mg. Sc. James Euler Villar Estrada

Chota – Perú

2026



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**

¡Un sueño hecho realidad!

Ingeniería Agroindustrial

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD Y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

CO-N°01 -2026-FCA-UNACH- RADCT

El que suscribe, Coasesor del Informe de Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis Titulado “Efecto del tiempo de congelación del yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en la cinética de secado y rehidratación”, perteneciente a la tesista Mirian Anaí Núñez González; presenta un GRADO DE SIMILITUD de 17 % y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL DE 0 %, en base al análisis realizado por el Software Antiplagio Turnitin (23/01/2026) y este corresponde a una similitud menor al 20 %, por lo que se considera producción intelectual propia (Art. 27e del Reglamento de Grados y Títulos 2025 aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 770-2025-UNACH).




La presente se emite a la interesada para los trámites que estime conveniente.

Chota, 23 de enero de 2026.

Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres
Coasesor de Informe Final de Tesis
Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial
Facultad de Ciencias Agrarias

Mirian Anai NUÑEZ GONZÁLEZ

IFT Mirian Anaí Núñez González

-  Aplicación Normas APA 7ma Edición
-  APA UNACH
-  Universidad Nacional Autónoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3463174982

Fecha de entrega

23 ene 2026, 1:40 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

23 ene 2026, 1:53 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

IFT_Mirian_Ana_N_ez_Gonz_lez.pdf

Tamaño del archivo

2.1 MB

81 páginas

17.192 palabras

87.957 caracteres




17% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

- 16%  Fuentes de Internet
- 14%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 16% Fuentes de Internet
- 14% Publicaciones
- 11% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	hdl.handle.net	3%
2	Internet	repositorio.utc.edu.ec	2%
3	Publicación	Aron Esneyder Polo Ganchozo, Jessica Maribell Tuqueres Tacurí, María Fernanda ...	1%
4	Trabajos del estudiante	ueb	1%
5	Internet	repositorio.uchile.cl	1%
6	Internet	tesis.repo.sld.cu	<1%
7	Internet	www.panelamonitor.org	<1%
8	Internet	repositorio.unicordoba.edu.co	<1%
9	Internet	worldwidescience.org	<1%
10	Internet	repositorio.unamba.edu.pe	<1%
11	Internet	repositorio.unach.edu.pe	<1%

12	Internet	www.agronomia.unal.edu.co	<1%
13	Internet	uvadoc.uva.es	<1%
14	Internet	laccet.org	<1%
15	Internet	repositorio.ulima.edu.pe	<1%
16	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
17	Internet	euskadi.eus	<1%
18	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
19	Trabajos del estudiante	Escuela Politecnica Nacional	<1%
20	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE	<1%
21	Internet	qdoc.tips	<1%
22	Internet	www.researchgate.net	<1%
23	Internet	repositorio.unsch.edu.pe	<1%
24	Internet	sedici.unlp.edu.ar	<1%
25	Internet	JADER RODRIGUEZ CORTINA. "CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INTENSIFICACI...	<1%

26	Internet	dspace.esoch.edu.ec	<1%
27	Internet	bdigital.uncu.edu.ar	<1%
28	Internet	revistas.unprg.edu.pe	<1%
29	Internet	www.dspace.uce.edu.ec	<1%
30	Internet	repositorio.espam.edu.ec	<1%
31	Internet	repository.uamerica.edu.co	<1%
32	Internet	riunet.upv.es	<1%
33	Internet	www.coursehero.com	<1%
34	Internet	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
35	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
36	Internet	repositorio.unj.edu.pe	<1%
37	Internet	diposit.ub.edu	<1%
38	Internet	es.scribd.com	<1%
39	Publicación	Iguaz Gainza, María Asuncion. "Modelling, simulation and control of the drying pr...	<1%

40	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%
41	Internet	repositorio.unheval.edu.pe	<1%
42	Internet	repositorio.unas.edu.pe	<1%



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 006-2026-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N.° 433-2026-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
M Sc. Rubén Ivan Marchena Chanduvi	Presidente
MBA. José Felipe Garrido Julca	Secretario
Dr. Augusto Antonio Mechato Anastasio	Vocal

De la tesis titulada:

Efecto del tiempo de congelación del yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) en la cinética de secado y Rehidratación.

Que ha sustentado el(los) Bachiller (es):

Nombres y apellidos	DNI
Mirian Anai Núñez González	76581612

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Agroindustrial

Acuerdan por:

<input type="checkbox"/>	Unanimidad	<input checked="" type="checkbox"/>	Mayoría
--------------------------	------------	-------------------------------------	---------


<input checked="" type="checkbox"/>	Aprobar	<input type="checkbox"/>	Desaprobar
-------------------------------------	---------	--------------------------	------------

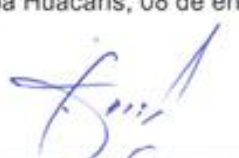
Otorgando la calificación de:

13	Aprobado
	Excelente
X	Bueno
	Regular


<input type="checkbox"/>	Desaprobado
--------------------------	-------------

Colpa Huacaris, 08 de enero del 2026


 M Sc. Rubén Ivan Marchena Chanduvi
Presidente


 MBA. José Felipe Garrido Julca
Secretario


 Dr. Augusto Antonio Mechato Anastasio
Vocal


 Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres
Asesor

DEDICATORIA

Dedico este logro, en primer lugar, a mi hijo Andrew Calep Ccapatinta Núñez, por ser el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. Su amor incondicional, su apoyo constante y su fe inquebrantable en mis capacidades me han impulsado a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Supo comprender mi ausencia, me acompañó en silencio y celebro conmigo cada pequeño triunfo. Sin él, este camino no habría sido posible.

En segunda instancia, dedico este trabajo a mis asesores James Euler Villar Estrada y Ricardo Abel Del Castillo Torres, cuya orientación académica y humana ha sido clave para el logro de este objetivo. Su compromiso, paciencia y generosidad al compartir sus conocimientos no solo han enriquecido este trabajo, sino que han dejado una marca significativa en mi manera de aprender y de investigar. De igual forma, dedico también este logro a mis docentes quienes contribuyeron en mi formación profesional. A cada uno de ustedes, gracias por inspirarme y por ser parte de este proceso.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a la ejecución y culminación de esta tesis. En especial, a mis asesores, por su valiosa orientación, dedicación y paciencia a lo largo de este proceso académico. Su experiencia y apoyo resultaron ser esenciales para llevar a cabo este trabajo.

Agradezco profundamente a mi familia y amigos, quienes me acompañaron con palabras de ánimo, comprensión y apoyo incondicional, brindándome siempre la fuerza necesaria para continuar.

Extiendo también mi gratitud a los participantes que colaboraron en el desarrollo del estudio, por su tiempo, disposición y compromiso con esta investigación. Finalmente, agradezco a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), por brindarme las condiciones y recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto. Gracias a cada uno de ustedes, este logro ha sido posible

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Planteamiento del Problema	1
1.2.	Formulación del Problema.....	4
1.3.	Justificación	4
1.4.	Objetivos	7
1.4.1.	<i>Objetivo General</i>	7
1.4.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	7
II.	MARCO TEÓRICO	8
2.1.	Antecedentes	8
2.2.	Bases Teóricas Científicas	12
2.2.1.	<i>Origen y Distribución del Yacón</i>	12
2.2.2.	<i>Contexto Regional</i>	12
2.2.3.	<i>Contexto Local</i>	12
2.2.4.	<i>Composición Química</i>	12
2.2.5.	<i>Conservación del Yacón por Congelación</i>	13
2.2.6.	<i>Secado, Pretratamientos y Modelamiento Matemático</i>	14
2.2.7.	<i>Pretratamientos y Cinética de Secado:</i>	15
2.2.8.	<i>Cinética y Modelización Matemática</i>	15
2.2.9.	<i>Parámetros Cinéticos de Rehidratación</i>	15
2.3.	Marco Conceptual.....	16
2.3.1.	<i>Yacón</i>	16
2.3.2.	<i>Congelación</i>	16
2.3.3.	<i>Cinética de Secado</i>	16
2.3.4.	<i>Rehidratación</i>	16

2.3.5. <i>Quemadura por Congelación</i>	16
2.3.6. <i>Escala de Grises</i>	16
2.3.7. <i>Densidad Integrada</i>	16
2.4. Hipótesis	17
2.5. Operacionalización de Variables	17
III. MARCO METODOLÓGICO	19
3.1. Tipo y Nivel de Investigación	19
3.1.1. <i>Tipo de Investigación</i>	19
3.1.2. <i>Nivel de Investigación</i>	19
3.2. Diseño de Investigación	19
3.3. Métodos de Investigación	20
3.4. Población, Muestra y Muestreo	20
3.4.1. <i>Población</i>	20
3.4.2. <i>Muestra</i>	20
3.4.3. <i>Muestreo</i>	20
3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	21
3.5.1. <i>Almacenamiento en Congelación</i>	21
3.5.2. <i>Proceso de Secado Convectivo</i>	21
3.5.3. <i>Evaluación de la Humedad</i>	21
3.5.4. <i>Curvas de Secado</i>	22
3.5.5. <i>Proceso de Rehidratación</i>	22
3.5.6. <i>Análisis de Imágenes</i>	22
3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	23
3.6.1. <i>Modelamiento Matemático de la Cinética de Secado y Rehidratación</i> ...	23
3.7. Aspectos Éticos: No aplica	24

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	25
4.1. Descripción de Resultados	25
<i>4.1.1. Efecto del Tiempo de Congelación en el Secado</i>	25
<i>4.1.2. Efecto del Tiempo de Congelación en la Rehidratación</i>	27
<i>4.1.3. Efecto del Tiempo de Congelación en la Morfología de las Rodajas Secadas</i>	29
4.2. Contrastación de Hipótesis	34
4.3. Discusión de Resultados	36
5.1. Conclusiones	41
5.2. Recomendaciones	42
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	43
VII. ANEXOS	53

Índice de Tablas

Tabla 1	Operacionalización de variables	18
Tabla 2	Contraste de hipótesis	34
Tabla 3	Análisis de varianza para k - Suma de cuadrados Tipo III	53
Tabla 4	Pruebas de múltiple rangos para k por día	54
Tabla 5	Análisis de varianza para n - Suma de cuadrados Tipo III	53
Tabla 6	Pruebas de múltiple rangos para n por día	54
Tabla 7	Análisis de varianza para k1 - Suma de cuadrados Tipo III	55
Tabla 8	Pruebas de múltiple rangos para k1 por día	55
Tabla 9	Análisis de varianza para k2 - Suma de cuadrados Tipo III	56
Tabla 10	Pruebas de múltiple rangos para k2 por día	57
Tabla 11	Análisis de varianza para As - Suma de cuadrados Tipo III	58
Tabla 12	Pruebas de múltiple rangos para As por día	59
Tabla 13	Análisis de varianza para Ar - Suma de cuadrados Tipo III	59
Tabla 14	Pruebas de múltiple rangos para Ar por día	60
Tabla 15	Análisis de varianza para Ps (antes del secado)-Suma de cuadrados Tipo III	61
Tabla 16	Pruebas de múltiple rangos para Ps por día	61
Tabla 17	Análisis de varianza para Pr (post secado) - Suma de cuadrados Tipo III	62
Tabla 18	Pruebas de múltiple rangos para Pr por día	63
Tabla 19	Análisis de varianza para GSi (antes del secado)-Suma de cuadrados Tipo III	64
Tabla 20	Pruebas de múltiple rangos para GSi por día	64
Tabla 21	Análisis de varianza para GSii (post-secado) - Suma de cuadrados Tipo III	65
Tabla 22	Pruebas de múltiple rangos para GSii por día	66
Tabla 23	Análisis de varianza para GSiii (post rehidratación)-Suma de cuadrados Tipo III	66
Tabla 24	Pruebas de múltiple rangos para GSiii por día	67

Tabla 25	Análisis de varianza para rIGi (post secado) - Suma de cuadrados Tipo III	68
Tabla 26	Pruebas de múltiple rangos para rIGs por día.....	68
Tabla 27	Análisis de varianza para rIGs (post rehidratación) - Suma de cuadrados Tipo III.....	69
Tabla 28	Pruebas de múltiple rangos para rIGs por día.....	70
Tabla 29	Análisis de varianza para DIRs - Suma de cuadrados Tipo III.....	71
Tabla 30	Pruebas de múltiple rangos para DIRs por día.....	72
Tabla 31	Análisis de varianza para DIRr – Suma de cuadrados Tipo III	72
Tabla 32	Pruebas de múltiple rangos para DIRr por día.....	73

Índice de Figuras

Figura 1	Proceso para la cinética de secado y rehidratación del yacón.....	20
Figura 2	Ratio de humedad.....	25
Figura 3	Capacidad de rehidratación de las muestras secas	28
Figura 4	Reducción de las dimensiones %	30
Figura 5	Efecto del tiempo de congelación sobre la intensidad de grises y la densidad integrada	32
Figura 6	Medias y 95% de Tukey.....	54
Figura 7	Medias de múltiples rangos n y 95,0 % de Tukey y HSD.....	56
Figura 8	Medias y 95,0 % de Fisher LSD Múltiple Rangos para k1 por día.....	57
Figura 9	Medias y 95,0% de Tukey HSD para K2	59
Figura 10	Medias y 95,0% de Tukey HSD para As por día	61
Figura 11	Medias y 95,0% de Tukey HSD para Ar por día.....	62
Figura 12	Medias y 95,0% de Tukey HSD para Ps por día	64
Figura 13	Medias y 95,0% de Tukey HSD para Pr por día	65
Figura 14	Medias y 95,0% de tukey HSD para GSi por día.....	67
Figura 15	Medias y 95,0% de tukey HSD para GSii por día.....	68
Figura 16	Medias y 95,0% de Tukey HSD para GSiii por día	69
Figura 17	Medias y 95,0% de Fisher LSD.....	71
Figura 18	Medias y 95,0% de Tukey HSD para rIGr por día	72
Figura 19	Medias y 95,0% Tukey HSD para DIRs por día	74
Figura 20	Pruebas de múltiples rangos para DIRr por día.....	76
Figura 21	Recepción de materia prima	77
Figura 22	Congelado del yacón	77
Figura 23	Temperatura a -20 °C	78

Figura 24	Descongelado del yacón.....	78
Figura 25	Cortado del yacón en laminas	79
Figura 26	Pesado de las láminas del yacón.....	79
Figura 27	Primera deshidratación en la estufa.....	80
Figura 28	Trituración de la muestra después del deshidratado final	80
Figura 29	Determinación de humedad.....	81
Figura 30	Primera rehidratación	81
Figura 31	Rehidratación final	82

Resumen

El objetivo de la investigación fue estudiar el efecto del tiempo de congelación del yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en la cinética de secado y rehidratación, con respecto al estudio de la cinética de secado y rehidratación del yacón. Para llevar a cabo dicho estudio se analizaron las rebanadas de *Smallanthus sonchifolius* (yacón) previamente congeladas y almacenadas entre 1 y 28 días. Se utilizaron los modelos de Page (para secado) y Peleg (para rehidratación), los cuales mostraron buen ajuste a los datos experimentales, siendo eficaces para describir los procesos de transferencia de masa. Durante el secado convectivo a 60 °C, se registró una caída rápida del contenido de humedad relativa en los primeros 60 minutos. Esta reducción fue más marcada con mayor tiempo de almacenamiento: desde $E \approx 0,55$ en el día 1 hasta $E \approx 0,25$ en el día 28, lo que refleja una mayor eficiencia de secado. El parámetro k del modelo de Page se incrementó de aproximadamente 0,8 a más de 1,2, mientras que la constante de velocidad del modelo de Peleg (k_1) aumentó de 0,002 a 0,01 mm/min, evidenciando una mejora en la difusividad del agua. En la rehidratación a 25 °C, se observó una rápida absorción inicial, seguida de una fase más lenta hasta los 300 min. Las muestras almacenadas por más tiempo mostraron mayor absorción de agua, con incrementos de 9 a 12 g agua/g de materia seca. Los valores de k_1 fluctuaron entre 0,04 y 0,12 s·g/g, mientras que k_2 descendió progresivamente de 0,18 a 0,06–0,08 s·g/g, indicando una mejora en el equilibrio de absorción con el tiempo. En términos estructurales, el secado causó reducciones superiores al 90 % en el área y de 85–90 % en el perímetro del tejido. La rehidratación permitió una recuperación parcial, con disminuciones de entre 70–80 % en área y 60–70 % en perímetro, siendo más favorable bajo la condición B. Además, se registró una marcada reducción de la densidad integrada (DIR) en muestras rehidratadas, lo que refleja daños estructurales asociados al proceso.

Abstract

The objective of this research was to study the effect of frozen storage on the drying and rehydration kinetics of yacon. To conduct this study, previously frozen slices of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) were analyzed and stored for between 1 and 28 days. The Page (drying) and Peleg (rehydration) models were used, showing a good fit to the experimental data and being effective in describing mass transfer processes. During convective drying at 60 °C, a rapid drop in relative humidity was recorded in the first 60 minutes. This reduction was more marked with longer storage times: from $E \approx 0.55$ on day 1 to $E \approx 0.25$ on day 28, reflecting greater drying efficiency. The Page model parameter k increased from approximately 0.8 to over 1.2, while the Peleg model rate constant (k_1) increased from 0.002 to 0.01 mm/min, indicating an improvement in water diffusivity. Upon rehydration at 25 °C, rapid initial sorption was observed, followed by a slower phase up to 300 min. Longer-stored samples showed higher water sorption, with increases of 9–12 g water/g dry matter. k_1 values ranged from 0.04 to 0.12 s g/g, while k_2 progressively decreased from 0.18 to 0.06–0.08 s g/g, indicating an improvement in sorption equilibrium over time. Structurally, drying caused reductions of over 90% in area and 85–90% in perimeter of the tissue. Rehydration allowed partial recovery, with decreases of between 70–80 % in area and 60–70 % in perimeter, being more favorable under condition B. In addition, a marked reduction in integrated density (IID) was recorded in rehydrated samples, reflecting structural damage associated with the process.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

El yacón (*Smallanthus sonchifolius*), un tubérculo autóctono de los Andes peruanos, ha experimentado un crecimiento significativo en su producción, alcanzando aproximadamente 28 000 kg/ha en Perú (INIA, 2019). Su creciente popularidad se debe a sus notables beneficios nutricionales y a su capacidad para prevenir diversas enfermedades, lo que lo posiciona como un alimento con importantes propiedades para la salud humana (López et al., 2021; Verediano et al., 2021).

La raíz de yacón es valorada por su rica composición en fructooligosacáridos (FOS), compuestos fenólicos y antioxidantes, que le confieren características funcionales y efectos beneficiosos para la salud (Minchola et al., 2022). A pesar de estas propiedades, su aplicación industrial se ve limitada por su alta perecibilidad y su sensibilidad a factores poscosecha. Sus atributos funcionales, como su bajo índice glucémico, alta potencial antioxidante y elevada presencia de compuestos fenólicos y FOS, lo hacen particularmente valioso (Paredes et al., 2018).

La raíz del yacón en estado fresco presenta presencia de FOS que oscila entre el 10% y el 12%, representando entre el 50% y el 70% en base seca (Graefe et al., 2004). Además, su potencial prebiótico ha sido destacado (Hermann & Heller, 1997). No obstante, su elevado contenido de agua (83-90%, según Caballero y Colonia, 2018) propicia un rápido deterioro debido al desarrollo microbiano y a las reacciones enzimáticas, lo que compromete su calidad y genera pérdidas económicas (Richter et al., 2012).

La conservación del yacón ha sido tradicionalmente gestionada mediante prácticas culturales en diversas regiones. Su consumo directo, a menudo después de la exposición al sol para potenciar su dulzura por la liberación de fructosa, y su uso artesanal

en productos como jarabes, sopas, té y chupetines, así como la utilización de sus hojas en preparaciones culinarias, reflejan su versatilidad (Garramuño et al., 2022). A pesar de su riqueza en compuestos funcionales, el yacón es una planta estacional con una vida útil corta y un almacenamiento complicado, lo que representa un desafío para su conservación (Gomes et al., 2021).

La conservación y transformación del yacón es un desafío constante para la agroindustria, que busca minimizar la pérdida de sus valiosos componentes funcionales. A lo largo de los años, se han implementado diversas innovaciones en el procesamiento del yacón por medio del secado, ya que el secado se ha consolidado como una técnica efectiva para reducir la humedad y prolongar la vida útil del yacón (Fenner et al., 2009). El secado evolucionó comenzando con el secado por aire caliente y evolucionando hacia técnicas como el secado al vacío, con bomba de calor, deshidratación osmótica, secado osmoconvectivo, liofilización y secado por aspersion y esteras de espuma (Reis et al., 2021).

A pesar de estos avances, existe una limitada información sobre procesamiento del yacón, la información disponible sobre el uso de pretratamientos como la congelación empleada como método de almacenamiento previo en la preservación de frutas y hortalizas sigue siendo limitada. Esta práctica común en la conservación de frutas y hortalizas requiere un análisis detallado de cómo el tiempo de almacenamiento bajo congelación puede afectar tanto la calidad del producto como los procesos posteriores de secado. Particularmente, son todavía más escasas las referencias sobre el impacto del almacenamiento congelado en la calidad y el procesamiento posterior del yacón, en especial si se busca referencias acerca del efecto del tiempo de congelación del yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en la cinética de secado y rehidratación.

En este contexto, existe también una notoria carencia de parámetros estandarizados para procesos clave, tales como el almacenamiento por congelación (y su duración óptima) y su influencia sobre la calidad físico-química del alimento procesado. Por ejemplo, un estudio previo en yacón mostró que almacenar raíces bajo congelación durante diez días previo al secado generó un incremento del pardeamiento en rebanadas deshidratadas, evidenciado por una disminución gradual de la escala de grises durante el secado (análisis de imágenes) (Gutiérrez y Alarcón, 2025). A su vez, investigaciones en otros vegetales han documentado que alteraciones microestructurales inducidas por la congelación pueden influir significativamente en los mecanismos de transferencia de masa, afectando tanto la velocidad como la eficiencia del secado y la capacidad de rehidratación del producto (por ejemplo, en vegetales de diferente estructura) (Ledur et al., 2013).

Respecto al yacón, estudios recientes acerca de cinética de secado refieren que, bajo condiciones de secado convectivo con ventilación, las constantes cinéticas se ajustaron bien al modelo de modelo de Page, y que la difusividad efectiva del agua varía entre aproximadamente 1.22×10^{-10} y 1.90×10^{-10} m²/s para temperaturas entre 60 °C y 80 °C (Baldeón et al., 2024). Asimismo, un trabajo reciente mostró que el almacenamiento a bajas temperaturas (refrigeración a 4 °C o congelación a -20 °C) alteró las constantes cinéticas de secado y rehidratación en las rebanada

s de yacón, inclusive el efecto fue más marcado en la rehidratación que en la velocidad de secado (Gutiérrez y Alarcón, 2025). Por lo tanto, el vínculo específico del tiempo de almacenamiento bajo congelación y su impacto en las constantes cinéticas de secado y rehidratación aún merece una mayor atención.

Ante esta brecha de conocimiento, el propósito general de este estudio consistió en analizar el efecto del tiempo de congelación de rebanadas de yacón previo al secado y

el efecto en las constantes cinéticas de secado y rehidratación, para relacionar la duración del almacenamiento congelado con la cinética de pérdida de humedad, la reabsorción de agua y la calidad final del producto deshidratado.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál será el efecto del tiempo de congelación como pretratamiento al secado convectivo, respecto a los parámetros cinéticos de secado y rehidratación en las rebanadas de yacón?

1.3. Justificación

La industria de alimentos ha implementado diversos procesos tecnológicos para conservar, procesar y comercializar el yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en una amplia diversidad de alimentos. De los cuales destacan productos deshidratados en diversas formas, ya que facilitan el transporte y al mismo tiempo conservan. El secado en yacón fue empleado exitosamente y con diversos resultados. La asociación del secado con un pretratamiento por congelación es innovadora en el sentido de valorar el efecto que ocasiona a favor o en contra de la calidad del producto deshidratado.

La congelación reduce la temperatura hasta el punto de congelación, ocasionando una ralentización significativa de las reacciones químicas de deterioro y inhibiendo el desarrollo de microorganismos (Muthukumarappan et al., 2019). Sin embargo, son escasos los estudios específicos sobre la conservación en frío del yacón.

A pesar de los beneficios descritos anteriormente, la congelación puede ocasionar efectos adversos significativos en los tejidos vegetales, tales como daños mecánicos, crioconcentración, formación y recristalización de cristales de hielo, los cuales alteran los sistemas metabólicos, desestabilizan enzimas, dañan membranas celulares y pueden provocar lisis celular. Estos efectos se deben principalmente a la migración de agua y la deshidratación intracelular que ocurren durante la formación de cristales de hielo,

especialmente bajo velocidades de congelación lentas, lo que genera tensiones osmóticas y mecánicas en las membranas (Xanthakis et al., 2019).

Recientemente se ha referido que la velocidad de congelación y las condiciones de almacenamiento condicionan la magnitud del daño estructural. Sí la velocidad de congelación es lenta o prolongada, se forman cristales de mayor tamaño, lo que puede provocar procesos de recristalización que incrementan el deterioro de la microestructura celular (Pérez-Bermúdez et al., 2023; Grover & Negi, 2023). Este fenómeno físico genera separación de células, pérdida de turgencia, aumento del “*drip loss*” y cambios en la textura y color del alimento, comprometiendo su calidad.

Otros recientes estudios recientes señalan también que el daño por congelación a nivel celular, como es el caso de vegetales, puede inducir ruptura de membranas, formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y desorganización de organelos, afectando la estabilidad metabólica del tejido vegetal (Nabati et al., 2023). A nivel estructural, la generación de canales o fracturas dentro del tejido congelado favorecen la transferencia de masa en operaciones como el secado o rehidratación, al incrementar la porosidad y reducir la resistencia difusiva del agua (Wu et al., 2021). Sin embargo, este efecto beneficioso se produce a costa de una irreversible pérdida de integridad celular (Salami et al., 2025).

En conjunto, la literatura reciente confirma que la congelación, si bien es un método eficaz de preservación, implica procesos complejos de daño microestructural que afectan tanto la calidad del alimento como su comportamiento en etapas posteriores de procesamiento, como el secado o la rehidratación. Por ejemplo, el daño por congelación puede generar nuevos canales en los tejidos vegetales, lo que mejora la transferencia de masa en operaciones como el secado (Dandamrongrak et al., 2003).

Actualmente, se investigan técnicas para optimizar procesos tradicionales como el secado y la congelación mediante nuevos enfoques y tecnologías que reconsideran y mejoran los parámetros del proceso (Silva et al., 2021).

En el ámbito social, se considera un alimento funcional cada vez más valorado por su contenido de FOS e inulina, compuestos con efecto prebiótico que favorecen la salud digestiva. Su producción y comercialización también representan una oportunidad económica para las comunidades andinas, al impulsar la diversificación de cultivos y fortalecer las cadenas locales. Por ello, optimizar su conservación no solo mejora la calidad del producto, sino que también aporta al desarrollo y bienestar de la población (Fernandez , 2025).

El yacón no solo aporta beneficios sociales y económicos, sino que también ofrece ventajas ambientales, ya que su cultivo puede ser sostenible si se aplican buenas prácticas agrícolas que optimicen fertilizantes y aprovechen todas las partes de la planta, reduciendo residuos y promoviendo la economía circular. Asimismo, la implementación de métodos de conservación como el secado y la congelación disminuye las pérdidas postcosecha y los impactos ambientales asociados, incluyendo la eutrofización y las emisiones de gases de efecto invernadero (Moritz et al., 2019).

A pesar que, en la práctica empírica, la congelación es ampliamente utilizada como método de conservación de las raíces de yacón, hasta ahora no está claro el impacto en la conservación y como pretratamiento previo a su procesamiento industrial. En ese sentido, el presente estudio analizará el efecto del tiempo de congelación como en el secado de rebanadas de yacón.

Este trabajo también explorará la cinética de secado y rehidratación de las rebanadas de yacón, considerando la congelación como pretratamiento. Para ello, se emplearán parámetros que permitan una comparación del proceso, como las

interpretaciones del modelo de Page (Page, 1949), que derivan en el concepto de difusión anómala, tal como lo propone Simpson et al. (2017). Estas comparaciones facilitan una comprensión fenomenológica que ayudará a comprender el secado del yacón posterior a un almacenamiento bajo congelación.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Estudiar el efecto del tiempo de congelación previo al secado, con respecto a los parámetros cinéticos de secado y rehidratación y la morfología.

1.4.2. Objetivos Específicos

Construir curvas de secado en función a la humedad adimensional de las rebanadas durante el secado en función al tiempo de almacenamiento.

Construir curvas de rehidratación posteriores al secado de las rebanadas en función al tiempo de almacenamiento.

Determinar los parámetros cinéticos del secado de yacón (modelo de Page) y rehidratación (modelo de Peleg).

Estudiar el efecto del tiempo de congelación sobre la morfología, con respecto a las dimensiones proyectadas, la densidad integrada y escala de grises.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Collantes (2019) determinó la temperatura y velocidad de aire para la deshidratación tanto del tubérculo y de sus hojas con el fin de obtener un edulcorante, para ello utilizó rangos térmicos de 60, 50 y 40 °C y corrientes de aire de 4, 3 y 2 m/s, aplicando nueve tratamientos, con un diseño de tipo bifactorial 3A x 3B; determinó que a 40 °C y 2 m/s la deshidratación de la raíz y hojas del yacón fue la más indicada para lograr un filtrante edulcorado con buenas cualidades sensoriales y fisicoquímicas.

Richter et al. (2012) estudiaron la cinética de secado en rebanadas de yacón, evaluando la temperatura, grosor e inhibición en ácido cítrico sobre las dimensiones fractal para estimar el índice de rehidratación del tubérculo. Se menciona que adaptaron varios modelos de secado, donde obtuvieron el ajuste más adecuado según el modelo de Page. Así mismo, entre los factores de estudio, encontraron que la temperatura afectaba negativamente las dimensiones fractales.

Soares et al. (2015), evaluaron la optimización de la deshidratación osmótica de rebanadas de yacón. Las concentraciones de solución se realizaron de 20 a 60 grados “brix”, sorbitol y xilitol a un tiempo de ultrasonidos de 0 a 40 min. Los parámetros de transferencia de masa obtenidos fueron la retención de fructanos a 60 grados “brix”, un tiempo de 2,67 min con respecto a muestras de xilitol y 0 min para muestras de sorbitol, mencionan que la aplicación de ultrasonidos mejora la deshidratación, pero puede ocasionar la despolimerización de fructanos.

Salinas et al. (2018), realizaron secado por convección con el propósito de prolongar la vida útil del yacón, el cual lo realizaron a diferentes condiciones de T° de secado (60, 45, 50 y 55 °C) a velocidad de secado de aire: 2 m/s, 3 m/ y 4 m/s, para luego comparar con el yacón original en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas. Así mismo,

se menciona que las mejores condiciones de secado con respecto a las propiedades fisicoquímicas se mantengan cercanas al material original, la temperatura adecuada es de 55 °C y 2 m/s o deben usarse temperaturas más altas, pero se debe aumentar la cantidad de aire.

Gomes et al. (2021) evaluaron el secado convectivo del yacón a temperaturas de 40 a 70 °C y la deshidratación osmótica al vacío pulsada (PVOD) utilizando sorbitol 38 grados “brix”, 35 °C, y 681 mmHg en los primeros 10 min. Evaluaron el comportamiento de secado, el consumo de energía (difusividad), la retención de fructooligosacáridos (FOS), la actividad de agua, el color y la contracción, donde usaron el modelo de Fick. Determinaron que el yacón seco pretratado con PVOD era menos indicado cuando evaluado un tiempo de secado más corto que retenía hasta 60 % de FOS. Sin embargo, la mejor condición probada para la retención de FOS (88%) fue el secado por convección a 60 °C sin aplicación PVOD.

Castro et al. (2021) este estudio tuvo como objetivo estudiar los parámetros cinéticos asociados al secado de la cáscara de tuna empleando una estufa a 50, 65 y 80 °C. Las cáscaras de tuna, cortadas en trozos de 2 cm x 2 cm y con un espesor de 0,05 cm, fueron secadas en una estufa Mermmert por convección durante 0 a 340 minutos. El valor de difusividad obtenida fue $4.000 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $5.300 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ y $4.000 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ a 50 °C, 65 °C y 80 °C, respectivamente. La energía de activación resultante fue de 19.419 kJ/mol, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,994.

Fernández et al. (2015) la congelación es un método común para conservar frutas y vegetales, ya que permite extender su vida útil manteniendo su calidad. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de las principales propiedades de la fruta bomba (*Carica papaya L, cv. Maradol Roja*) durante la deshidratación osmótica y deshidratación por aire caliente. Las frutas fueron cortadas en tamaños o cubos de 1,0 x

2,5 x 2,5 cm y fueron sometidos a deshidratación de 60 °C por 10 horas en el proceso osmótico y 5 horas en el de aire caliente. Se monitorearon, la firmeza, variación de masa y la pérdida de su peso. Los datos mostraron que no existieron diferencias significativas en estas propiedades entre los dos métodos, lo que sugiere que ambos producen efectos similares en las frutas. No obstante, los tiempos de deshidratación mostraron variaciones significativas al comparar ambos métodos.

Salcedo et al. (2014) en previos estudios sobre secado de yuca, han utilizado secadores de bandejas. Utilizaron muestras con un espesor de 0,2 cm y diámetro de 0,4 cm, y se sometieron a aire caliente con temperaturas (55, 45 y 35 °C) y velocidades de aire (3,0, 2,0 y 1,0 m/s). Se ha documentado que estas variables afectan directamente el tiempo de secado y la difusividad efectiva de la yuca, observándose que, a 55 °C y 3,0 m/s, el proceso se completa en aproximadamente 4,5 horas, alcanzando una humedad final del 4,87%. Para modelar el comportamiento del secado, se han ajustado las curvas a diferentes modelos matemáticos, resultando que el modelo de Difusión Aproximada describe de manera más precisa la cinética, con coeficientes de correlación lineal entre 0,958 y 0,993. En cuanto a los parámetros de transferencia de masa, la difusividad efectiva se encontró entre $1,26 \times 10^{-10}$ y $4,14 \times 10^{-10}$ m²/s, mientras que la energía de activación varió entre 16,16 y 33,66 kJ/mol.

Giraldo et al. (2010) en su estudio determinó experimentalmente la cinética de secado de rebanadas de pulpa de cupuaçu de 0,5 cm de grosor, utilizando un secador de tipo bandeja operando a temperaturas de 50, 60 y 70 °C, con un flujo de aire de 1,5 m/s. Se observó que, la velocidad de secado tendía a aumentar conforme se elevaba la temperatura. El tiempo necesario para reducir la humedad al 20% fue de 9,2, 8,1 y 7,3 horas a 50, 60 y 70 °C, respectivamente. Las curvas experimentales se ajustaron bien a

los modelos difusional de Fick y de Page. De acuerdo con el modelo de Fick, los coeficientes de difusión presentaron un rango de 1,171 a 1,561 m/s².

El estudio de Méndez et al. (2008) se evaluó cómo el congelamiento criogénico afecta el contenido de humedad durante el secado del ajo. Se utilizó un flujo de aire constante a 40, 50 y 60 °C, con un flujo de aire de 1,8 m/s. Las muestras fueron congeladas con nitrógeno líquido antes de medir su contenido de humedad, comparándolas con muestras no congeladas. Las muestras tratadas criogénicamente mostraron variaciones de humedad entre 0 y 70%, mientras que las muestras frescas y secas tuvieron contenidos de humedad de 1,17% y 0,55%, respectivamente. Los resultados indican que el impacto del congelamiento depende de la humedad inicial, siendo relevante para corregir la humedad base en análisis durante procesos de conservación, como el secado, pero con poco efecto en muestras frescas o secas.

2.2. Bases Teóricas Científicas

2.2.1. Origen y distribución del yacón

Según Richter et al. (2012), el yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es un tubérculo que se produce y se consume en las regiones andinas de Perú, Colombia, Bolivia y en los últimos años en Brasil. El yacón, es considerado un alimento funcional debido a la presencia de compuestos fenólicos y fibras prebióticas. Por otro lado, en el Perú se produce este tubérculo andino, en los departamentos de Cajamarca, Huánuco, Ancash, Pasco, Puno y Junín, y en menor cantidades en Amazonas, Piura, Ayacucho, Apurímac, Cusco, La Libertad, Lambayeque, Lima, San Martín, Huancavelica, Apurímac, Cusco y Arequipa. En el 2013, la producción en toneladas métricas fue de 9021.

2.2.2. Contexto regional

En Cajamarca, las características del suelo y las condiciones climáticas resultan propicias para el cultivo de yacón. Este se cultiva de forma tradicional en zonas rurales, donde cumple un papel importante en la alimentación y el comercio local. Las raíces se distinguen por su buena calidad, con elevados niveles de humedad, azúcares naturales, valores medios de fibra y sólidos solubles (Rodríguez et al., 2022).

2.2.3. Contexto local

En la provincia de Chota, el yacón (*Smallanthus sonchifolius*) se cultiva en zonas rurales bajo condiciones agroecológicas favorables, que permiten obtener raíces de alta calidad, con cerca de 90 % de humedad, 9 °Brix y pH \approx 6, evidenciando su potencial como alimento funcional y materia prima agroindustrial (Burga, 2021).

2.2.4. Composición química

El yacón es un tubérculo originario de los Andes, tiene una composición única que respalda su clasificación como alimento funcional. Entre los aspectos clave de su composición se incluyen:

Contenido en carbohidratos: El yacón es rico en fructooligosacáridos (FOS), un tipo de inulina que constituye el 70-80% de su peso seco. Se trata de fibras prebióticas beneficiosas para la salud intestinal, ya que no son digeribles en el intestino delgado, pero se fermentan en el colon (Lachman et al., 2003).

Perfil nutricional: Los tubérculos de yacón se componen de ~81,3% de agua, 13,8% de carbohidratos, 0,9% de fibra dietética, 1,0% de proteínas y 0,1% de lípidos. También son ricos en potasio y contienen vitaminas como B1, B2 y C (Kim et al., 2013).

Compuestos bioactivos: Contiene antioxidantes como ácidos hidroxicinámicos, ácido clorogénico y compuestos polifenólicos, que contribuyen a sus propiedades beneficiosas para la salud (Ojansivu et al., 2011).

Azúcares y dulzor: El dulzor del yacón se debe principalmente a la fructosa, un azúcar natural que es un 70% más dulce que la sacarosa. También contiene glucosa y sacarosa en cantidades menores (Lachman et al., 2018).

Bajo contenido energético: El yacón es bajo en calorías (46-56 kcal/100g), lo que lo hace adecuado para el control de peso (Kim et al., 2013).

Minerales: Alto contenido en potasio y magnesio, con menores cantidades de calcio y sodio, beneficiosos para la salud cardiovascular (Lachman et al., 2018).

Propiedades prebióticas: El yacón favorece el crecimiento de bacterias intestinales beneficiosas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, lo que aumenta su valor como suplemento dietético (Marque et al., 2021).

2.2.5. Conservación del yacón por congelación

Según Gómez et al. (2007) la congelación es un método para la conservación de los alimentos, que se aplica a diferentes tipos de suministros, tales como: carnes, frutas, hortalizas, lácteos entre otros, el cual se da por debajo de 0 °C.

Por otro lado, Arias (2019) menciona que la calidad de los alimentos congelados depende de la temperatura y velocidad con las que se opera, además estas determinan en los tejidos la distribución y el tamaño de los cristales formados.

2.2.5.1. Tipos de Congelación: los tipos de congelación de acuerdo con Chavez y Acosta (2023) son: congelación rápida, congelación lenta, congelación por aspersion de vacío y congelación por contacto, las cuales se definen a continuación.

Congelación Lenta y Congelación Rápida

La congelación es el factor más importante en el proceso de congelación para prevenir daños en los tejidos de los alimentos. La congelación rápida y la congelación lenta se distinguen por la velocidad a la que se forma el frente de congelación. Mientras que la congelación lenta (velocidades $< 0,1$ mm/s) genera cristales de hielo grandes que pueden deteriorar la estructura celular del alimento, la congelación rápida (velocidades $> 0,5$ mm/s) favorece la formación de cristales pequeños, preservando mejor la integridad tisular y, por ende, la calidad del producto tras su descongelación.

2.2.6. Secado, Pretratamientos y Modelamiento Matemático

El secado por convección es un proceso en el que el calor se transfiere a un material a través del aire caliente, provocando la evaporación de la humedad. El aire caliente fluye sobre el material, transfiriendo calor a su superficie y evaporando el agua. A continuación, el flujo de aire elimina el vapor. El proceso consta de dos fases: un periodo de velocidad constante, en el que la humedad se evapora de la superficie, y un periodo de velocidad decreciente, en el que la difusión interna de la humedad controla la velocidad de secado (Vega-Gálvez et al., 2012; Amanor-Atiemoh et al., 2020). El secado convectivo, los pretratamientos y la modelización matemática son temas ampliamente estudiados, sobre todo para optimizar los procesos de secado.

2.2.7. Pretratamientos y Cinética de Secado:

Efectos del pretratamiento: Técnicas como la deshidratación osmótica asistida por ultrasonidos, el escaldado y los tratamientos enzimáticos reducen el tiempo de secado y mejoran la calidad de los productos secos. Estos tratamientos aumentan la eficacia de la eliminación de agua e influyen en la cinética de secado (Amanor et al., 2020).

Secado convectivo con métodos adicionales: Los métodos de secado combinados, como el convectivo-microondas o el convectivo-infrarrojo, mejoran la eficiencia del secado y retienen más nutrientes en comparación con los métodos tradicionales. El tiempo de secado disminuye significativamente con los métodos combinados (Kroehnke et al., 2018).

2.2.8. Cinética y modelización matemática

Modelo de page: Entre los diversos modelos aplicados para describir la cinética de secado, el modelo de Page suele ser el que mejor se ajusta debido a su flexibilidad para adaptarse a los datos experimentales de secado. Modela con éxito la eliminación de humedad durante los periodos de tasa constante y decreciente (Etti y Nkem, 2021).

2.2.9. Parámetros cinéticos de rehidratación

Según Marín (2006) la rehidratación se puede considerar como una medida de daño al producto que ocurre dentro de la deshidratación, además en algunos procesos la velocidad de rehidratación recurre como medida de la calidad del producto deshidratado. Por ejemplo, el secado en lecho fluido presentaba mejores propiedades de rehidratación que el secado halógeno (Planinic et al., 2005).

El modelo de Peleg se utiliza ampliamente para describir la cinética de rehidratación debido a su simplicidad y eficacia a la hora de ajustar datos experimentales.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Yacón

Tubérculo que se cultiva en los andes peruanos con alto contenido de compuestos funcionales, siendo un alimento principal para prevenir diferentes enfermedades en la población peruana.

2.3.2. Congelación

Método utilizado para la conservación de alimentos, el cual ayuda a prevenir que ciertos microorganismos se desarrollen.

2.3.3. Cinética de secado

Es una manera de predecir el comportamiento del alimento o material durante el proceso de secado.

2.3.4. Rehidratación

La rehidratación es una operación unitaria que suministran una gran cantidad de productos, y muestran cambios a nivel microestructural.

2.3.5. Quemadura por congelación

Es un daño que ocurre en los alimentos o tejidos cuando se exponen a temperaturas bajo cero durante un tiempo prolongado.

2.3.6. Escala de grises

Es una representación de imágenes en tonos de gris que varían desde el negro hasta el blanco, sin colores. Cada tono corresponde a un nivel de intensidad luminosa

2.3.7. Densidad integrada

Es un indicador que relaciona la intensidad del color con el tamaño de una zona específica, permitiendo detectar variaciones visuales como el oscurecimiento en una muestra.

2.4. Hipótesis

H0: El tiempo de almacenamiento bajo congelación afecta a la cinética de secado y rehidratación, así como a los indicadores de morfología en las rebanadas de yacón deshidratados.

H1: El tiempo de almacenamiento bajo congelación no afecta a la cinética de secado y rehidratación, así como a los indicadores de morfología en las rebanadas de yacón deshidratados.

2.5. Operacionalización de Variables

A continuación, en la siguiente tabla se muestran las variables, tanto dependientes y variables independientes.

Tabla 1*Operacionalización de variables*

Variable	Definición	Escala de medición	Indicador	Unidad de análisis	Nivel de medición
Tiempo de almacenamiento bajo congelación de las raíces (V.I.)	Periodo (días) durante el cual un producto puede mantenerse fresco y seguro	Días: 1, 8, 15, 22, y 29.	Cronograma de actividades	Rebanadas de yacón	formatos para datos
Constantes cinéticas de secado por el modelo de Page (V.D.)	k y n	arbitraria	Constantes con mejor correlación	Datos de humedad agrupados	Datos modelados de peso en función del tiempo
Constantes cinéticas de rehidratación por el modelo de Peleg (V.D.)	k1 y k2	arbitraria	Constantes con mejor correlación	Datos de humedad agrupados	Datos modelados de peso en función del tiempo

Nota. La operacionalización de variables cuenta con variable independiente representada por (V.I) y variable dependiente representado por (V.D).

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

La presente investigación será de tipo exploratorio, ya que inicialmente se busca comprender fenómenos nuevos o poco estudiados, identificar variables y formular hipótesis iniciales, en el caso específico del pretratamiento por congelación del yacón. La investigación será del tipo cuantitativa, ya que se basa en datos numéricos y análisis estadísticos, para deducir discusiones y conclusiones.

3.1.2. Nivel de Investigación

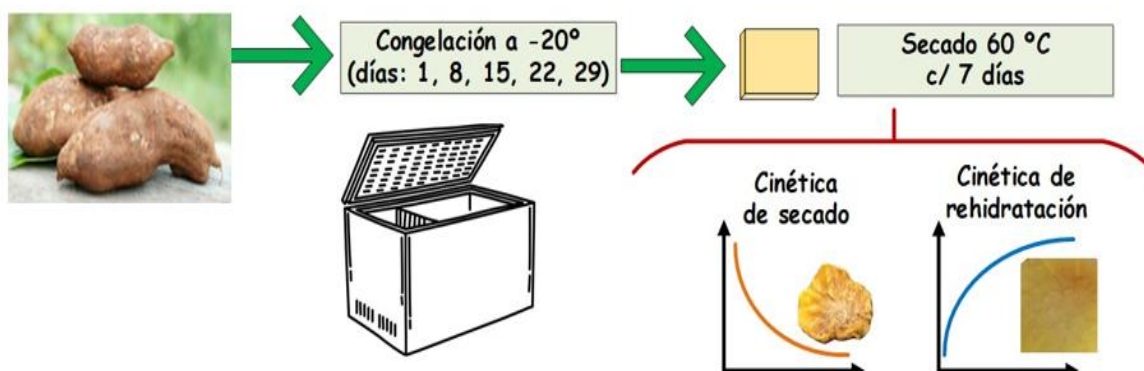
El nivel de investigación será de nivel aplicado, ya que busca resolver problemas prácticos específicos y crear soluciones que puedan implementarse en la sociedad. En el caso específico sería de como emplear grado de relación entre las variables de estudio, efecto del tiempo de congelación en los parámetros de secado de yacón.

3.2. Diseño de Investigación

El diseño de investigación será experimental ya que se manipulará una variable independiente (tiempo de almacenamiento) para estudiar el efecto de tiempo de la congelación del yacón, con respecto a los parámetros cinéticos de secado y rehidratación. Además, será transversal porque se tomarán muestras durante las etapas de secado para determinar, actividad de agua, tiempo, temperatura, rendimiento y color. Es por ello que en la Figura 1 se presenta el esquema para la cinética de secado y rehidratación.

Figura 1

Proceso para la cinética de secado y rehidratación del yacón



3.3. Métodos de Investigación

El método de investigación será cuantitativo debido que requiere de la intervención de datos cuantificables en un proyecto que se relaciona a un método estadístico lineal, que utiliza datos de corridas completadas y determina la mejor eficiencia y controla las variables de respuesta que resultan en condiciones óptimas de proceso.

3.4. Población, Muestra y Muestreo

3.4.1. Población

Para la presente investigación la población consistió por la producción de *Smallanthus sonchifolius* (yacón) cultivada en el distrito de Chota – Cajamarca.

3.4.2. Muestra

Las muestras se tomaron a través de la compra de 5 kg de yacón adquiridos en los mercados de la ciudad de Chota. La cantidad de muestra es aproximada, ya que cada muestra se divide en tres partes, debido que se tiene cinco controles, empleándose un kilogramo de muestra por cada control (aproximadamente).

3.4.3. Muestreo

Se utilizó muestreo no probabilístico, el cual fue muestreo por conveniencia.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.5.1. Almacenamiento en congelación

Las raíces de yacón fueron congelados durante 30 días a una temperatura de -20 °C; se tomaron muestras cada siete días las mismas que fueron descongeladas (usando agua a ~20 °C). Inicialmente el yacón se peló y luego fue cortado de manera rectangular en dimensiones de 5 cm x 4cm y un espesor de 4mm, para posteriormente ser secadas a 60 °C mediante la estufa. Las muestras fueron retiradas cada media hora para luego ser pesadas usando una balanza analítica.

3.5.2. Proceso de secado convectivo

Para esta operación, las raíces fueron preparadas para su deshidratación mediante un pelado y cortado en rebanadas usando un molde rectangular de acero inoxidable, para obtener laminas en las dimensiones predeterminadas (5 x 4 cm). De acuerdo con cada tratamiento, fueron llevados a cabo los controles de peso (cada 30 minutos) y humedad durante todo el proceso de secado. Este proceso se llevó a cabo en una estufa (marca BINDER, modelo ED56 donde presenta rangos de temperatura 5 a 300 °C, con aire forzado presenta una desviación de temperatura a 150 °C $2 \pm K$ y fluctuación $0,4 \pm k$ y presentaba un voltaje 230V frecuencia 50/60 Hz potencial nominal 1,05 KW fusible 6,3 A fase tensión nominal 1 volumen interior de 57L) a temperatura de 60 °C (set point) respectivamente, donde no se considerará la velocidad del aire en circulación como variable de estudio.

3.5.3. Evaluación de la humedad

Para la determinación de humedad, se empleó el método gravimétrico. Para ello, las rebanadas secas fueron molturadas para luego ser colocadas en placas de Petri dentro de estufa a 110 °C, con control de peso hasta determinar peso constante (AOAC, 1990).

3.5.4. *Curvas de secado*

Las curvas de secado fueron planteadas en función del contenido de humedad ($M_t\%$) (Ec.1) y de la relación de humedad adimensional (MR) (Ec.2) sobre el tiempo del proceso de secado. Donde M es el contenido de humedad en base seca (del inglés *dry base* (db.)) (es decir, kg de agua/kg de materia seca) en un momento de tiempo determinado (t) del proceso de secado, M_e es la humedad de equilibrio y M_0 es la humedad inicial (d.b.) de la muestra natural.

$$M_t\% = \frac{w_t}{w_t} \cdot 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \cdot 100 \quad \text{Ecuación (2)}$$

3.5.5. *Proceso de rehidratación*

Las rebanadas de yacón provenientes del proceso de secado fueron rehidratadas a 25 °C por inmersión en 100 mL de agua destilada. Se registraron la ganancia de agua durante el proceso (por diferencia de peso). Para ello, se retiró el exceso de agua de la superficie con un papel toalla, procediendo a pesar las rebanadas cada 30 min, devolviendo al mismo recipiente hasta alcanzar masa constante (Rojas et al., 2019).

Para ello, se utilizó la Ecuación 3, también conocida como ecuación de Peleg:

$$M(t) = M_0 \left(\frac{t}{k_1 + k_2 \cdot t} \right) \quad \text{Ecuación (3)}$$

3.5.6. *Análisis de imágenes*

Los análisis de imágenes digitales se midieron utilizando un teléfono inteligente (Xiaomi Redmi Note 13 Pro) con una cámara de 200 Megapíxeles y una resolución de 2400x1080 píxeles. Se utilizó una caja de Luz de estudio fotográfico portátil plegable con dimensiones de 40cm de alto x 40cm de ancho x 40cm de profundidad modelo PS02 Color Blanco, incluye 6 fondos de colores: negro, blanco amarillo, rojo, azul, verde. Cable USB. Bolso para almacenar. La cual en los bordes de la parte inferior está cubierta con

tiras de luces LED (PS02, color blanco). El teléfono inteligente se posicionó a 10 cm fuera de la caja de luz sujetado por un soporte para celular (*One button pop up suction cup phon holder*), con características de apertura con un botón, clip para teléfono de tamaño universal, diseño práctico, con cierre que no cae fácilmente. Esto ayudó a que el teléfono móvil esté en una posición fija y estable, lo que permitió la adquisición de imágenes.

3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

A continuación, se describirá los análisis correspondientes el cual será el modelamiento matemático para secado y rehidratación. Además del diseño estadístico planteado en el presente trabajo.

3.6.1. Modelamiento matemático de la cinética de secado y rehidratación

Con respecto al modelo matemático, los datos de humedad adimensional (MR) con respecto al tiempo de secado (t) para los ajustes correspondientes, serán empleados para ser modelados mediante el modelo de Page (Ec. 4) (Page, 1949) donde "k" es la tasa constante de secado y "n" la constante de secado adimensional.

$$MR(t) = \exp(-k \cdot t^n) \quad \text{Ecuación (4)}$$

Simpson *et al.* (2017) menciona que Page es un modelo empírico que se emplea en diversos procesos como en el secado desde años atrás, el cual presenta interpretación del modelo fenomenológicamente, mediante el concepto de difusión anómala. Atribuye fenomenológicos significados al Modelo de Page: donde la constante (k) está asociada a la geometría de la muestra y coeficiente de disfunción. Por otro lado, la constante de secado se relaciona con la difusión y con su microestructura del producto ($n > 1$ super-difusión y $n < 1$ sub-difusión).

Con respecto a la cinética de rehidratación el dato experimental se ajustará al modelo de Peleg (Ec. 5) (Paleg, 1979).

$$M(t) = M_0 \left(\frac{t}{k_1 + k_2 \cdot t} \right) \quad \text{Ecuación (5)}$$

$M(t)$ humedad en base seca (kg de agua / kg dm) en el tiempo t (min),

M_0 humedad inicial (kg de agua / kg dm),

k_1 es la constante de velocidad (min - kg de materia seca / kg de agua)

k_2 es la constante del nivel asintótico (kg de materia seca / kg de agua).

Según Doymaz (2005); Miano y Augusto (2018) y Simal *et al.* (2005) mencionan que Peleg es un modelo empírico que ya ha sido aplicado en los procesos de hidratación a lo largo de los años.

Con respecto a los parámetros de la ecuación 1 y 2 se concertarán a los datos experimentales, reduciendo los errores al cuadrado (SSE en la Ec. 6). Soluciones óptimas de los parámetros de regresión para cada iteración utilizando el algoritmo de gradiente reducido generalizado (método GRG Nonlinear Solving) se implementará en la herramienta "Solver" del software Excel 2016 (Microsoft, USA), mediante una convergencia establecida de 0,000001 (Rojas et al., 2019; Rojas, Silveira, et al., 2020).

$$SSE = \sum_{i=1}^X ((\text{predicted}) - (\text{experimental}))_i^2 \quad \text{Ecuación (6)}$$

3.7. Aspectos Éticos: No aplica

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

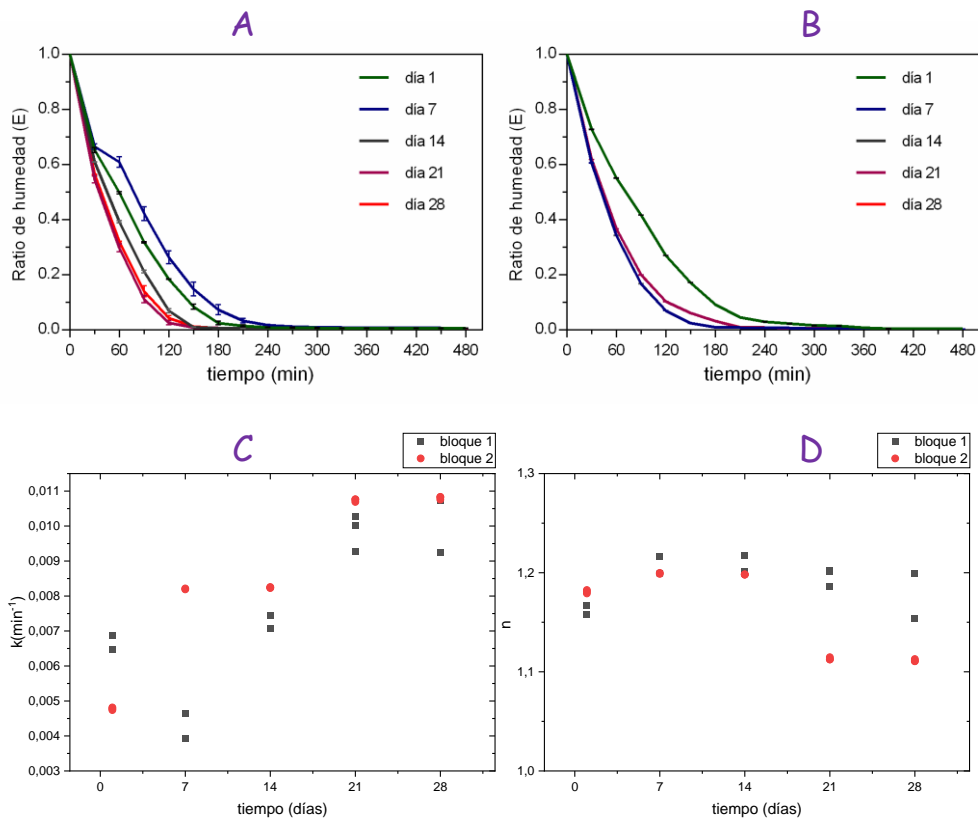
4.1. Descripción de Resultados

4.1.1. Efecto del tiempo de congelación en el secado

Los cambios respecto al contenido de humedad fueron resumidos mediante la Figura 2, donde fue tabulada la humedad adimensional o ratio de humedad (figura 2A y B) con respecto al tiempo de proceso de secado, además de las constantes “k” y “n”. Los controles fueron obtenidos cada siete días. La Figura 2C y 2D presentan los valores de las constantes de la cinética de secado del yacón, evaluada mediante el modelo empírico de Page, aplicado las rebanadas después de cada periodo de almacenamiento bajo congelación (días 1, 7, 14, 21 y 28).

Figura 2

Ratio de humedad



Nota. A, humedad adimensional del bloque A; B, humedad adimensional del bloque B; C, parámetro “k” velocidad de secado; D, parámetro “n”

La figura 2 muestra que las curvas obtuvieron un descenso no lineal del contenido de humedad adimensional con respecto al tiempo de almacenamiento, destacando que las rebanadas del día 1 obtuvieron valores de “k” una menor velocidad de secado, la cual se puede observar mediante el hecho que la curva de secado tuvo una menor pendiente (figura 2A y 2B). En general se obtuvo una etapa inicial de secado con una velocidad cercana a ser constante en los primeros 90 minutos consiguiendo una humedad adimensional equivalente a 0,1. Esto también permitió diferenciar entre los diferentes tratamientos.

La humedad adimensional fue particularmente importante analizar en las muestras del bloque 1, donde el cambio en la curva de secado fue evidente con el incremento de la velocidad de secado cuando el tiempo de almacenamiento incremento, esto basado en los parámetros “k” y “n”. Por lo cual se realizó el análisis de varianza con el fin de realizar las comparaciones (anexo 1), donde la velocidad de secado “k” resulto significativa al igual que el bloque (lote de proceso), al tratarse de un DBCA se tomó en cuenta el efecto del tiempo de congelación, donde de acuerdo con las comparaciones Tukey, la mayor velocidad se alcanzó en el día 28 y día 21 (grupo homogéneo), que disminuye significativamente para el día 14, siendo mayor que para el día 7, aunque no significativamente, pero sí significativamente mayor que para el día 1. Es decir, de acuerdo con estos resultados, la velocidad de secado fue incrementándose conforme incrementó el tiempo de almacenamiento en congelación, esto puede se puede deber a diversos motivos, como la mayor facilidad de perder humedad en las muestras por efecto del congelamiento.

En el parámetro “n”, el ANOVA muestra que tanto el bloque como el tiempo de almacenamiento resultaron significativos, otra vez cuando nos centramos en el tiempo, donde las comparaciones Tukey indican que se alcanzó un grupo homogéneo con

mayores valores para el día 7 y 14 que no fue significativamente mayor que para el día 1, pero que si lo fue con respecto al día 21 y 28; por lo que en general a pesar que el cambio fue más sutil, el parámetro “n” disminuye con el tiempo de almacenamiento, es decir tiene un comportamiento contrario al parámetro “k”, lo que se puede deber a que son recíprocos entre sí.

4.1.2. Efecto del tiempo de congelación en la rehidratación

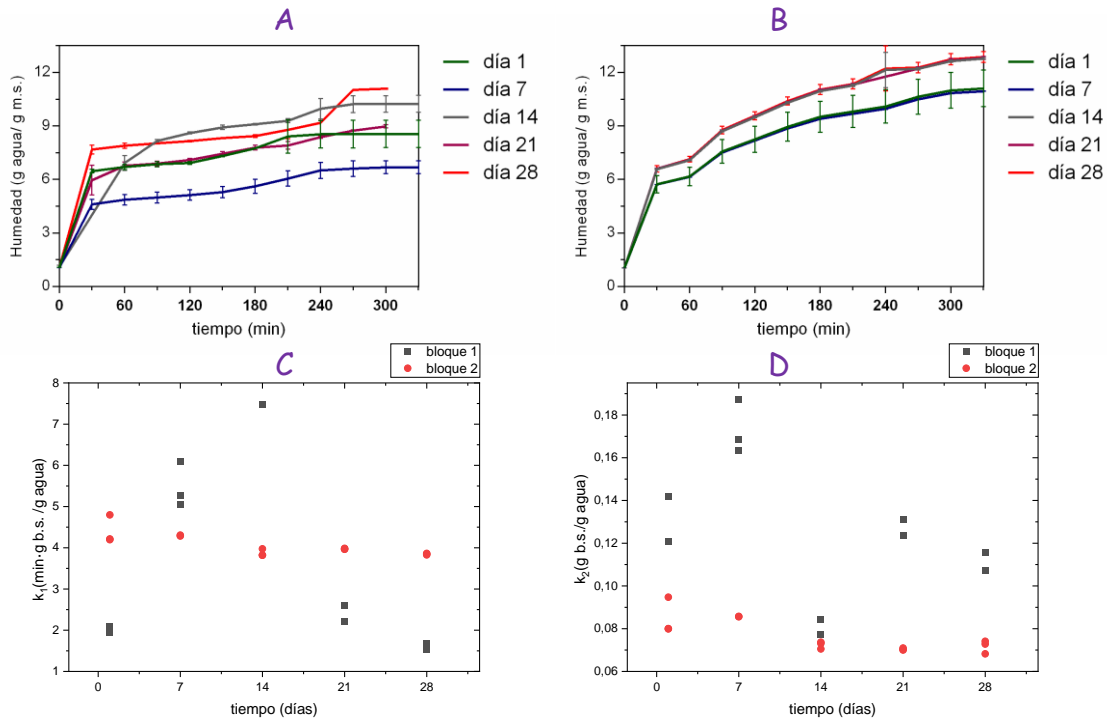
En los gráficos de la figura 3A y 3B se observa la evolución de la absorción de humedad durante el proceso de rehidratación (g agua /g materia seca) en función del tiempo (minutos) a lo largo de diferentes días de almacenamiento (1, 7, 14, 21 y 28 días). En las figuras 3A y 3B se muestra el efecto en bloques separados, donde se nota diferencias en el perfil de ganancia de humedad en espacial en el bloque 1. En los gráficos de la figura 3A y 3B se observa que la humedad aumenta rápidamente durante los primeros minutos de rehidratación y tiende a estabilizarse hacia los 300 minutos. En ambos bloques, las muestras almacenadas por mayor tiempo (especialmente los días 21 y 28) alcanzan valores más altos de humedad, indicando una mayor capacidad de rehidratación conforme avanza el almacenamiento.

En función a estos resultados, se realizó la determinación de los parámetros de Peleg, que también fueron mostrados en la figura 3C y 3D, donde se analizaron los parámetros cinéticos k_1 (velocidad de rehidratación) y k_2 (humedad de equilibrio), que fueron obtenidos para las muestras secas de los bloques 1 y 2 durante los diferentes días de almacenamiento.

Mediante el análisis de varianza (anexo 2) se determinó que el parámetro k_1 mostró diferencias significativas con respecto al efecto del tiempo de congelación sin mostrar diferencias significativas entre días de almacenamiento (Tukey), a pesar de esto, se mostraron algunas diferencias en sus valores, especialmente en el bloque 1, donde se

evidenció mayor dispersión de los valores; en contraste, el bloque 2 presentó un comportamiento más uniforme. En promedio, durante los días 7 y 14 se obtuvo valores más altos, lo que refleja una tenencia a disminuir la velocidad de ganancia de humedad al inicio del proceso de rehidratación.

Figura 3
Capacidad de rehidratación de las muestras secas



Nota. A, rehidratación de la muestra del bloque A; B rehidratación de la muestra del bloque B; C, parámetro “ k_1 ” velocidad de secado; D, parámetro “ n ”

En cuanto al parámetro “ k_2 ”, también se encontraron diferencias estadísticas significativas mediante ANOVA en los bloques y con respecto al tiempo de almacenamiento del yacón. La prueba de Tukey identificó diferencias puntuales en el parámetro “ k_2 ”, particularmente entre los días 7 (valores más altos), el cual mostró diferencias con respecto a los demás tiempos de almacenamiento. En los casos de los días 14, 21 y 28 se obtuvo un grupo homogéneo, el cual refleja que el tiempo de almacenamiento, en general no afectó la capacidad de llegar a la humedad de equilibrio en estos días de almacenamiento.

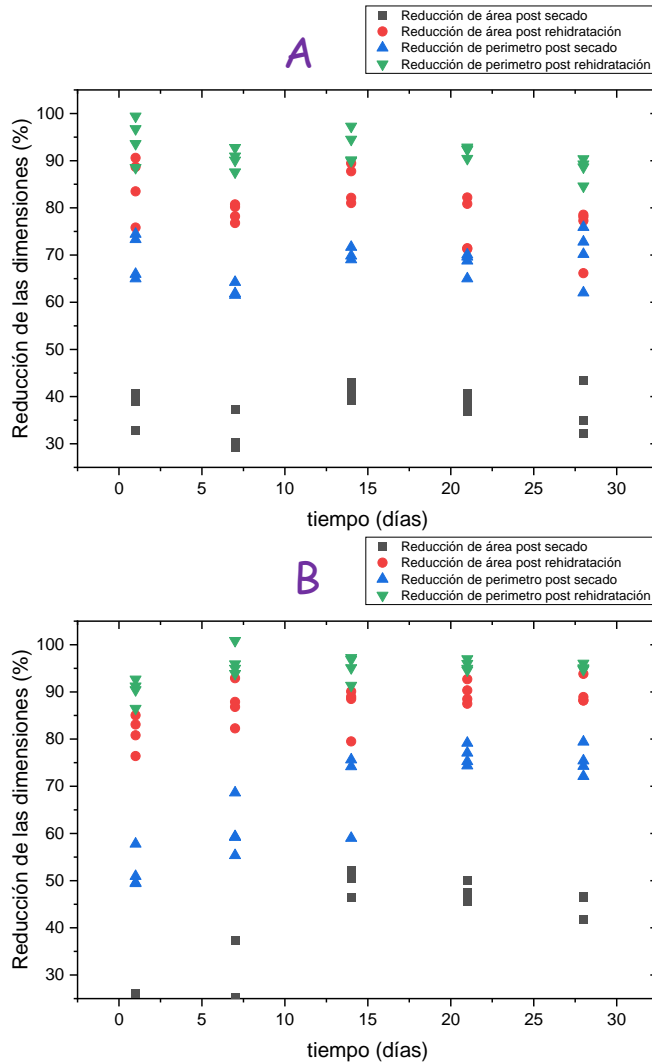
4.1.3. Efecto del tiempo de congelación en la morfología de las rebanadas secadas

Con la finalidad de estudiar el efecto del tiempo de congelación se obtuvo los indicadores de contracción de las (rebanadas), como fueron la proporción de la reducción de las dimensiones proyectada después del secado y rehidratación, como fue para el área y perímetro. Para estudiar el oscurecimiento de las rebanadas se determinó la escala de grises y la densidad integrada, donde se calculó la proporción de la escala de grises que fue modificada por el secado y rehidratación, además de la reducción de la densidad integrada después del secado y rehidratación.

En los gráficos de la figura 4A y 4B se observa la comparación entre la reducción de las dimensiones de área y perímetro, con respecto al secado y rehidratación durante el tiempo de almacenamiento bajo congelación. El ANOVA (anexo 3) mostró que para el indicador de área proyectada, después el secado, esta fue significativa con respecto al día de almacenamiento, y también en la figura 4, se evidencia que este indicador (As), obtuvo los valores menores de la proporción con respecto al área inicial de las rebanadas (mayor contracción), como ya era esperado, y con respecto a las diferencias en el tiempo, se obtuvo el valor mayor para el día 14 (menor contracción), y un mínimo valor en el día 7 (máxima contracción), el que también logró un intervalo de valores semejantes con los días 1, 21 y 28 (que también no obtuvieron diferencias con el día 14).

Figura 4

Reducción de las dimensiones %



Nota. A, B se muestra la reducción del área y del perímetro del yacón durante el almacenamiento, expresada en porcentaje y en función del tiempo (días)

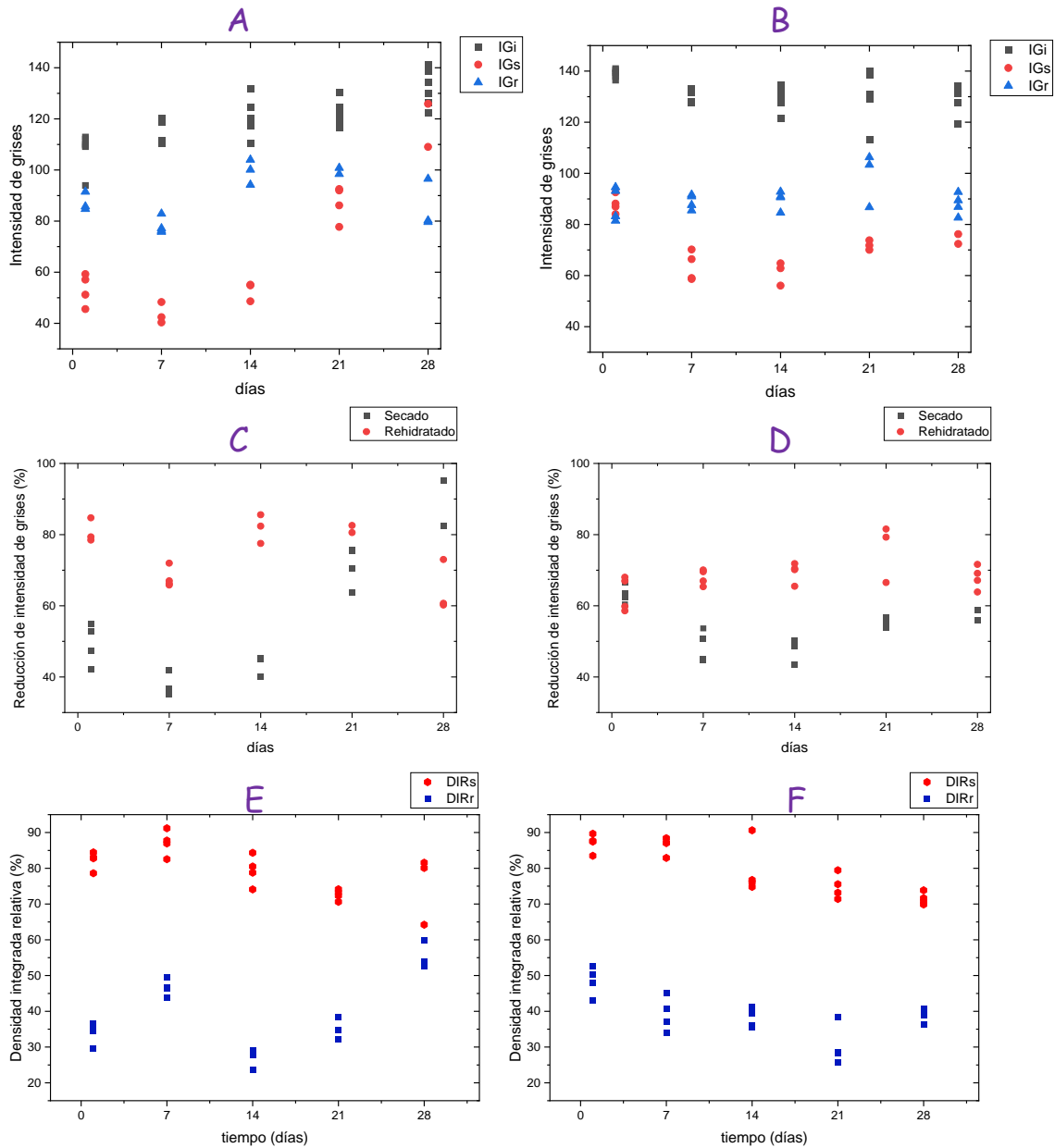
En el caso del área proyectada posterior a la rehidratación el ANOVA no encontró efectos con respecto al día de almacenamiento, pero sí al bloque, lo que confirma la heterogeneidad de las raíces de yacón. En la figura 4 se muestra también que este indicador obtuvo la segunda proporción más alta con respecto al área inicial, sin obtener también diferencias significativas entre los días de almacenamiento.

En el caso del perímetro, el ANOVA (anexo 3) mostró que el perímetro proyectado, resultó significativa con respecto al día de almacenamiento, asimismo en la figura 4, se evidencia que este indicador (Ps) obtuvo algunas diferencias, que Tukey identificó como un significado incremento en el perímetro proyectado en las muestras del día 21 y 28, ya que en estos casos la contracción fue menor. En el caso del perímetro proyectado posterior a la rehidratación el ANOVA no encontró efectos con respecto al día de almacenamiento, pero sí al bloque, lo que indica nuevamente la heterogeneidad. En la figura 4 se muestra también que este indicador obtuvo la proporción más alta con respecto al área inicial, sin obtener también diferencias significativas entre los días de almacenamiento.

La escala de grises mostrada en la figura 5A y 5B, indica que el índice de escala de grises disminuyó con el secado y luego con la rehidratación, estos cambios fueron también expresados en su proporción (figura 5C y 5D), donde se confirma nuevamente que la rehidratación tuvo un efecto menor en el oscurecimiento de las raíces después de cada tiempo de almacenamiento bajo congelación. En el caso de la reducción porcentual del índice de escala de grises a lo largo del tiempo de almacenamiento, se identificó que el tiempo de almacenamiento resultó significativo. Con diferencias significativas para el día 21 y 28, donde esta proporción fue mayor (menor tendencia al oscurecimiento). En el caso de la proporción del índice de escala de grises posterior a la rehidratación, esta fue mayor y mediante ANOVA se determinó que los días 7 y 28 obtuvieron diferencias significativas (menor proporción) y lo que se interpreta como una mayor tenencia al oscurecimiento de las rebanadas.

Figura 5

Efecto del tiempo de congelación sobre la intensidad de grises y la densidad integrada



Nota. Cada letra representa a un conjunto de parámetros evaluados durante el almacenamiento del yacón: A, C, E Secado, B, D, F Rehidratado. Los puntos representan los valores obtenidos durante el almacenamiento: el cuadrado negro indica la intensidad de grises general (IG), el triángulo azul corresponde a la intensidad de grises en muestras secadas (IGs), el rombo rojo a la intensidad de grises en muestras rehidratadas (IGh) y el

círculo (rojo o azul) señala los valores experimentales registrados en cada 7 día de almacenamiento

Además, las gráficas 5E y 5F muestran la densidad integrada relativa (DIR), la cual fue significativamente mayor en las muestras secadas (DIRs) con valores cercanos al 90%, mientras que en las muestras rehidratadas (DIRr) disminuyó drásticamente hasta el 25–50 % a lo largo del período experimental. El análisis de varianza para DIR durante la rehidratación no resultó significativo a diferencia del DIR para secado.

El proceso de secado obtuvo valores significativos para la variable tiempo y almacenamiento, la cual al contrastar por la prueba de medias Tukey, resultó en un cambio (\downarrow DIR) que se incrementó con el tiempo de almacenamiento. Este resultado evidencia que la reducción de la densidad integrada fue disminuyendo conforme avanzó el tiempo de almacenamiento. Estos resultados indican entonces que el proceso de secado y rehidratación afecta de manera importante la estructura interna del yacón, provocando cambios en la morfología, tanto en el índice de escala de grises, como en la densidad integrada, lo que sugiere un posible deterioro a nivel estructural asociado al tiempo y forma de almacenamiento bajo congelación que afectó finalmente al proceso de la deshidratación y la recuperación tras la rehidratación.

4.2. Contrastación de Hipótesis

Tabla 2

Contraste de hipótesis

Variable Respuesta	P-valor (significancia)	Interpretación
Secado: k y n	k (<0,05 para bloque, <0,05 para tiempo) n (<0,05 para bloque, <0,05 temperatura)	El bloque y el tiempo afectó a “k” y a “n”, tiempo de almacenamiento fue significativa para las dos constantes recíprocas.
Rehidratación: k1 y k2	k1 (>0,05 para bloque, <0,05 para tiempo) k2 (<0,05 bloque, <0,05 temperatura)	El bloque no afectó significativamente a k1, pero sí a k2, mientras que la temperatura afectó ambas constantes recíprocas.
Morfología:		El bloque no afectó significativamente a As,
-Área post secado (As)	-As (>0,05 bloque, <0,05 tiempo)	pero sí a Ar. Mientras el tiempo afectó a As,
-Área post rehidratación (Ar)	-Ar (<0,05 bloque, >0,05 tiempo)	pero no a Ar. El bloque no afectó
-Perímetro post secado (Ps)	-Ps (>0,05 bloque, <0,05 tiempo)	

- Perímetro post rehidratación (Pr)	-Pr (<0,05 bloque, >0,05 tiempo)	significativamente a Ps, pero si a Pr.
-Reducción de la escala de grises post secado (rIGs)	-rIGs (>0,05 bloque, <0,05 tiempo)	Mientras el tiempo afectó a Ps, pero no a Pr.
- Reducción de la escala de grises post rehidratación (rIGr)	-rIGr (<0,05 bloque, <0,05 tiempo)	El bloque no afectó significativamente a rIGs, pero si a rIGr. Mientras el tiempo afecto a Ps, pero no a Pr tanto a rIGs como a rIGr.
- Disminución de la densidad integrada post secado (DIRs)	-DIRs (>0,05 bloque, <0,05 tiempo)	
- Disminución de la densidad integrada postrehidratación (DIRr)	-DIRr (>0,05 bloque, >0,05 tiempo)	El bloque no afectó significativamente ni a DIRs ni a DIRr. Mientras el tiempo afectó a DIRs, pero no a DIRr.

Contraste:

H0: El tiempo de almacenamiento bajo congelación afecta a la cinética de secado y rehidratación, así como a los indicadores de morfología en las rebanadas de yacón deshidratados.

H1: El tiempo de almacenamiento bajo congelación no afecta a la cinética de secado y rehidratación, así como a los indicadores de morfología en las rebanadas de yacón deshidratados.

Mediante lo expuesto en la tabla 2, el contraste acepta la hipótesis nula, debido a que casi todas las variables de respuestas del estudio resultaron significativas con respecto a la dependencia del tiempo de almacenamiento; al tratarse de un DBCA, el bloque se limita a ser un control de la variable tiempo, la cual influye de diversas formas y mediante Tukey se agrupó las respuestas en diversos grupos homogéneos, que fueron descritos en los ítems resultados, discusiones y anexos.

4.3. Discusión de Resultados

Efecto del tiempo de congelación en el secado. En la cinética de secado del yacón, modelada mediante el modelo de Page, mostró una mayor reducción del contenido de humedad conforme aumentó el tiempo de almacenamiento bajo congelación. En el bloque 1, la pérdida de humedad fue más gradual en comparación con el bloque 2, lo que sugiere que un almacenamiento más prolongado generó mayores modificaciones estructurales en el tejido vegetal. Estos efectos se reflejaron en los parámetros del modelo de Page, donde la constante de velocidad de secado (k) incrementó con el tiempo, mientras que la constante exponencial (n) disminuyó al aumentar la duración del almacenamiento. Estos cambios también pueden originarse a nivel microestructural originados por un proceso de congelación lenta del yacón, donde se forman cristales de gran tamaño que pueden romper las paredes celulares y dañar las estructuras internas, creando canales adicionales para transferencia de masa (Li et al., 2018). La literatura reciente confirma que este tipo de

alteraciones influye directamente en la cinética de secado, al reducir la resistencia difusiva interna. Por ejemplo, Llavata et al. (2024) observaron que el efecto de la congelación–descongelación previa en cáscaras de naranja incrementó significativamente la constante cinética de secado (k), originado por la ruptura celular y al aumento interno de la porosidad durante el secado. De manera similar, Zhang et al. (2022) reportaron que la congelación en zanahoria originó modificaciones asociadas con una mayor porosidad y menor resistencia interna al flujo de vapor de agua, que se reflejaron en un incremento de k y una disminución de n , bajo el modelo de Page.

A estos hallazgos se suman evidencias como Naboulsi et al. (2021), quienes indicaron que el efecto de una congelación lenta genera mayores fracturas celulares y disgregación de la matriz estructural, lo que conlleva a una mejora en la cinética de secado por la generación de microcanales y discontinuidades internas. En consecuencia, los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con lo reportado por investigaciones recientes en otros vegetales, donde el almacenamiento bajo congelación lenta constituye una variable determinante en las constantes cinéticas de secado, debido al impacto sobre la microarquitectura celular.

Efecto del Tiempo de Congelación en la Rehidratación. En el caso de la rehidratación, aunque no se evidenciaron diferencias significativas entre los distintos tiempos de almacenamiento bajo congelación, sí se observó una tendencia al incremento de la velocidad de ganancia de humedad inicial (k_1) conforme incremento dicho tiempo de almacenamiento. En cambio, la humedad de equilibrio (k_2) se mantuvo prácticamente constante, sin variaciones relevantes entre los tratamientos. Este comportamiento indica que en general el almacenamiento previo en congelación no afectó a la capacidad total de absorción de agua del yacón, aunque sí influyó en la rapidez inicial del proceso de rehidratación (k_1). Estos efectos pueden explicarse por modificaciones microestructurales

generadas durante la congelación, que implican ruptura de paredes celulares, desorganización de la matriz tisular e incremento de la porosidad, lo que favorece la penetración inicial del agua y acelera la transferencia de masa de agua al inicio del proceso de rehidratación (Zhang et al., 2022; Naboulsi et al., 2021). Ndisanze et al. (2022) reportaron que tejidos vegetales sometidos a pretratamientos térmicos o de congelación pueden presentar mayor velocidad inicial de absorción de agua durante la rehidratación, sin cambios relevantes en el contenido final de humedad. Este comportamiento coincide con los resultados del presente estudio.

Con respecto a la morfología asociada a las dimensiones proyectadas, el secado del yacón provocó una reducción significativa del área y perímetro, que resultaron ser divergentes entre los bloques, con una tenencia a incrementar la proporción de las dimensiones en el bloque 2 y resultados divergentes para el bloque 1. Estas variaciones pueden asociarse al impacto en la estructura celular residual después de la congelación, ya que una exposición a bajas temperaturas puede modificar la integridad de las paredes celulares, generando colapsos irregulares durante el secado (Wu et al., 2021; Pérez-Bermúdez et al., 2023). En el caso de la rehidratación, prácticamente no se observó diferencias entre los tratamientos tanto para perímetro como para área proyectada. Por lo que al menos en lo que respecta a estos indicadores de contracción, los resultados no permiten observar un efecto claro con respecto al efecto de la contracción. Estudios recientes en tubérculos deshidratados mostraron que la contracción dimensional depende principalmente de la rigidez celular y del grado de daño microestructural generado durante el secado, mientras que la rehidratación tiende a recuperar parcialmente la forma original (Kowalski et al., 2020; Llavata et al., 2024). Por lo que los resultados del presente estudio implican en términos morfológicos que la congelación previa al secado produjo un efecto evidente sobre la contracción del yacón.

Efecto del tiempo de congelación en la morfología de las rebanadas secadas con respecto a la morfología asociada al oscurecimiento, se obtuvo una tendencia a incrementar la escala de grises (IGs) con el tiempo de almacenamiento en el bloque 1, mientras el bloque 2 no compartió esta tenencia. Mientras que en la rehidratación prácticamente no obtuvo diferencias entre las muestras rehidratadas. Esto sugiere una posible interacción entre el nivel de daño microestructural y las reacciones de pardeamiento no enzimático, que se ven favorecidas por la liberación de azúcares y compuestos fenólicos tras la disrupción celular (Yuan et al., 2022). Durante la rehidratación, las muestras no presentaron diferencias perceptibles en la escala de grises, lo que podría deberse a que las reacciones de pardeamiento pueden ser irreversibles (Grover & Negi, 2023).

Por otro lado, la reducción de la densidad integrada (DIR) disminuyó con respecto al tiempo de almacenamiento. La densidad integrada se define como la relación entre densidad/área integrada, la reducción de la densidad integrada es una medida de la cantidad de color que cambia con respecto a un patrón, en nuestro caso fueron las muestras iniciales, antes del secado, como en nuestro caso, las imágenes no fueron invertidas, estos datos siguen la tendencia de la medida del indicador de escala de grises (inversamente); por lo que se puede mencionar que este parámetro resulto altamente relevante como una medida de oscurecimiento de las muestras, que también se acentúa conforme avanzó el tiempo de almacenamiento bajo congelación. Esto es importante porque aún son pocos los trabajos reportados en la literatura relacionada al área agroalimentaria, como por ejemplo el método que empleó la densidad integrada como indicador de la estabilidad de la espuma (León et al., 2019). Estos resultados se asocian el daño estructural causado por la congelación con intensificación del pardeamiento

durante el secado, debido a la exposición de compuestos reductores y a la pérdida de compartimentalización celular (Pérez-Bermúdez et al., 2023; Salami et al., 2025).

De esta manera, tanto el análisis de imágenes mediante la escala de grises como la densidad integrada se consolidan como herramientas cuantitativas útiles para evaluar los efectos de los pretratamientos de congelación sobre la calidad visual del yacón deshidratado.

V. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Al estudiar el efecto del tiempo de congelación previo secado se ha determinado que este influye de manera significativa en la cinética de secado, la cinética de rehidratación y la morfología del yacón. La congelación prolongada beneficia la transferencia de masa durante el secado y la rehidratación inicial, pero altera la microestructura del yacón lo que afecta la integridad física y el color del producto. Por lo que, las conclusiones específicas son:

Las curvas de secado del yacón varían en función del tiempo de almacenamiento bajo congelación, observándose mayor velocidad de pérdida de humedad adimensional a mayor tiempo de almacenamiento. Las rebanadas almacenadas por periodos más prolongados presentaron pendientes más pronunciadas en las curvas de secado, siendo más eficientes en el proceso asociado a cambios estructurales por la congelación.

Las curvas de rehidratación muestran un aumento en la velocidad inicial de absorción de agua en las muestras con mayores tiempos de almacenamiento bajo congelación. Sin embargo, la humedad de equilibrio alcanzada no presentó diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica que el almacenamiento congelado influye en la cinética inicial del proceso, pero no en la capacidad final de rehidratación del yacón.

Los modelos matemáticos de Page y Peleg describen adecuadamente la cinética de secado y rehidratación del yacón, respectivamente. El parámetro k del modelo de Page aumentó con el tiempo de almacenamiento bajo congelación, mientras que el parámetro n disminuyó, indicando un secado más rápido y menos uniforme. En el modelo de Peleg, los parámetros cinéticos estuvieron relativamente estables, con un ligero aumento en la velocidad inicial de rehidratación, demostrando influencia moderada del almacenamiento congelado en este proceso.

El tiempo de almacenamiento bajo congelación suscito cambios morfológicos en las rebanadas de yacón, observándose marcada reducción del área y perímetro proyectado tras el secado, cambios que no fueron revertidos completamente durante la rehidratación. Asimismo, se observó aumento del oscurecimiento con el tiempo de almacenamiento, reflejado en la reducción de la escala de grises y de la densidad integrada.

5.2. Recomendaciones

Dado que el tiempo de almacenamiento bajo congelación incrementa la velocidad de secado del yacón, se recomienda considerar el almacenamiento congelado como un pretratamiento previo al secado convectivo, definiendo períodos de congelación controlados que permitan mejorar la eficiencia del secado sin comprometer su calidad.

Dados los incrementos en velocidad inicial de rehidratación que se generan bajo almacenamiento en congelación sin afectar la humedad de equilibrio, se recomienda aplicar este pretratamiento cuando se requiera rápida recuperación de agua en productos deshidratados de yacón para su posterior reconstitución.

Debido al ajuste adecuado de los modelos de Page y Peleg para describir la cinética de secado y rehidratación del yacón, se recomienda su uso como herramientas predictivas en estudios posteriores y procesos agroindustriales de diseño y optimización de operaciones como para el control y supervisión de la calidad del producto.

Dado que el almacenamiento bajo congelación genera un cambio estructural morfológico irreversible y un incremento del oscurecimiento en las rebanadas de yacón, se recomienda la aplicación de condiciones térmicas suaves para el secado utilizando velocidades de aire reguladas, así como el empleo de tiempos prolongados de almacenamiento congelado en aquellas aplicaciones cuya calidad de producto final depende de la apariencia e integridad estructural.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agrawal, S. G., & Methekar, R. (2017). Mathematical model for heat and mass transfer during convective drying of pumpkin. *Food and Bioproducts Processing*, 68-73. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.10.005>
- Amanor, R., Zhou, C., Wahia, H., Taiye, A., Tayyab, M., Sampson, G., Ma, H. (2020). Acoustically-aided osmo-dehydration pretreatments under pulsed vacuum dryer for apple slices: drying kinetics, thermodynamics, and quality attributes. *Food Engineering, Materials Science, & Nanotechnology*, 85(11), 3909 - 3919. doi:<https://doi.org/10.1111/1750-3841.15484>
- Arias , S., Ceballos , A. M., & Gutiérrez , L. (2019). Evaluación de los parámetros del proceso de congelación para la pulpa de Açaí. *TecnoLógicas*, 22(46), 25-38. doi:DOI: <https://doi.org/10.22430/22565337.1117>
- Baldeón, E. O., Bracamonte, Á., Soto, A., Salas, W. F., & Vidaurre, J. M. (2024). Effect of Convective Drying and Far-Infrared Radiation on the Physical Properties and Microstructure of Yacón Chips (*Smallanthus sonchifolius*). *Chemical, Food, and Environmental Engineering*, 44(2). doi:<https://doi.org/10.15446/ing.investig.104346>
- Burga, K. (2021). *Estudio comparativo de dos métodos de inactivación de polifenol oxidasa en rodajas de yacón (Smallanthus sonchifolius) [Grado de tesis, UNACH. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14142/177>*
- Caballero, L., & Colonia , A. M. (2018). Yacón como planta promisoría en el manejo de enfermedades. *Investigaciones Andina*, 20(36), 145-157. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/2390/239059788010/html/>

- Castro, D. H., Otero, K., & Llamoca, E. (2021). Estudio de los parámetros cinéticos en el secado de la cáscara de tuna (*Opuntia ficus indica*). *Revista de Innovación y Transferencia Productiva*, 2(1), 1 - 11. doi:<https://doi.org/10.54353/ritp.v2i1.e005>
- Chaves, J., & Acosta, O. (2023). Isochoric freezing: advantages and research opportunities in the food industry. *Revisión bibliográfica*, 34(3). doi:<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/index>
- Collantes, S. V. (2019). *Determinación de la temperatura y velocidad de aire en la deshidratación de la hoja y raíz de yacón (Smallanthus sonchifolius) para la obtención de un filtrante edulcorante* [Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio institucional. doi:<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1711/Collantes%20Lingan%20Segundo%20Vero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cuervo, S. P., Benitez, A., & Castellanos, S. M. (2018). Drying of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a potential food product for international commercialization. *Series: Materials Science and Engineering* 437, 1-9. doi:[doi:10.1088/1757-899X/437/1/012005](https://doi.org/10.1088/1757-899X/437/1/012005)
- Dadan, M., Matys, A., Kaminska, A., Lammerskitten, A., Toepfl, S., & Parniakov, O. (2021). Improvement of freezing processes assisted by ultrasound. Design and Optimization of Innovative Food Processing Techniques Assisted by Ultrasound. 217-273. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818275-8.00001-5>
- Dandamrongrak, R., Mason, R., & Young, G. (2003). The effect of pretreatments on the drying rate and quality of dried bananas. *International Journal of Food Science*

& Technology, 38(8), 877-882. doi:<https://doi.org/10.1046/j.0950-5423.2003.00753.x> .

Doymaz, İ. (2005). Drying characteristics and kinetics of okra. *Journal of Food Engineering*, 69(3), 275-279. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.019>

Estrada , J. E., Gutierrez, M. G., & Vargas, L. (2024). Low storage temperatures may affect drying and rehydration kinetics, morphology and solubility of yacón (Smallanthus sonchifolius) SLICES. *Proceedings of the 15th SLACAN - Latin American Symposium on Food Science and Nutrition*. Obtenido de <https://proceedings.science/slacan-2023/papers/low-storage-temperatures-may-affect-drying-and-rehydration-kinetics-morphology-a?lang=en>

Etti, C., & Nkem, O. (2021). Evaluation of a suitable thin layer model for drying of pretreated cocoyam slices using a convective hot air dryer. doi:10.33564/IJEAST.2021.v06i08.005

Fenner, C., De Oliveira, A., & Zapata, C. P. (2009). Hot air drying of yacon (Smallanthus sonchifolius) and its effect on sugar concentrations. *Institute of Food Science & Technology*, 44(1), 2169-2175. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02056.x>

Fernandez , E. (2025). El yacón (Smallanthus sonchifolius): un alimento funcional. *Tecnología y Sociedad*, 3(1). doi:<https://doi.org/10.70598/rebd2319pk43>

Fernández, D., Muñoz, S., García, A., Cervantes, R., & Fernández, D. (2015). Cinética de secado de fruta bomba (Carica papaya L., cv. Maradol Roja) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 22-28. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v24n1/rcta03115.pdf>

- Garramuño, M. C., Garramuño, M. P., Boetto, M. N., & Esteve, T. G. (2022). Uso culinario de yacón (*Smallantus sonchifolius poepp.*) para aprovechar sus propiedades nutraceuticas. *UNC*, 10(1), 51-57. Obtenido de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/37839/38396>
- Giraldo, A., Arévalo, A., Silva, F., Silva, F., Valdes, J., & Pavlak, M. (2010). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rebanadas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(1), 179-182. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3959/395940099027.pdf>
- Gomes, J. L., De Mello, R. E., Cardoso, M., Lopes, F. J., Renato, J., & Amaral, L. G. (2021). Dried yacon with high fructooligosaccharide content. *Wiley*, 1-10. doi:DOI: 10.1111/jfpe.13884
- Gómez, A. I., Cerón, T. G., Rodríguez, V., & Vázquez, M. M. (2007). Aspectos tecnológicos de la congelación en alimentos. *Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos*, 1(1), 80 - 96. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50558354/congelamiento_de_alimentos-libre.pdf?1480179022=&response-content-disposition=inline%3B+filename
- Graefe, S., Hermann, M., Manrique, I., Golombek, S., & Buerkert, A. (2004). Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. *Field Crops Research*, 86(2-3), 157-165. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.003>
- Hermann, M., & Heller, J. (1997). *Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon* (Vol. 21).

- Inyang, U., Oboh, I., & Etuk, B. (2018). Kinetic Models for Drying Techniques—Food Materials. *Advances in Chemical. Engineering and Science*, 8(2), 27-48. doi:10.4236/aces.2018.82003
- Kim , S. J., Jin , Y. I., Nam , J. H., Hong , S. Y., Sohn , W. B., Kwon , O. K., . . . Jeong, J. C. (2013). Comparison of nutrient composition of yacon germplasm. *Korean J. Plant. Res*, 26(1), 9-18. doi:DOI: 10.7732/kjpr.2013.26.1.009
- Kroehnke, J., Szadzińska, J., Stasiak, M., Radziejewska, E., Biegańska, R., & Musielak , G. (2018). Ultrasound- and microwave-assisted convective drying of carrots – Process kinetics and product’s quality analysis. *Ultrasonics Sonochemistry*, 48, 249-258. doi:https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.05.040
- Lachman, J., Fernández, E. C., & Orsák, M. (2003). Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use – a review. *Czech University of Agriculture in Prague, Czech Republic*, 49(6), 283–290. Obtenido de <https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/pse/2003/06/07.pdf>
- Ledur, M. J., Cristina, I., & Zapata, C. P. (2013). Physicochemical characterization of saccharides powder obtained from yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*) by membrane technology. *Engineering, Technology and Technique*, 56(6). doi:https://doi.org/10.1590/S1516-89132013000600019
- León, N., Aguilar, S., Quispe, J., Mamani, W., Alfaro, S., & Condezo, L. (2019). A green analytical assay for the quantitation of the total saponins in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) based on macro lens-coupled smartphone. *Talanta*, 204(1), 576-585. doi:https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.06.014
- López, S., Mostacero, J., López, A., Gil, A., De La Cruz, A., & Villena, L. (2021). Caracterización morfológica de plantas de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H.

- Rob. 1978 “yacón” a partir de rizóforos procedentes de Gran Chimú, Otuzco y Sánchez Carrión. *REBIOL*, 41(1), 114-119. Obtenido de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol>
- López, S., Mostacero, J., López, A., Gil, A., De La Cruz, A., & Villena, L. (2021). Caracterización morfológica de plantas de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. 1978 “yacón” a partir de rizóforos procedentes de Gran Chimú, Otuzco y Sánchez Carrión. *Revista de investigación científica (Rebiol)*, 41(1), 114-119. doi:DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.01.11>
- Marín, E., Lemus, R., Flores, V., & Vega, A. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista chilena de nutrición*, 33(3). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182006000500009>
- Marques, C., Toazza, C. E., Sari, R., Mitterer, M., Amaral, W., & Masson, M. (2021). Long-term storage of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice: Phytochemical profile, in vitro prebiotic potential and discriminant bioactive properties. *Food Bioscience*, 41, 100970. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100970>
- Méndez, L., Rodríguez, J., & García, M. (2008). Variaciones del contenido de humedad por efecto de congelado a temperaturas de criogenia. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 7(2), 139-144. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/620/62011423005.pdf>
- Miano, A. C., & Augusto, P. E. (2018). The Hydration of Grains: A Critical Review from Description of Phenomena to Process Improvements. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(2), 352-370. doi:<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12328>

- Minchola, K., Luzuriaga, E., Montalvo, A., Moncada, J., Morales, F., & Gil, W. (2022). Propiedades beneficiosas del yacón (*smallanthus sonchifolius*) en la salud. *Más Vita. Revista de Ciencias de Salud*, 4(3), 87-98. doi:<https://doi.org/10.47606/ACVEN/MV0135>
- Moritz , W., Larissa , K., Simone , S., & Lewandowski, I. (2019). Desempeño ambiental y económico del yacón (*Smallanthus sonchifolius*) cultivado para la producción de fructooligosacáridos. *Sustainability*, 11(17). doi:<https://doi.org/10.3390/su11174581>
- Muthukumarappan, K., Marella, C., & Sunkesula, V. (2019). In book: Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering. *Food freezing technology*, 389-415. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/341438190_Food_freezing_technology
- Ojansivu, I., Ferreira, C. L., & Salminen, S. (2011). Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(1), 40-46. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.11.005>
- Page, G. E. (1949). *Factords influencing the maximum rates of air Drying Shelled Corn in Thin Layers. Purdue University ProQuest Dissertations & Theses*. Obtenido de <https://www.proquest.com/docview/301817819>
- Paredes, L., Smiderle, F., Santana-Filho, A. P., Kimura, A., Lacomini, M., & Sasaki, G. L. (2018). Yacon fructans (*Smallanthus sonchifolius*) extraction, characterization and activation of macrophages to phagocyte yeast cells. *International Journal of Biological Macromolecules*, 108, 1074-1081. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.034>

- Persson, P. O., & Londahl, G. (1993). Freezing technology. In C. P. Mallett (Ed.), *Frozen food technology* London, Blackie Academic.
- Persson, P. O., & Londahl, G. (s.f.). Freezing technology. In: Mallet CP (ed) *Frozen Food Technology*. London, Blackie Academic and Professional. (20–58).
- Planinic´ , M., Velic´ , D., Tomas, S., Bilic, M., & Bucic´ , A. (2005). Modelling of drying and rehydration of carrots using Pelegs model. *Eur Food Res Technol*, 221, 446–451. doi:DOI 10.1007/s00217-005-1200-x
- Reis, F. R., Marques, C., Sales de Moraes, A. C., & Masson, M. L. (2021). Effect of processing methods on yacon roots health-promoting compounds and related properties. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 346-354. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.010>
- Richter, F., Kaminski, M., Bolzón, G. I., Nisgosk, S., & Massón, M. L. (2012). Vacuum Drying Kinetics of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and the Effect of Process Conditions on Fractal Dimension and Rehydration Capacity. *Drying Technology*, 30 (1), 13-19. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.611307>
- Rodríguez, S., Seminario, A., Vásquez, V., & Seminario, J. (2022). Rendimiento agronómico de ocho cultivares de yacón (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Rob.) provenientes del norte peruano. *Siembra*, 9(1), págs. 1-14. doi:<https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3630>
- Salcedo, J., Mercado, J. L., Vanegas, M., Fernández, A., & Vertel, M. L. (2014). Cinética de secado de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad CORPOICA M-tai en función de la temperatura y de la velocidad de aire. *Revista ION*, 27(2). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000200004

- Salinas, J. G., Alvarado, J. A., Bergenståhl, B., & Tornberg, E. (2018). The influence of convection drying on the physicochemical properties of yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *54*(1), 2951–2961. doi:<https://doi.org/10.1007/s00231-018-2334-2>
- Sampaio, R. M., Monteles, J. P., Perez, V. H., Marcos, S. K., Boizan, M. A., & da Silva, L. (2017). Mathematical modeling of drying kinetics of persimmon fruits (*Diospyros kaki* cv. Fuyu). *Journal of Food Processing and Preservation*, *41*(1). doi:10.1111/jfpp.12789
- Silva, L., Ramirez, K., Gavidia, F., & Miano, A. C. (2021). Freeze–thawing damage evaluation of vegetables with two cutting orientations. *Journal of Food Process Engineering*, *44*(11). doi: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13845>
- Simal, S., Femenia, A., Garau, M. C., & Rosselló, C. (2005). Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, *66*(3), 323-328. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.025>
- Simpson, R., Ramírez, C., Nuñez, H., Jaques, A., & Almonacid, S. (2017). Understanding the success of Page's model and related empirical equations in fitting experimental data of diffusion phenomena in food matrices. *Trends in Food Science & Technology*, *62*, 194-201. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.003>
- Soares, K., Gomes, J. L., De Jesus, J. R., Cardoso, M., & Barbosa, M. (2015). Optimization of Osmotic Dehydration of Yacon Slices. *An International Journal*, *34*(4), 386-394. doi:DOI:10.1080/07373937.2015.1054511
- Verediano, T. A., Viana, M. L., Tostes, M., & Costa, N. (2021). The Potential Prebiotic Effects of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in Colorectal Cancer. *Current*

Nutrition & Food Science, 17(2), 167 - 175.

doi:10.2174/1573401316999200605160433

Xanthakis, E., Dalvi-Isfahan, M., Jha, P. K., Daraei-Garmakhany, A., Le-Bail, A., & Tavakoli, J. (2019). Review on identification, underlying mechanisms and evaluation of freezing damage. *Journal of Food Engineering*, 255(1), 50-60. doi: DOI:10.1016/j.jfoodeng.2019.03.011

Zhu, J., Liu, Y., Wei, M., & Zhu, C. (2021). Effects of different drying methods on the physical properties and sensory characteristics of apple chip snacks. *154*(3). doi:DOI:10.1016/j.lwt.2021.112829

VII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de varianza en cinética de secado

Análisis de Varianza para k - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 3

Análisis de varianza para k-suma de cuadrados tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>L</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos principales					
A:Block	0,00000557073	1	0,00000557073	4,99	0,0371
B:day	0,000102323	4	0,0000255807	22,91	0,0000
Residuos	0,000022328	0	0,0000011164		
Total (corregido)	0,000128123	5			

Nota. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA permite descomponer la variabilidad del coeficiente k en aportes atribuibles a distintos factores. Al emplear la suma de cuadrados Tipo III (configuración por defecto), la contribución de cada factor se evalúa considerando los efectos de los demás factores eliminados. Los valores-P se utilizan para determinar la significancia estadística de cada factor. En este caso, dado que dos de los valores-P son menores a 0,05, se concluye que dichos factores influyen de manera estadísticamente significativa sobre k, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para k por día

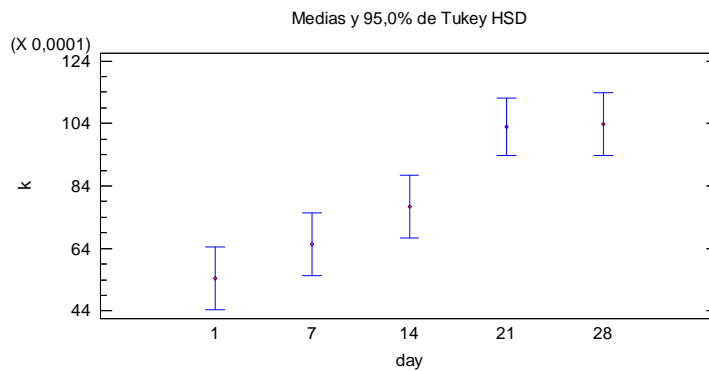
Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Pruebas de Múltiple Rangos para k por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tabla 4*Pruebas de Múltiple Rangos para k por día*

Día	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	5	0,00544391	0,000474397	X
7	5	0,00654946	0,000474397	XX
14	5	0,00775426	0,000474397	X
21	6	0,0102914	0,000431355	X
28	5	0,0103801	0,000474397	X

Figura 6*Medias y 95% de Tukey HSD***Análisis de Varianza para n - Suma de Cuadrados Tipo III****Tabla 5***Análisis de Varianza para n - Suma de Cuadrados Tipo III*

Fuente	Suma de Cuadrados	de l	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	0,00670258		0,00670258	12,25	0,0023
B:day	0,0177891		0,00444728	8,13	0,0005
RESIDUOS	0,0109444	0	0,000547218		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0346839	5			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla (ANOVA) permite separar la variabilidad del coeficiente n en las contribuciones de los distintos factores estudiados. Al emplear la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), que es la opción por defecto, la influencia de cada factor se evalúa considerando la eliminación de los efectos de los demás. Los valores-P se utilizan para determinar la significancia estadística de cada factor. En este caso, al observar que dos de los valores-P son menores a 0,05, se puede concluir que dichos factores ejercen un efecto significativo sobre n , con un nivel de confianza del 95%

Pruebas de Múltiple Rangos para n por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

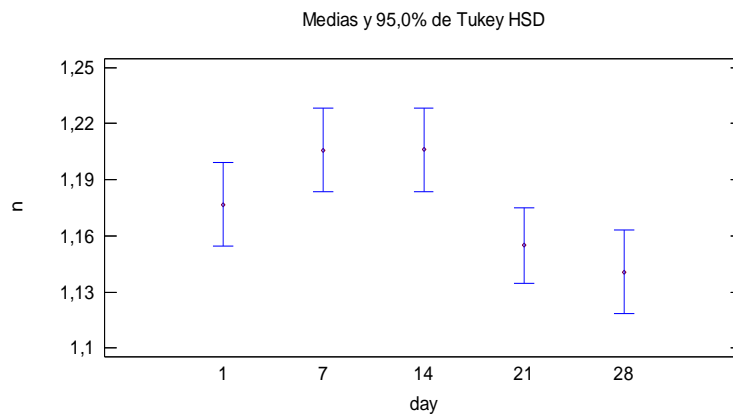
Tabla 6

Prueba de Múltiples Rangos para n por Día

<i>Día</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
28	5	1,14081	0,010503	X
21	6	1,1549	0,00955003	X
1	5	1,17678	0,010503	XX
7	5	1,20583	0,010503	X
14	5	1,206	0,010503	X

Figura 7

Medias de múltiples rangos de n y 95,0 % de Tukey y HSD



Anexo 2: análisis de varianza en cinética de rehidratación

Tabla 7

Análisis de Varianza para k1 - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	0,256854	1	0,256854	0,13	0,7217
B:day	25,0532	4	6,26329	3,19	0,0367
RESIDUOS	37,3497	9	1,96577		
TOTAL	62,4159	4			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA permite desglosar la variabilidad del parámetro k1 en aportes correspondientes a los diferentes factores considerados. Al utilizar la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), que es la opción por defecto, se evalúa la contribución de cada factor teniendo en cuenta la eliminación de los efectos de los demás. La significancia estadística de los factores se determina mediante los valores-P. En este caso, al observar que uno de los valores-P es menor a 0,05, se concluye que dicho factor ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre k1, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para k1 por Día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tabla 8

Pruebas de Múltiple Rangos para k1 por Día

<i>Día</i>	<i>Ca</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
28	5	2,93182	0,629627	X
21	5	3,32303	0,629627	X
1	5	3,42821	0,629627	X
7	5	5,01932	0,629627	X
14	5	5,44271	0,629627	X

Figura 8

Medias y 95,0% de fisher LSD Múltiple Rangos para k1 por día

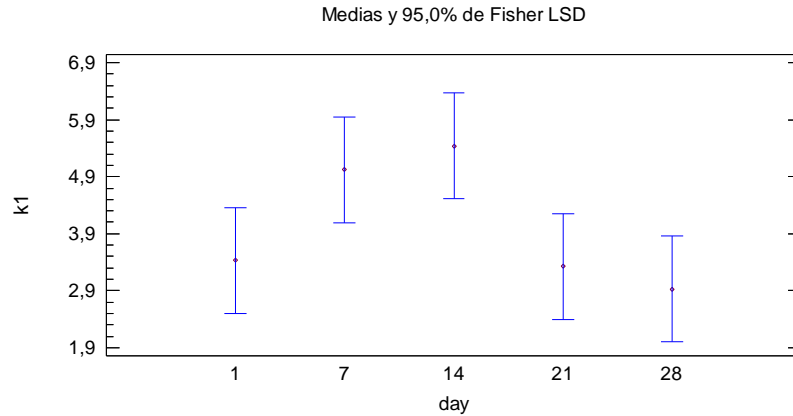


Tabla 9

Análisis de Varianza para k2 - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	0,0137425	1	0,0137425	55,11	0,0000
B:day	0,0077681	4	0,00194202	7,79	0,0007
RESIDUOS	0,0047377	19	0,000249353		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0297169	24			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA permitió descomponer la variabilidad del parámetro k2 en los aportes correspondientes a los distintos factores evaluados. Al emplear la suma de cuadrados Tipo III, que es la configuración por defecto, la contribución de cada factor se calculó considerando la eliminación de los efectos de los demás factores. La significancia estadística de cada factor se evaluó mediante los valores-P. En este caso, al encontrarse que dos de los valores-P son menores a 0,05, se concluye que estos factores ejercen un efecto significativo sobre k2, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para k2 por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

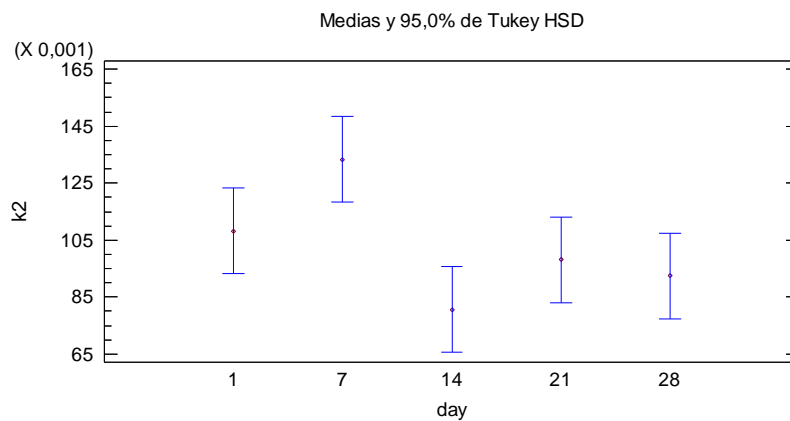
Tabla 10

Pruebas de Múltiple Rangos para k2 por Día

<i>Día</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
14	5	0,0805925	0,00709127	X
28	5	0,0924081	0,00709127	X
21	5	0,0980614	0,00709127	X
1	5	0,10823	0,00709127	XX
7	5	0,133324	0,00709127	X

Figura 9

Medias y 95,0% de tukey HSD para K2



Anexo 3: análisis de varianza en la reducción de las dimensiones

Análisis de Varianza para As - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 11

Análisis de Varianza para As - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	87,3451	1	87,3451	0,96	0,3361
B:day	1377,59	4	344,397	3,78	0,0144
RESIDUOS	2459,22	27	91,0823		
TOTAL (CORREGIDO)	3889,99	32			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

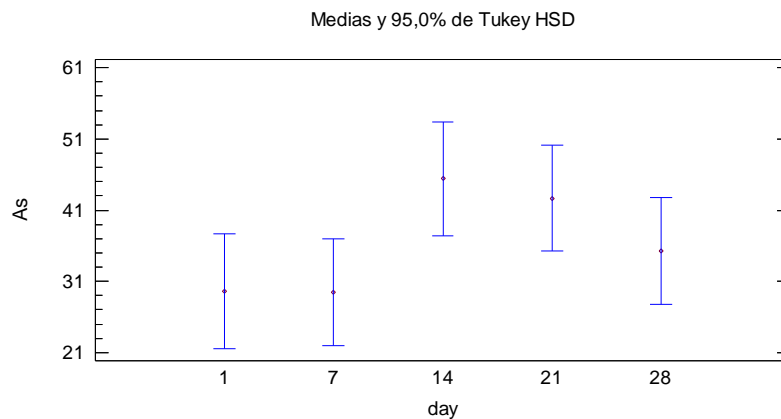
La tabla ANOVA permite identificar cómo diferentes factores contribuyen a la variabilidad del parámetro As. Al utilizar la suma de cuadrados Tipo III, que corresponde a la opción por defecto, la influencia de cada factor se evalúa considerando los efectos de los demás factores eliminados. La significancia estadística de cada factor se determina mediante los valores-P. En este caso, al observar que uno de los valores-P es menor a 0,05, se concluye que dicho factor tiene un efecto significativo sobre As, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para As por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tabla 12*Pruebas de Múltiple Rangos para As por Día*

Día	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
7	7	29,4483	3,61508	X
1	6	29,6395	3,8962	XX
28	7	35,312	3,61508	XX
21	7	42,6865	3,61508	XX
14	6	45,3874	3,8962	X

Figura 10*Medias y 95,0% de tukey HSD para As por día***Tabla 13***Análisis de Varianza para Ar - Suma de Cuadrados Tipo III*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	487,62	1	487,62	15,30	0,0004
B:day	60,7229	4	15,1807	0,48	0,7529
RESIDUOS	1083,94	34	31,8807		
TOTAL	1632,29	39			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA permite desglosar la variabilidad del parámetro Ar en las contribuciones de los distintos factores evaluados. Al emplear la suma de cuadrados Tipo III, que corresponde a la opción por defecto, la influencia de cada factor se analiza considerando la eliminación de los efectos de los demás. La significancia estadística se determina mediante los valores-P. En este caso, dado que uno de los valores-P es menor a 0,05, se concluye que dicho factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Ar, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para Ar por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tabla 14

Pruebas de Múltiple Rangos para Ar por Día

<i>day</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
28	8	82,3953	1,99627	X
1	8	82,9884	1,99627	X
21	8	83,0959	1,99627	X
7	8	83,2197	1,99627	X
14	8	85,9227	1,99627	X

Figura 11

Medias y 95,% de Tukey HSD para Ar por día

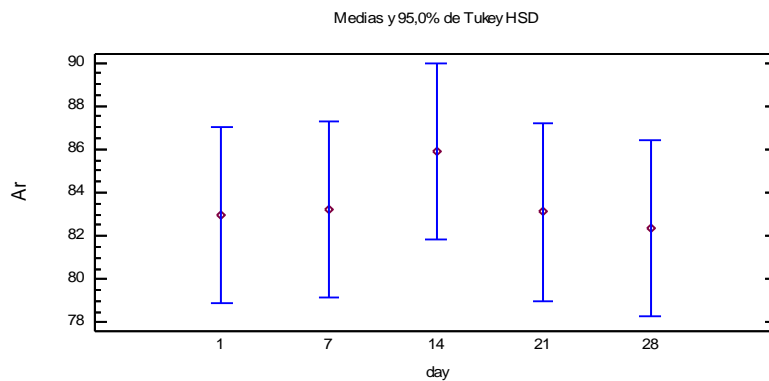


Tabla 15*Análisis de Varianza para Ps - Suma de Cuadrados Tipo III*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	17,6206	1	17,6206	0,41	0,5242
B:day	1052,88	4	263,219	6,19	0,0008
RESIDUOS	1359,86	32	42,4956		
TOTAL	2443,33	37			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

StatAdvisor

La tabla ANOVA permite separar la variabilidad del parámetro Ps en los aportes atribuibles a cada uno de los factores considerados. Al utilizar la suma de cuadrados Tipo III, que es la opción predeterminada, la contribución de cada factor se evalúa tomando en cuenta la eliminación de los efectos de los demás factores. La significancia estadística de cada factor se determina mediante los valores-P. En este caso, al encontrarse que uno de los valores-P es menor a 0,05, se concluye que dicho factor ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre Ps, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para Ps por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tabla 16*Pruebas de Múltiple Rangos para Ps por día*

<i>Día</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	8	60,7971	2,30477	X
7	7	61,5561	2,46856	X
14	7	69,6796	2,46856	XX
21	8	72,416	2,30477	X
28	8	72,7599	2,30477	X

Figura 72

Medias y 95,0% de Tukey HSD para Ps por día

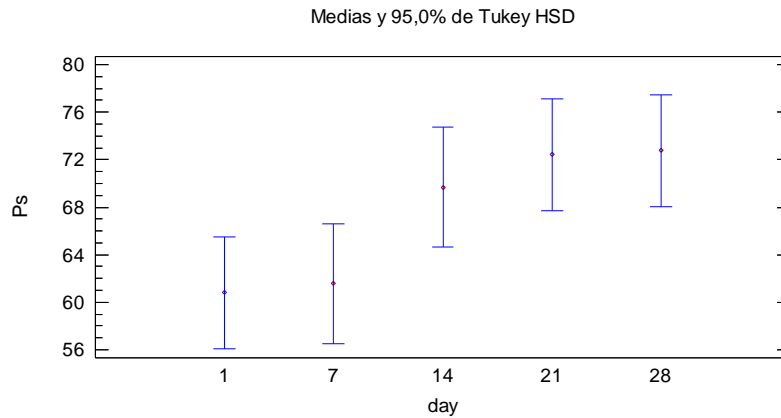


Tabla 17

Análisis de Varianza para Pr - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	82,947	1	82,947	7,49	0,0098
B:day	31,8255	4	7,95638	0,72	0,5855
RESIDUOS	376,741	34	11,0806		
TOTAL (CORREGIDO)	491,514	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA permite dividir la variabilidad del parámetro Pr en los aportes correspondientes a cada uno de los factores evaluados. Al emplear la suma de cuadrados Tipo III, que es la opción predeterminada, la influencia de cada factor se estima considerando la eliminación de los efectos de los demás. La significancia estadística de cada factor se determina mediante los valores-P. En este caso, dado que uno de los valores-P es menor a 0,05, se concluye que dicho factor ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre Pr, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para Pr por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

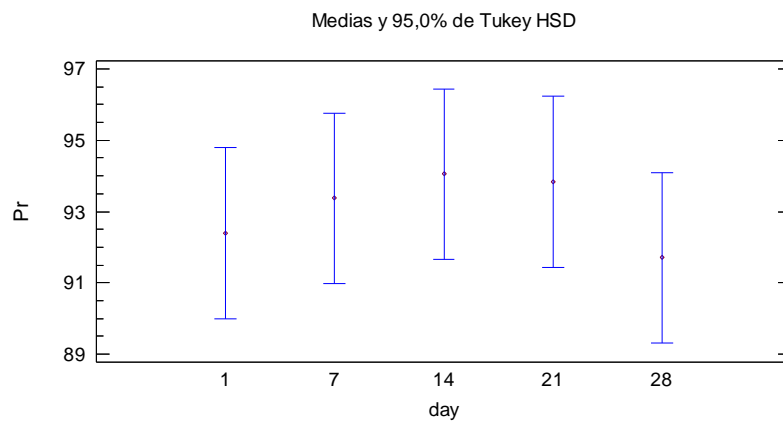
Tabla 18

Pruebas de Múltiple Rangos para Pr por día

Día	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
28	8	91,7029	1,17689	X
1	8	92,3859	1,17689	X
7	8	93,3682	1,17689	X
21	8	93,8351	1,17689	X
14	8	94,0533	1,17689	X

Figura 13

Medias y 95,0% de Tukey HSD para Pr por día



Anexo 4: Análisis de varianza en los cambios de intensidad de grises

Tabla 19

Análisis de Varianza para GSi (antes del secado) - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	2124,62	1	2124,62	30,90	0,0000
B:day	463,798	4	115,949	1,69	0,1669
RESIDUOS	3643,81	53	68,7512		
TOTAL	6238,26	58			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA permite asignar la variabilidad del parámetro GSi a las contribuciones de los diferentes factores considerados. Al utilizar la suma de cuadrados Tipo III, que corresponde a la opción por defecto, la aportación de cada factor se evalúa eliminando los efectos de los demás factores. La significancia estadística de cada factor se determina a través de los valores-P. En este caso, al observar que uno de los valores-P es inferior a 0,05, se concluye que dicho factor ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre GSi, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para GSi por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tabla 20

Pruebas de Múltiple Rangos para GSi por día

<i>Día</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
7	12	122,966	2,39359	X
1	12	123,517	2,39359	X
14	11	125,535	2,50195	X
21	12	126,217	2,39359	X
28	12	130,817	2,39359	X

Figura 14

Medias y 95,0% de tukey HSD para GSi por día

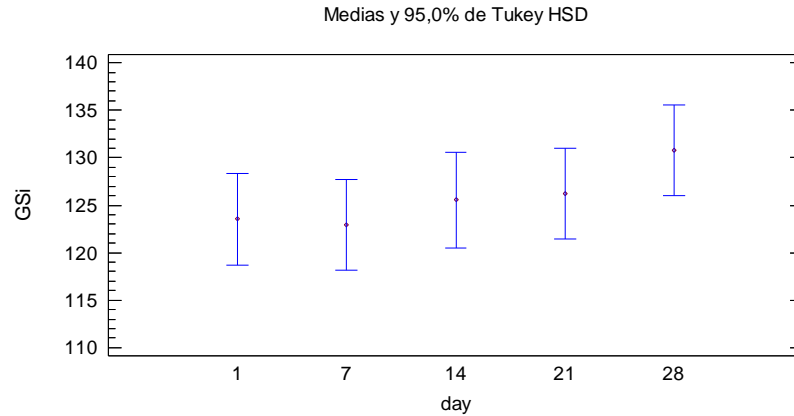


Tabla 21

Análisis de Varianza para GSii (post secado) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	274,865	1	274,865	1,23	0,2780
B:day	6168,49	4	1542,12	6,89	0,0006
RESIDUOS	5821,74	26	223,913		
TOTAL	12134,0	31			

(CORREGIDO)
Nota. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

El StatAdvisor

La tabla ANOVA permite identificar cómo los distintos factores contribuyen a la variabilidad del parámetro GSii. Al emplear la suma de cuadrados Tipo III, que es la opción por defecto, la influencia de cada factor se estima considerando la eliminación de los efectos de los demás. La significancia estadística se evalúa mediante los valores-P, y dado que uno de estos valores es menor a 0,05, se concluye que el factor tiene un efecto significativo sobre GSii, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para GSii por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tabla 22

Pruebas de Múltiple Rangos para GSii por día

día	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
7	7	54,6194	5,66848	X
14	6	57,0383	6,10892	XX
1	8	70,59	5,29048	XXX
21	7	80,9863	5,66848	XX
28	4	95,8775	7,48186	X

Figura 15

Medias y 95,0% de tukey HSD para GSii por día

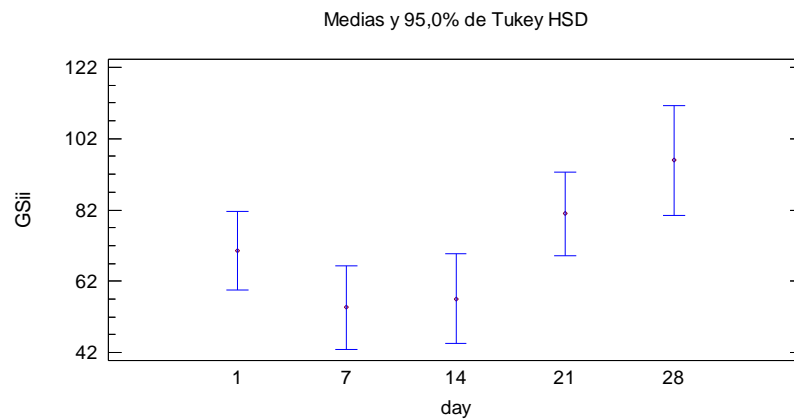


Tabla 23

Análisis de Varianza para GSiii (post rehidratación) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	11,091	1	11,091	0,27	0,6106
B:day	943,888	4	235,972	5,64	0,0018
RESIDUOS	1171,24	28	41,8299		
TOTAL	2139,99	33			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA permite distribuir la variabilidad del parámetro GSiii entre las contribuciones de los distintos factores evaluados. Al utilizar la suma de cuadrados Tipo III, que corresponde a la opción predeterminada, se determina la aportación de cada factor considerando la eliminación de los efectos de los demás. La significancia estadística de cada factor se evalúa mediante los valores-P; en este caso, al ser uno de ellos menor a 0,05, se concluye que dicho factor ejerce un efecto significativo sobre GSiii, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para GSiii por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tabla 24

Pruebas de Múltiple Rangos para GSiii por día

<i>Día</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
7	8	83,4662	2,28664	X
28	7	86,7834	2,44975	XX
1	7	87,6676	2,44975	XX
14	7	93,8034	2,44975	XX
21	5	98,9947	2,90105	X

Figura 16

Medias y 95,0% de Tukey HSD para GSiii por día

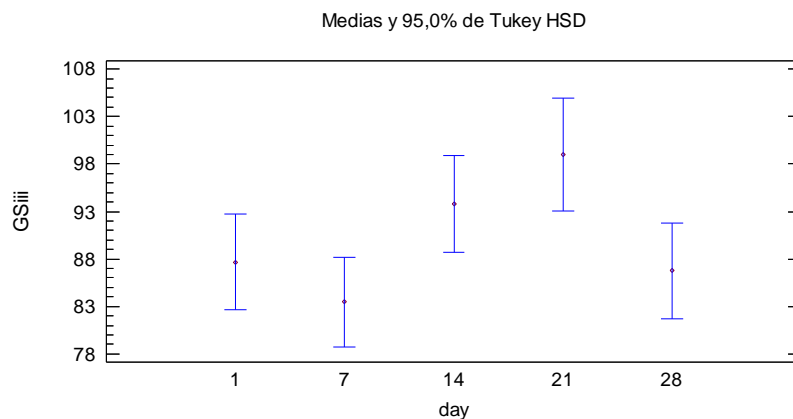


Tabla 25*Análisis de Varianza para rIGs (post-secado) - Suma de Cuadrados Tipo III*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	6,44307	1	6,44307	0,07	0,7963
B:day	3295,9	4	823,975	8,70	0,0001
RESIDUOS	2462,53	26	94,7128		
TOTAL (CORREGIDO)	5795,96	31			

Nota. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

El StatAdvisor

La tabla ANOVA permite asignar la variabilidad del parámetro rIGs a las contribuciones de los distintos factores evaluados. Al utilizar la suma de cuadrados Tipo III, que es la opción predeterminada, la influencia de cada factor se determina considerando la eliminación de los efectos de los demás. La significancia estadística de los factores se evalúa mediante los valores-P; en este caso, al observar que uno de los valores-P es menor a 0,05, se concluye que dicho factor ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre rIGs, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para rIGs por Día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tabla 26*Pruebas de Múltiple Rangos para rIGs por Día*

<i>Día</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
7	7	44,0931	3,68664	X
14	6	45,4491	3,97309	X
1	8	56,2761	3,4408	XX
21	7	64,3233	3,68664	X
28	4	73,1215	4,86602	X

Figura 17

Medias y 95,0% de Fisher LSD

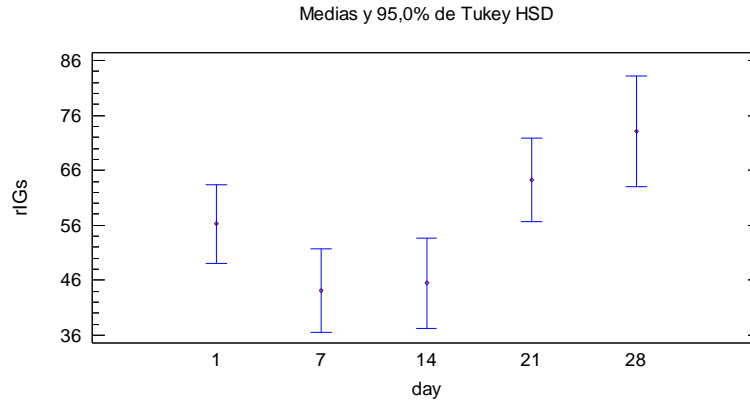


Tabla 27

Análisis de Varianza para rIGr (post-rehidratación) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	323,818	1	323,818	9,25	0,0051
B:day	606,117	4	151,529	4,33	0,0075
RESIDUOS	980,177	28	35,0063		
TOTAL	1874,09	33			

(CORREGIDO)
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA permite repartir la variabilidad del parámetro rIGr entre las contribuciones de los distintos factores evaluados. Al emplear la suma de cuadrados Tipo III, que corresponde a la opción predeterminada, la aportación de cada factor se calcula considerando la eliminación de los efectos de los demás. La significancia estadística de los factores se determina a través de los valores-P; en este caso, al ser dos de ellos menores a 0,05, se concluye que estos factores ejercen un efecto estadísticamente significativo sobre rIGr, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para rIGr por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tabla 28

Pruebas de Múltiple Rangos para rIGr por Día

<i>Día</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
28	7	66,9681	2,24105	X
7	8	67,8702	2,09184	X
1	7	71,2932	2,24105	XX
14	7	75,2127	2,24105	XX
21	5	78,7293	2,65391	X

Figura 18

Medias y 95,0% de Tukey HSD para rIGr por día

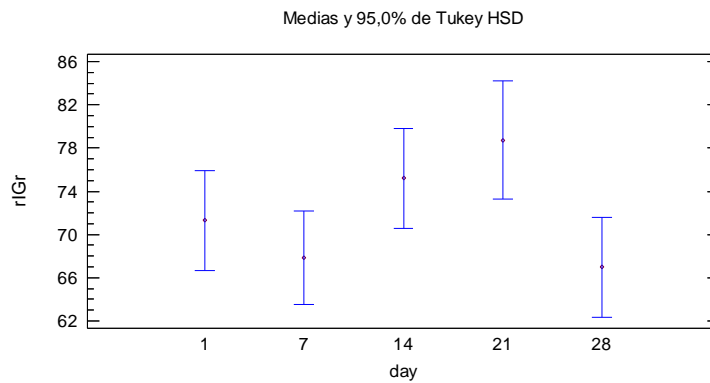


Tabla 291

Análisis de Varianza para DIRs - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	4,5553	1	4,5553	0,24	0,6281
B:day	1183,04	4	295,759	15,53	0,0000
RESIDUOS	628,591	33	19,0482		
TOTAL	1812,79	38			
(CORREGIDO)					

Nota. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

El StatAdvisor

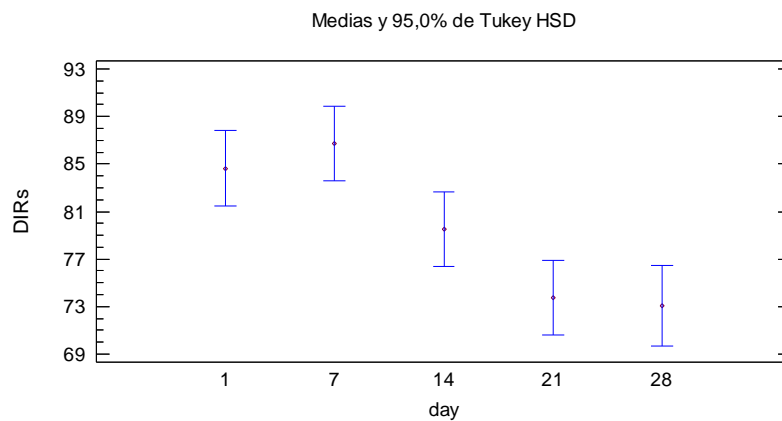
La tabla ANOVA permite asignar la variabilidad del parámetro DIRs a las contribuciones de los diferentes factores considerados. Al aplicar la suma de cuadrados Tipo III, que corresponde a la opción por defecto, se evalúa la influencia de cada factor tomando en cuenta la eliminación de los efectos de los demás. La significancia estadística de cada factor se determina mediante los valores-P; en este caso, al ser uno de ellos menor a 0,05, se concluye que dicho factor ejerce un efecto significativo sobre DIRs con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para DIRs por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tabla 30*Pruebas de Múltiple Rangos para DIRs por día*

day	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
28	7	73,0818	1,65263	X
21	8	73,7351	1,54306	X
14	8	79,4903	1,54306	XX
1	8	84,6467	1,54306	XX
7	8	86,7428	1,54306	X

Figura 19*Medias y 95,0% Tukey HSD para DIRs por día***Tabla 31***Análisis de Varianza para DIRr - Suma de Cuadrados Tipo III*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Block	45,1188	1	45,1188	0,55	0,4648
B:day	769,944	4	192,486	2,33	0,0762
RESIDUOS	2722,76	33	82,5078		
TOTAL	3556,52	38			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA permite descomponer la variabilidad del parámetro DIRr entre las aportaciones de los distintos factores evaluados. Al utilizar la suma de cuadrados Tipo III, que es la opción predeterminada, se estima la influencia de cada factor considerando la eliminación de los efectos de los demás. La significancia estadística se determina a través de los valores-P; en este caso, al no existir valores-P menores a 0,05, se concluye que ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre DIRr, con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para DIRr por día

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

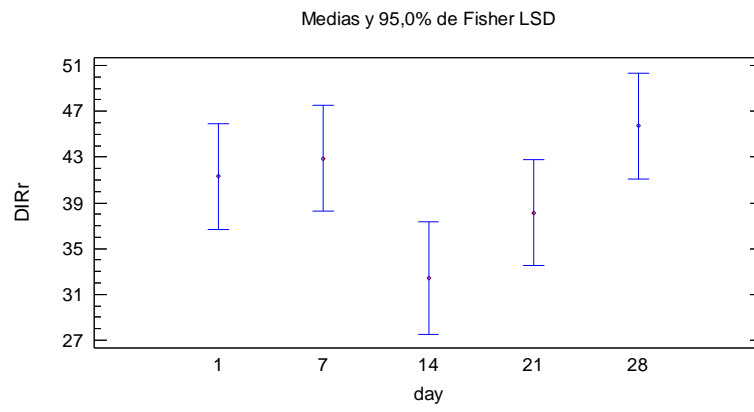
Tabla 32

Pruebas de Múltiple Rangos para DIRr por Día

<i>Día</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
14	7	32,4104	3,4395	X
21	8	38,1144	3,21146	X
1	8	41,3149	3,21146	X
7	8	42,874	3,21146	X
28	8	45,7356	3,21146	X

Figura 20

Pruebas de Múltiple Rangos para DIRr por Día



Anexo 5: Imágenes fotografías durante el proceso

Figura 21

Recepción de materia prima



Figura 22

Congelado del yacón



Figura 23

Temperatura a -20 °C



Figura 24

Descongelado del yacón



Figura 25

Cortado del yacón en laminas



Figura 26

Pesado de las láminas del yacón



Figura 27

Primera deshidratación en la estufa

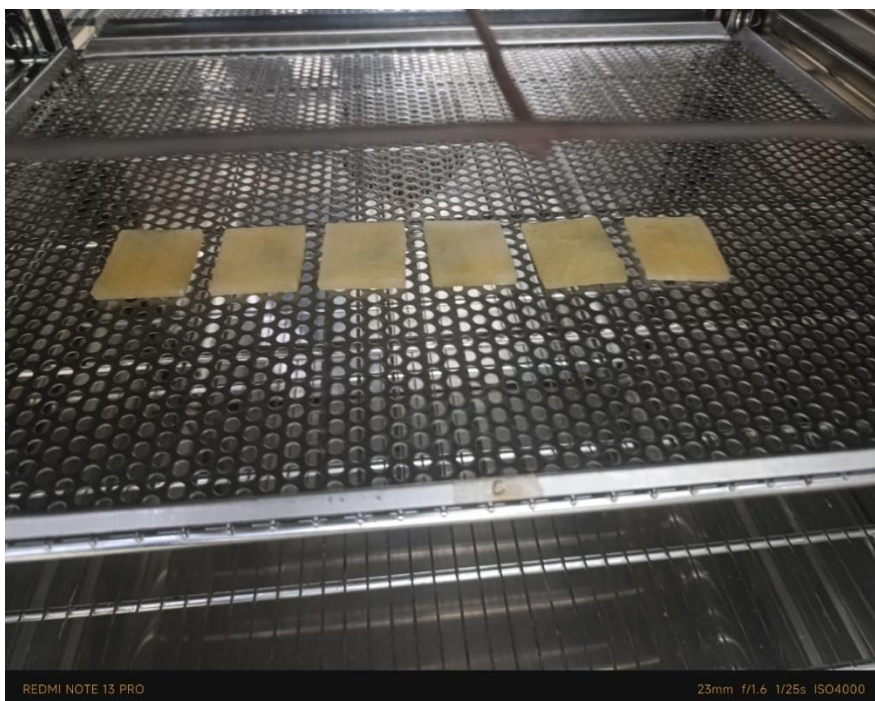


Figura 28

Trituración de la muestra después del deshidratado final



Figura 29

Determinación de humedad



Figura 30

Primera rehidratación



Figura 31

Rehidratación final

