

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

---

**Efecto de germinación de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*, en la composición nutricional y propiedades reológicas de masas**

---

---

**Tesis para obtener el título profesional de  
Ingeniero Agroindustrial**

**Autores:**

**Bach. Valverde Bermudez, Yuli Pilar  
Bach. Sánchez Medina, Patricia Ivonne**

**Asesor:**

**Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino  
DNI. N° 32975182  
Código ORCID. 0000-0003-0488-5726**

**Nuevo Chimbote - Perú  
2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

El presente Informe para Título ha sido revisado y desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en- cuadrado dentro del trabajo de investigación, la tesis y el trabajo de suficiencia profesional conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D. N° 492-2017-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

**INFORME PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL**

**AUTOR: Bach. Sánchez Medina Patricia Ivonne  
Bach. Valverde Bermúdez Yuli Pilar**

---

**Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda  
DNI: 32975182  
Código ORCID:0000-0003-0488-5726**

## CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulado “EFECTO DE GERMINACION DE *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*, EN LA COMPOSICION NUTRICIONAL Y PROPIEDADES REOLOGICAS DE MASAS” para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por los bachilleres: Sánchez Medina Patricia Ivonne, con código de matrícula N° 0200512032 y Valverde Bermúdez Yuli Pilar, con código de matrícula N° 0200512044, que tienen como Asesor al docente Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda designado por resolución N° 096-2022-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 30 de diciembre del 2025 por el siguiente jurado evaluador designado mediante resolución N° 589-2025-UNS-CFI. Revisado y evaluado por el siguiente jurado evaluador.

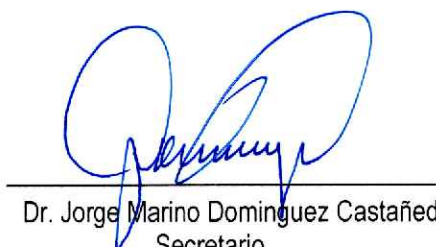
Nuevo Chimbote, 30 de diciembre del 2025



Dr. Saúl Marco Eusebio Lara  
Presidente,

**DNI: 32854604**

**Código ORCID: 0000-0001-6875-240X**



Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda  
Secretario

**DNI: 32975182**

**Código ORCID: 0000-0003-0488-5726**



Dr. William Esteward Castillo Martínez  
Integrante

**DNI: 40169364**

**Código ORCID: 0000-0001-6917-1009**



## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 10:00 horas del día treinta de diciembre del año dos mil veinticinco, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 589-2025-UNS-CFI integrado por los docentes:

- |   |              |
|---|--------------|
| ➤ Dr. Saúl Eusebio Lara                   | (Presidente) |
| ➤ Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda    | (Secretario) |
| ➤ Dr. Williams Esteward Castillo Martínez | (Integrante) |

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: **"EFECTO DE GERMINACION DE *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*, EN LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL Y PROPIEDADES REOLÓGICAS DE MASAS**, elaborado por los Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

- SANCHEZ MEDINA PATRICIA IVONNE
- VALVERDE BERMUDEZ YULI PILAR


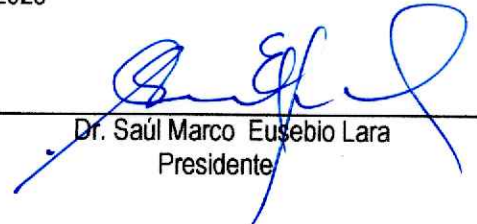
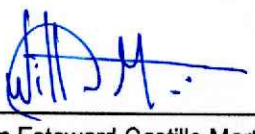
Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 107° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
VALVERDE BERMUDEZ YULI PILAR	18.00	BUENO

Siendo las 12:00 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 30 de diciembre del 2025

 _____ Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda Secretario	 _____ Dr. Saúl Marco Eusebio Lara Presidente	 _____ Dr. William Esteward Castillo Martinez Integrante
--	--	--





## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 10:00 horas del día treinta de diciembre del año dos mil veinticinco, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 589-2025-UNS-CFI integrado por los docentes:

- |   |              |
|---|--------------|
| ➤ Dr. Saúl Eusebio Lara                   | (Presidente) |
| ➤ Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda    | (Secretario) |
| ➤ Dr. Williams Esteward Castillo Martínez | (Integrante) |

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: **"EFECTO DE GERMINACION DE *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*, EN LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL Y PROPIEDADES REOLÓGICAS DE MASAS**, elaborado por los Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

- SANCHEZ MEDINA PATRICIA IVONNE
- VALVERDE BERMUDEZ YULI PILAR

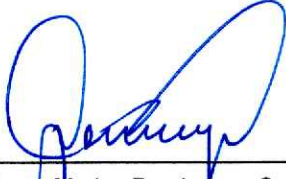
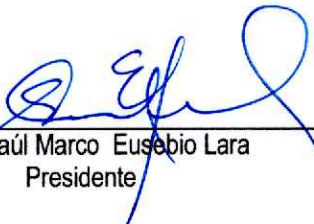
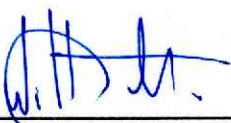
Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 107° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
SANCHEZ MEDINA PATRICIA IVONNE	18.00	BUENO

Siendo las 12:00 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 30 de diciembre del 2025

 Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda Secretario	 Dr. Saúl Marco Eusebio Lara Presidente	 Dr. William Esteward Castillo Martinez Integrante
---	---	---



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: user user  
Título del ejercicio: "Efecto de germinación de Chenopodium quinoa, Chenopodiu...  
Título de la entrega: informe de tesis final 20.07.25 (2) (3).docx  
Nombre del archivo: informe\_de\_tesis\_final\_20.07.25\_2\_3\_.docx  
Tamaño del archivo: 4.07M  
Total páginas: 190  
Total de palabras: 40,159  
Total de caracteres: 217,544  
Fecha de entrega: 06-ene-2026 11:16a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2853252962

+UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

"Efecto de germinación de Chenopodium quinoa, Chenopodium  
pallidicaule y Amaranthus caudatus, en la composición nutricional y  
propiedades reológicas de masas"

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO

AUTOR:

BR. VALVERDE BERMÚDEZ YULI PILAR  
BR. SANCHEZ MEDINA PATRICIA IVONNE

ASESOR:

DR. DOMINGUEZ CASTAÑEDA JORGE MARINO  
DNI: 32975182  
CODIGO ORCID: 0000-0003-0488-5726

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ  
2025

## INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[repositorio.uns.edu.pe](https://repositorio.uns.edu.pe)

Fuente de Internet

3%

2

[repositorio.uncp.edu.pe](https://repositorio.uncp.edu.pe)

Fuente de Internet

2%

3

Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina

Trabajo del estudiante

1%

4

[repositorio.unap.edu.pe](https://repositorio.unap.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

5

[poz.unexpo.org](https://poz.unexpo.org)

Fuente de Internet

<1%

6

Hakan Kibar, Kadir Ersin Temizel. "Kinetics of temperature and time effects on bioactive compounds and technological properties of quinoa varieties during storage", Journal of Food Processing and Preservation, 2021

Publicación

<1%

7

Submitted to uncedu

Trabajo del estudiante

<1%

## DEDICATORIA

A Dios por ser mi fuerza y su palabra es mi aliento diario que me ayuda a perseverar para lograr mis metas.

A mis hijos Alessandra e Isaac que son mi motor y energía para seguir adelante y no rendirme, y ser su ejemplo de vida en el presente y futuro de sus vidas.

A mis padres Agapito y Miguela, que en vida me formaron con valores, principios, amor y me guiaron por el camino profesional.

*Yuli Valverde Bermúdez*

A Dios por haber sido mi fuente de fortaleza y entendimiento en este logro académico.

A mis padres, Helmer y María, por formarme con valores y principios; y apoyarme en mi educación y crecimiento profesional cuyo apoyo incondicional ha sido mi motor en este proceso.

A mi esposo, David quien ha compartido este viaje académico conmigo brindándome amor, paciencia y comprensión.

*Patricia Sánchez Medina*



## AGRADECIMIENTO

A nuestros hermanos que siempre han estado ahí brindándonos un apoyo incondicional, tanto con sus palabras como con sus acciones.

A nuestro paciente asesor, por instruirnos y apoyarnos, cuya orientación ha sido invaluable en el proceso de esta tesis.

A cada uno de los participantes; profesores, investigadores y amigos que contribuyeron a este estudio de diferentes maneras ya sea con su disposición para compartir su valioso tiempo, experiencias y conocimientos o con apoyo emocional u orientación.

# ÍNDICE

	Pág.
Resumen	x
Abstract	xi
I. Introducción	1
II. Marco Teórico	7
2.1. Antecedentes	7
2.2. Marco conceptual	10
2.2.1. Trigo	10
2.2.2. Quinoa	12
2.2.3. Kiwicha	13
2.2.4. Cañihua	15
2.2.5. Germinación	16
2.2.6. Reología	18
III. Materiales y métodos	23
3.1. Lugar de ejecución	23
3.2. Materiales	23
3.3. Procedimiento Experimental	25
3.4. Diagrama de flujo experimental	27
3.5. Métodos de Análisis	29
3.6. Diseño de la Investigación	32
IV. Resultados y discusión	36
4.1. Parámetros óptimos de temperatura y tiempo de germinación de los granos de <i>Chenopodium quinoa</i> , <i>Chenopodium pallidicaule</i> y <i>Amaranthus caudatus</i>	36
4.1.1. Germinación de granos de <i>Chenopodium quinoa</i>	36
4.1.2. Germinación de granos de <i>Chenopodium pallidicaule</i>	50
4.1.3. Germinación de granos de <i>Amaranthus caudatus</i> .	64
4.1.4. Parámetros óptimos de germinación de granos andinos.	78
4.2. Características reológicas Farinográficas y Extensográficas de las masas panarias de las harinas de los granos germinados de	80

*Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*.

4.3.	Características fisicoquímicas y nutricionales de las harinas de los granos germinados de <i>Chenopodium quinoa</i> , <i>Chenopodium pallidicaule</i> y <i>Amaranthus caudatus</i>	95
V.	Conclusiones y Recomendaciones	103
5.1.	Conclusiones	103
5.2.	Recomendaciones	104
VI.	Referencias Bibliográficas	105
VII.	Anexos	115

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variables independientes en el experimento	32
Tabla 2. Disposición de los ensayos según variables codificadas y reales	33
Tabla 3. Estimación de efectos y coeficientes de las variables del proceso	34
Tabla 4. Análisis de varianza para la variable respuesta (Y)	34
Tabla 5. Proporciones de harina de granos germinados	35
Tabla 6. Número de formulaciones según la proporción de las distintas harinas	35
Tabla 7. Composición proximal de <i>Chenopodium quinoa</i> sin germinar	36
Tabla 8. Resultados de composición proximal del proceso de germinación de <i>Chenopodium quinoa</i> germinada para los diferentes tratamientos según diseño compuesto central rotatable	38
Tabla 9. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Humedad (%) de <i>Chenopodium quinoa</i> germinada	39
Tabla 10. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Proteína (%) de <i>Chenopodium quinoa</i> germinada	42
Tabla 11. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de cenizas (%) de <i>Chenopodium quinoa</i> germinada	44
Tabla 12. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Fibra Total (%) de <i>Chenopodium quinoa</i> germinada	46

Tabla 13. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en los Polifenoles Totales (mgGAE/100g) de <i>Chenopodium quinoa</i> germinada	48
Tabla 14. Composición proximal de <i>Chenopodium pallidicaule</i> sin germinar	51
Tabla 15. Resultados de composición proximal del proceso de germinación de <i>Chenopodium pallidicaule</i> germinada para los diferentes tratamientos según diseño compuesto central rotatable	52
Tabla 16. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Humedad (%) de <i>Chenopodium pallidicaule</i>	53
Tabla 17. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Proteínas (%) de <i>Chenopodium pallidicaule</i>	56
Tabla 18. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Cenizas (%) de <i>Chenopodium pallidicaule</i>	58
Tabla 19. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Fibra total (%) de <i>Chenopodium pallidicaule</i>	60
Tabla 20. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Polifenoles Totales (mgGAE/100g) de <i>Chenopodium pallidicaule</i>	62
Tabla 21. Composición proximal de <i>Amaranthus caudatus</i> sin germinar	65
Tabla 22. Resultados de composición proximal del proceso de germinación de <i>Amaranthus caudatus</i> para los diferentes tratamientos según diseño compuesto central rotatable	66
Tabla 23. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Humedad (%) de <i>Amaranthus caudatus</i>	67
Tabla 24. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de proteína (%) de <i>Amaranthus caudatus</i>	70
Tabla 25. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Cenizas (%) de <i>Amaranthus caudatus</i>	72
Tabla 26. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de fibra total (%) de <i>Amaranthus caudatus</i>	74
Tabla 27. Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido Polifenoles Totales (mgGAE/100g) de <i>Amaranthus caudatus</i>	77

Tabla 28. Parámetros óptimos de germinación para los granos andino según la metodología de función deseada.	79
Tabla 29. Resultados de Farinografía de las masas de harina de granos andinos germinados	80
Tabla 30. Tabla de ANOVA para Tiempo de desarrollo de la masa (minutos), por formulación	82
Tabla 31. Tabla de ANOVA para Consistencia (C) de la masa en UF, por formulación	84
Tabla 32. Tabla de ANOVA para Absorción de agua corregida por humedad de harina (%) de la masa, por formulación	85
Tabla 33. Tabla de ANOVA para Absorción de agua corregida por humedad harina (%), por formulación	87
Tabla 34. Tabla de ANOVA para Estabilidad de la masa (minutos), por formulación	88
Tabla 35. Resultados de Extensografía de las masas de harina de granos andinos germinados (60 minutos)	90
Tabla 36. Tabla de ANOVA para energía de la masa (cm <sup>2</sup> ), por formulación	91
Tabla 37. Tabla de ANOVA para Resistencia a la extensión de la masa (BU), por formulación	92
Tabla 38. Tabla de ANOVA para Extensibilidad de la masa (mm), por formulación	94
Tabla 39. Resultados de composición proximal de las masas de harina de granos andinos germinados	96
Tabla 40. Tabla de ANOVA para contenido de proteína (%) de la masa, por formulación	97
Tabla 41. Tabla de ANOVA para el contenido de Cenizas (%) de la masa, por formulación	98
Tabla 42. Tabla de ANOVA para el contenido de Fibra (%) de la masa, por formulación	100
Tabla 43. Tabla de ANOVA para el contenido de Polifenoles totales (mgGAE/100g), por formulación	101



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Corte longitudinal y transversal del grano de trigo	11
Figura 2: Farinograma Brabender	21
Figura 3: Extensograma Brabender	22
Figura 4. Diagrama de flujo germinación de los granos de Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> ), Cañihua ( <i>Chenopodium pallidicaule</i> ), Kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> ).	28
Figura 5. Procedimiento de optimización de variables	33
Figura 6. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Chenopodium quinoa</i> en el contenido de humedad	40
Figura 7. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Chenopodium quinoa</i> en el contenido de Proteína	43
Figura 8. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Chenopodium quinoa</i> en el contenido de cenizas	45
Figura 9. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Chenopodium quinoa</i> en el contenido de Fibra total (%)	47
Figura 10. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Chenopodium quinoa</i> en el contenido de Polifenoles Totales (mgGAE/100g)	50
Figura 11. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Chenopodium pallidicaule</i> en el contenido de humedad	55
Figura 12. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Chenopodium pallidicaule</i> en el contenido de proteínas	57
Figura 13. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Chenopodium pallidicaule</i> en el contenido de Ceniza	59
Figura 14. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Chenopodium pallidicaule</i> en el contenido de fibra total	61

Figura 15. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Chenopodium pallidicaule</i> en el contenido de Polifenoles Totales (mgGAE/100g)	63
Figura 16. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Amaranthus caudatus</i> en el contenido de humedad	69
Figura 17. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Amaranthus caudatus</i> en el contenido de Proteína	71
Figura 18. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Amaranthus caudatus</i> en el contenido de Ceniza	73
Figura 19. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Amaranthus caudatus</i> en el contenido de fibra total	76
Figura 20. Gráfico superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación <i>Amaranthus caudatus</i> en el contenido de Polifenoles Totales (mgGAE/100g)	78
Figura 21. Gráfico de medias para el Tiempo de desarrollo de la masa (minutos), por formulación	83
Figura 22. Gráfico de medias para consistencia de la masa (C en UF), por formulación	85
Figura 23. Gráfico de medias para Absorción de agua corregida (WAC) por humedad harina (%), por formulación	86
Figura 24. Gráfico de medias para Absorción de agua corregida (WAM) por humedad harina (%), por formulación	88
Figura 25. Gráfico de medias para Estabilidad (S) en minutos, por formulación	89
Figura 26. Gráfico de medias para energía de la masa (cm <sup>2</sup> ), por formulación	92
Figura 27. Gráfico de medias para Resistencia a la extensión de la masa (BU), por formulación	93
Figura 28. Gráfico de medias para Extensibilidad de la masa (mm), por formulación	95
Figura 29. Gráfico de medias para el contenido de proteína (%) de la masa, por formulación	98

Figura 30. Gráfico de medias para el contenido de Cenizas (%) de la masa, por 99  
formulación

Figura 31. Gráfico de medias para el contenido de Fibra (%) de la masa, por 100  
formulación

Figura 32. Gráfico de medias para el Tiempo de desarrollo de la masa (minutos), 102  
por formulación

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo optimizar las condiciones de germinación de granos andinos (*Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*) para mejorar su composición nutricional y su comportamiento reológico en mezclas panarias. Se empleó la metodología de función de deseabilidad para determinar los parámetros óptimos de germinación, siendo la temperatura y el tiempo variables clave. Posteriormente, se formularon mezclas de harinas germinadas con harina de trigo en diferentes proporciones, evaluando su desempeño farinográfico y extensográfico. Los resultados demostraron que la germinación incrementó significativamente el contenido de proteínas, fibra y compuestos fenólicos totales, especialmente en cañihua germinada. En cuanto a las propiedades reológicas, las formulaciones con 10 a 15% de sustitución mostraron un mejor equilibrio entre desarrollo de masa, estabilidad, absorción de agua y extensibilidad. Finalmente, las harinas germinadas evidenciaron un perfil nutricional mejorado y un potencial funcional para su aplicación en productos panificados. Se concluye que la incorporación controlada de granos germinados puede enriquecer la calidad nutricional y tecnológica de los productos de panadería.

**Palabras clave:** germinación, granos andinos, reología, harina germinada, panificación.

## ABSTRACT

This study aimed to optimize germination conditions for Andean grains (*Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule*, and *Amaranthus caudatus*) to improve their nutritional composition and rheological behavior in bakery blends. The desirability function methodology was applied to determine the optimal germination parameters, with temperature and time as key variables. Subsequently, blends of germinated flours with wheat flour at various substitution levels were formulated and evaluated through farinographic and extensographic tests. The results showed that germination significantly increased protein, fiber, and total phenolic content, particularly in germinated cañihua. Regarding rheological properties, blends with 10 to 15% substitution exhibited a better balance in dough development, stability, water absorption, and extensibility. Ultimately, germinated flours demonstrated improved nutritional profiles and functional potential for bakery applications. It is concluded that controlled incorporation of germinated grains can enhance both nutritional and technological quality in baked goods.

**Keywords:** germination, Andean grains, rheology, germinated flour, baking.



## I. INTRODUCCIÓN

La base principal de la alimentación en el Perú son los vegetales, leguminosas, arroz y el trigo, pero estos se consideran alimentos biológicamente incompletos por la deficiencia en algunos compuestos bioactivos como los aminoácidos esenciales (metionina, treonina, triptófanos y la lisina en el trigo). (Delgado et. al., 2016).

En la industria de la panificación el pan es un alimento consumido todos los días por la población y unos de los alimentos más antiguos, pero a nivel nutricional el pan es deficiente en vitaminas y minerales presentes en la cascarilla del grano de trigo. (Jorge,2015).

El consumo de pan se relaciona con enfermedades como la diabetes por el alto consumo de harinas ocasionando que 4 de 100 personas mayores de 15 años tengan diabetes, mientras que en el Perú se registra que de cada 100 personas el 3.9 casos es de esta enfermedad. (Minsa, 2020)

Hoy en día el estilo de vida de los consumidores ha cambiado hacia una "vida sana y alimentos más saludables", por lo que la demanda de alimentos está más orientada hacia dietas ricas en frutas, verduras y granos andinos, caracterizadas por su alto contenido en moléculas bioactivas. Los granos listos para el consumo cosechados en la fase inicial y más temprana del crecimiento de la planta desempeñan un papel especial. Esto es, en las fases iniciales y más tempranas del crecimiento de la planta, que se conocen comúnmente como semillas germinadas. El término de "semillas germinadas" se refiere a diferentes tipos de productos obtenidos a partir de semillas, dependiendo de la parte de la planta recogida y consumida, parte de la planta recolectada y consumida -en particular, si la semilla está comprendida o eliminada- y del sustrato de cultivo y de las condiciones ambientales durante la germinación (Benincasa, et. al., 2019).

Hoy en día la buena alimentación es un buen hábito que está tomando la humanidad y es por esta razón que los consumidores exigen productos con mayor valor nutricional, menos procesado y más saludable, siendo así que el consumo de semillas germinadas aumentó su popularidad también en muchos países debido a la demanda de los consumidores de alimentos dietéticos y exóticos saludables; en los últimos años el interés en torno a las semillas germinadas se ha centrado principalmente en el bajo procesamiento y la ausencia de aditivos. Dadas sus peculiares características, como su color único, su rico sabor y su apreciable contenido en sustancias bioactivas, podrían utilizarse para mejorar las propiedades sensoriales de las ensaladas o para adornar una gran variedad de productos de alta calidad (Treadwell, et. all., 2020)

Los granos germinados pueden ser utilizados, secados o tostados (Hübner, et. al., 2013). Una posible tendencia es la de complementar el pan de trigo con harina de cereales y pseudocereales germinados (Falcinelli, et. al., 2018). Los cereales germinados deshidratados también pueden utilizarse para elaborar fideos, pasta, laddu, pan con y sin levadura. (Shingare, Set. Al., 2013).

Sin embargo, a pesar de las mejoras que otorgan los granos germinados su aplicación en la industria de la panificación esta demarcada por las elevadas acumulaciones de actividad enzimática que en condiciones de germinación no controladas pueden afectar negativamente a las propiedades físicas de la masa y al rendimiento de panificación resultante, lo que hace más difícil el uso de cereales germinados para la panificación (Marti et al.,2017).

A la vez otros estudios también viabilizan la utilización de granos germinados como sustitución en la industria de la panificación con la finalidad de conseguir productos sanos, nutricionales.

Algunos de los alimentos mayormente utilizados, como la carne, pueden ser sustituidos por los granos andinos que contienen un nivel alto de nutrición, esto es considerablemente empleado en países de origen andino. La ignorancia de parte de las personas y saber que los granos andinos podrían considerarse como desafíos para el uso de los ciudadanos. De la misma forma, elementos como la escasa difusión sobre esta cultura y marketing podrían ser responsables de un aumento de su precio, por lo cual es importante indagar e investigar sobre el mercado de consumo de los granos andinos. (Jayme-Oliveira et. al, 2017)

En los años recientes, los granos andinos se han convertido en un foco de atención debido a su alto nivel nutricional, específicamente por la gran capacidad de proteínas que contiene. No obstante, debido al poco consumo diario y una escasa producción de alimentos en base a estos granos, gran parte de la población aun no comprende la importancia de consumirlas (Botero, 2015). Actualmente, ha habido un incremento de interés del cuidado de la salud por parte de la sociedad, buscando el consumo de productos de origen natural los cuales poseen altos niveles de nutrición, y, asimismo, productos realizados en base a materias primas con un alto índice de nutrición. En diversos estudios como los de Zeballos, Mamani & Cruz (2017) y Botero (2015) que tratan sobre la importancia de consumir los diferentes tipos de granos que existen, nos comentan que estos germinados tienden a ser mejor digeridos por nuestro organismo y cuentan con varios nutrientes que benefician a la salud de la persona; ya que, al finalizar su etapa latente, los granos tienen la capacidad de soltar enzimas que producen propiedades fundamentales que se centran en el germinado, convirtiéndolo en un alimento completo . En Perú, existen muchos productos alimenticios con un bajo índice nutricional y que no aportan ningún beneficio a la salud, ya que, en muchas ocasiones, éstos son las causantes de enfermedades mórbidas como lo son la obesidad, alto colesterol, triglicéridos, etc.

A este corriente, se adiciona una tendencia en el incremento del consumo de productos de origen orgánico o natural, en otras palabras, que estén libres de agroquímicos, como lo demuestra el aumento de estos alimentos en los diversos supermercados y establecimientos naturistas. Sin embargo, no hay opciones disponibles de dichos productos para que la gente pueda elegir el que más disfruta.

Asimismo, existen muchos estudios como el de Juárez & Quispe (2016) e Infantes, Gutiérrez & Julca (2015) que están respectivamente dirigidos en convertir estos granos en diferentes productos como galletas y barritas energéticas, no obstante, hasta la actualidad, existe un escaso empleo de estos granos dentro de la industria de los alimentos, específicamente en la industria de panificación.

Siendo así en el presente proyecto de tesis se determinará mediante el comportamiento reológico de masas, las características químicas y nutricionales de las masas.Cuál es la que tiene mejor comportamiento con respecto a las variables de germinación de los distintos granos. Así como se determinará las formulaciones para obtener la mejor calidad de la masa panaria.

Ante lo mencionado se plantearon las siguientes interrogantes:

¿Cuál es el efecto de germinación de los granos de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*, en la composición nutricional y propiedades reológicas de masas?

¿Cuáles serán las proporciones de mezcla de las harinas de granos germinados de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus* que permita mejorar la composición nutricional y propiedades reológicas de masas?

Ante estas interrogantes se formuló el objetivo de determinar el efecto de la germinación de los granos de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*, en la composición nutricional y propiedades reológicas de masas. Así mismo se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los parámetros óptimos de temperatura y tiempo de germinación de los granos de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*, en la composición nutricional y propiedades reológicas de masas.
- Establecer las formulaciones de sustitución óptimas de la mezcla de las harinas de los granos germinados de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*, que mejoren la composición nutricional y propiedades reológicas de masas.
- Determinar las características reológicas Farinográficas y Extensográficas de las masas panarias de las harinas de los granos germinados de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*.
- Determinar las características fisicoquímicas y nutricionales de las harinas de los granos germinados de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*.

El presente trabajo de investigación está relacionado con la capacidad de determinar las propiedades físicas y nutricionales de la masa de pan enriquecida por germinación de granos andinos a través de la sustitución parcial.

El consumo de granos andinos, como la quinua, es parte esencial de la dieta debido a su alto contenido nutricional de carbohidratos, grasas, proteínas, minerales y vitaminas, los aminoácidos de alta calidad que posee y los antioxidantes que aportan para la salud. A pesar de eso, el efecto de la germinación sobre los compuestos fenólicos y bioactivos no está claro.



La investigación tiene finalidad de diversificar el consumo de los granos andinos al utilizar y promocionar los granos andinos de la zona y dinamizar el cultivo de estos granos en la zona y promocionar en el uso de los granos andinos como materia prima en la Agroindustria. Logrando un dinamismo comercial en las zonas productoras.

Tecnológicamente se busca aplicar métodos adecuados que nos permitan acondicionar, obtener las condiciones óptimas de nuestras muestras a investigar. Optimizando cada proceso de obtención, tratamiento y análisis en el estudio.

Esta investigación permitirá establecer parámetros físicos y nutricionales en la cadena de producción en la industria de la panificación y de promocionar el consumo de granos andinos con gran valor bioactivo.

La investigación plantea la siguiente hipótesis con la finalidad de contrastar los resultados. Las mejores condiciones de germinación de los granos de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus* son a temperatura de 30 °C por 48 horas previa humectación por 24 horas, las mismas, que favorecerán a la composición nutricional y propiedades reológicas de masas. Las proporciones de harinas germinadas *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus* (20%) con la harina de trigo (80%) nos permitirán elaborar una masa panaria con mejor composición nutricional y propiedades reológicas aceptables.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Silupu & Plata (2021), utilizaron parte de la harina de trigo (HT), en lugar de harina de quinua germinada y harina de kiwicha germinada para fabricar el pan, donde los niveles de sustitución tuvieron un efecto significativo sobre el porcentaje de humedad, cenizas y carbohidratos, pero no en proteínas y grasas, asimismo, lograron establecer las propiedades físicas del pan, mostrando un cambio significativo en la textura, conforme disminuyó el porcentaje de harina de quinua germinada (HQG) e incrementó el porcentaje de harina de kiwicha (HKG), el volumen específico no fue significativamente diferente entre los tres tratamientos, porque del 100%, solo el 35% se reemplazó con HQG y HKG. Para concluir, no existe una alta diferencia en su porosidad, debido a que el porcentaje que varía en cada respectivo tratamiento fue del 35% y el 65%, y estaba constituido por HT, resultando un 67.48% de porosidad promedio en el pan.

El uso de harinas compuestas es de vital importancia para la fabricación de productos con altas características nutricionales. Las materias primas empleadas como complementos suelen ser de origen animal o vegetal, aportando nutrientes de los que carecen los alimentos tradicionales. El pan, la pasta, las galletas saladas, las tortillas, el atole o la sopa suelen ser productos en donde generalmente se utilizan las harinas compuestas. En este caso específicamente, el pan se elaboró con proporciones de 2,5, 5, 7,5 y 10 de harina de quinua (HQ) en lugar de harina de trigo (HT). Se concreto el análisis químico y de color de harinas, también como capacidad de retención de agua (CRA) y viscosidad. En la masa se determina la

fuerza (Newton, N) y la capacidad de fermentar, mientras que en el pan se analiza la distribución de la textura. Los resultados mostraron que el porcentaje de proteína aumentaba a medida que aumentaba el nivel de sustitución. (Vasquez-Lara, et. al. 2016).

En cuanto a la curva de viscosidad, al analizar la temperatura de empaste, no se identificó cambios entre HT y la mezcla de harina obtenida con HQ, no obstante, la viscosidad pico y final sí mostró un cambio con respecto a HT, obteniéndose valores superiores. Cuando se sustituyó con 5% y 7,5% de HQ, el perfil de textura se vio mucho más suave que el pan fabricado solo con HT. El uso de HQ en lugar de HT en productos de panadería brinda una opción de uso, este grano presenta un alto valor proteico, además de su contenido en grasas, también posee un aminoácido esencial muy importante (lisina), la presencia de un conjunto de grasas insaturadas, donde destaca el omega 6 y la presencia de ácidos omega 3 (Vásquez-Lara, et al. 2016).

El desarrollo de la germinación va dirigido a los granos de origen andino: quinua y kiwicha, para generar cambios fisicoquímicos en ellos, lo que favorece preparaciones menos pegajosas y más vigorosas, al mismo tiempo que aumenta su nutrición. La quinua tuvo una mayor tasa de germinación del grano, mientras que la kiwicha no, logrando un 98 % y un 70 % de germinación, respectivamente. Los granos germinados tienen características nutricionales mayores a las de los granos secos: su contenido de vitaminas, minerales, aminoácidos, oligoelementos, clorofila y enzimas puede aumentar cientos de veces durante el proceso de germinación. Los resultados obtenidos en granos andinos germinados son: 13.09% proteína, 1.50%

ceniza, 6.10% grasa, y fibra total 2.68% en base seca; vitaminas: 4.24 mg% de niacina y 6.20 mg% de ácido ascórbico; minerales: 4.56 mg% de hierro, 405.44 mg% de calcio y 39.86 mg% de fósforo para la quinua y 16.45% proteína, 8.29% grasa, 3.18% ceniza y fibra total 9.50% en base seca; vitaminas: 4.24 mg% de niacina y 7.17 mg% de ácido ascórbico; minerales: 7.74 mg% de hierro, 346.8 mg% de calcio y 49.0 mg% de fósforo para la kiwicha. (Bravo et al., 2017).

Los principales factores en el proceso de germinación son el tiempo de rehidratación (5 horas y 10 horas) y la temperatura de germinación (17°C y 25°C). Se establecieron los contenidos de compuestos fenólicos totales, betaína, vitamina C y capacidad antioxidante. Los resultados mostraron que los compuestos analizados variaron tanto en aumentos como en disminuciones. Cuando la quinua roja Pasankalla se sometió a 10 horas x 25°C, el contenido de compuestos fenólicos aumentó de 30,19 mg AGE/100g m.s a 51,12 mg AGE/100g m.s. Reducción del contenido de vitamina C por el procesamiento de granos de quinua y kiwicha; la quinua roja Pasankalla se reduce en 29,59 mg de ácido ascórbico/100 g a 8,45 mg de ácido ascórbico/100 g (10 horas x 25 °C). La propiedad antioxidante analizada por el método ABTS mostró que los granos de quinua y kiwicha tenían una mayor capacidad antioxidante por tratamiento, donde la quinua negra Collana que presenta capacidad antioxidante al inicio de 2463.22 umol TE/100g m.s, incrementa su capacidad antioxidante a 4832, 45 umol TE/100g m.s luego de realizar el tratamiento de 10 hora x 25° C. Finalmente, para la kiwicha aumenta al someter a tratamiento 10 h x 17° C (4898,89 umol TE/100g m.s), si lo comparamos con la capacidad antioxidante inicial (1698,13 umol TE/100 g m.s). (Hinostroza M. 2020).

## 2.2. Marco conceptual

### 2.2.1. Trigo

El trigo (*Triticum* spp.) ha formado parte de la dieta humana desde la prehistoria, siendo uno de los primeros cultivos alimentarios de la humanidad. Durante 8.000 años, fue el alimento básico de las principales civilizaciones de Europa, Asia Occidental y África del Norte. Hoy en día, el trigo ocupa el primer lugar en superficie plantada y el segundo en producción y, junto con el maíz y el arroz, representa alrededor del 90% de la producción mundial de cereales (FAO, 2018).

La palabra trigo viene del latín *triticum*, que significa roto, aplastado, en referencia a la actividad que debe realizarse para separar el grano de trigo de la capa que lo cubre (LÉON, 2007). El grano es un complejo orgánico compuesto por diferentes tejidos, que tienen paredes celulares con diferentes propiedades y composición (Figura 1) (SAULNIER, et al. 2007). Estructuralmente, el grano de trigo es una carióspside, es decir, tiene una sola semilla (SCHEUER, 2011). La composición nutricional del grano de trigo varía con las diferencias de clima y suelo. Por término medio, el grano contiene un 12% de agua, un 70% de hidratos de carbono, un 12% de proteínas, un 2% de grasa, un 1,8% de minerales y un 2,2% de fibra bruta (DELCOUR y HOSENEY, 2010). Los tejidos de las partes más externas del grano tienen una función principalmente protectora, tienen paredes celulares delgadas e hidrofóbicas, ricas en fibras y sales minerales. El endospermo está formado por una matriz proteica (capa de aleurona), en la que se inserta un gran número de gránulos de almidón, es decir, el endospermo constituye la propia harina de trigo blanco. En el germen, la parte embrionaria de la

planta, se encuentran la mayoría de los lípidos y compuestos fundamentales para la germinación del grano (DELCOUR; HOSENEY, 2010).

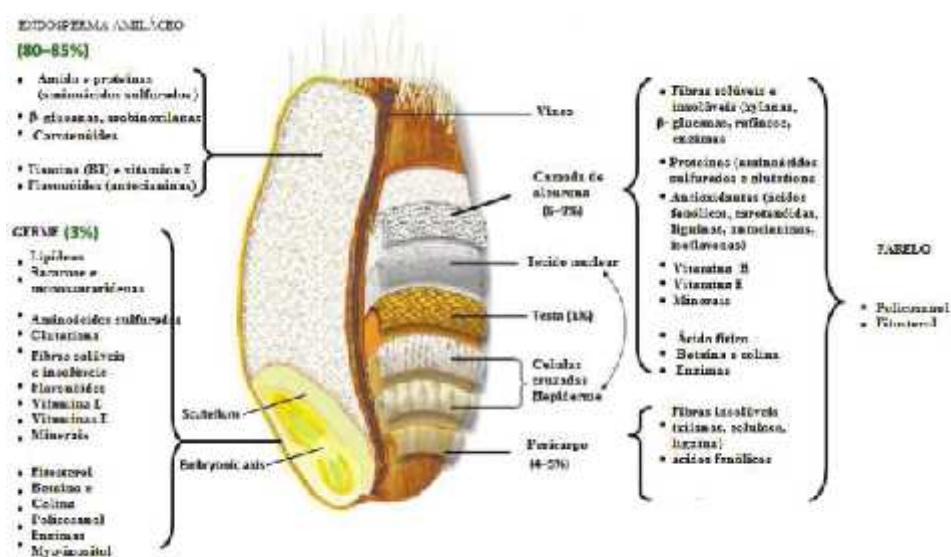


Figura 1. Corte longitudinal y transversal del grano de trigo

Fuente: Adaptado de Kamp, 2014.

El salvado (capas exteriores del grano) está compuesto por varias capas. El pericarpio contiene celulosas y pentosas, polímeros a base de xilosa y arabinosa, fuertemente unidos a las proteínas. La capa de aleurona contiene cenizas (fósforo y fitato), proteínas, lípidos, vitaminas (niacina, tiamina, riboflavina, piridoxina y ácido pantoténico, así como tocoferol) y enzimas. La capa de aleurona es rica en proteínas y enzimas, que desempeñan un papel vital en el proceso de germinación. El endospermo es rico en almidón y proteínas: albúminas, globulinas y las principales proteínas formadoras de gluten: las gluteninas y las gliadinas. En esta capa, el contenido de minerales (cenizas) y fibra dietética es bajo. El germen está en un extremo del grano. Es rico en proteínas, lípidos y una importante fuente de vitamina E. El germen de trigo contiene poco de los aminoácidos glutamina y prolina, pero

los niveles de alanina, arginina, asparagina, glicina, lisina y treonina son altos (Šramková, 2009). La dureza del grano se define como la dificultad de desintegración del grano cuando se ejerce presión sobre ellos. Normalmente, el trigo se clasifica como duro o blando. La característica de dureza del grano tiene un fuerte control genético, pero también se ve afectada por factores ambientales, como el suelo (niveles de nitrógeno y fósforo), la capacidad de retención de agua y la temporada de crecimiento. (Šramková, 2009).

### **2.2.2. Quinoa**

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) es un pseudocereal anual dicotiledónea que se cultiva en diferentes países. Esta planta es única en forma, color y comportamiento en las diversas zonas agroecológicas en las que se cultiva, y es excepcionalmente adaptable. El color de la quinua varía según el genotipo y la etapa fenológica, desde verde, rojo, morado oscuro, amarillo, castaño anaranjado hasta diferentes gamas que pueden tomar (Apaza, Cáceres, Estrada, & Pinedo, 2013).

#### **Compuestos Bioactivos de la Quinua**

Los bioactivos con mayor estudio corresponden a los compuestos fenólicos, dado que poseen características que brindan beneficios respecto a la prevención de enfermedades degenerativas. Repo et al., (2010), nos dice que existe una variación entre 16.8 y 59.7 mg/100g dentro de compuestos fenólicos en los pseudocereales como lo son la quinua, kiwicha y cañihua. (Gorinstein et al., 2007) exponen que, gracias a su elevado contenido de compuesto fenólicos, existe un incremento a la capacidad antioxidante. (Parko et al., 2008), alega que, debido a su contenido en flavonoides, ácidos

fenólicos, antocianinas y vitaminas con capacidad antioxidante, estos cereales se distinguen por su capacidad de concentrar los radicales libres. En pruebas realizadas por (Fischer et al., 2013), se llega a la conclusión que el contenido de antioxidantes aumentó conforme se disminuyó la cantidad de agua disponible para las plantas de quinua. (Brend et al., 2012) nos comentan que la quinua roja tenía mayor concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en comparación con las semillas amarillas. Así como, (Tang et al., 2015) concluyeron que, al comparar las semillas de quinua blanca con las semillas de quinua roja y negra, estas últimas tenían un alto contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante.

### **2.2.3. Kiwicha**

*Amaranthus caudatus*, conocida como kiwicha, es una planta que tiene un origen en las tierras altas de Perú y Ecuador, Argentina y Bolivia. En nuestro país se cultiva principalmente en Arequipa, Ancash, Apurímac, Cajamarca, Huancavelica, Cusco y Ayacucho. Los estudios han probado que la kiwicha tiene un alto valor nutricional, por lo que se usa de manera popular tanto en el desayuno como en la preparación de barras nutricionales. La harina se usa para hacer pan, tortillas y bollos; las hojas se usan en sopas y los tallos se usan principalmente como bebidas rehidratantes. Según los expertos, 100 gramos de kiwicha poseen el doble de calcio que la misma cantidad de leche, también contiene leucina, vitamina E, vitamina B y minerales como fósforo, hierro, potasio, zinc.



## Compuestos Bioactivos de la Kiwicha

El contenido fenólico total reportado en las semillas de kiwicha varía principalmente debido a las diferencias en los solventes de extracción empleados, así como a las características genéticas y ambientales. (López et al., 2014) extrajeron compuestos fenólicos con metanol, etanol y hexano por Soxhlet y agitación magnética.

El contenido de fenoles totales de Soxhlet varió de 16 a 25 mg AGE/100 g dw; para los solventes, se obtuvieron valores más bajos con metanol y valores relativamente más altos con hexano y etanol. Los resultados obtenidos fueron opuestos a la capacidad antioxidante. Los valores de TE para 3n extraído con metanol fueron 25-30 mg/100g, y los valores extraídos con etanol y hexano fueron 5 mg TE/100g. Pascko et al. (2008) utilizaron HPLC-DAD para caracterizar exhaustivamente los compuestos fenólicos de la kiwicha y encontraron que el ácido gálico (400-440 mg/kg) era el principal, seguido del ácido p-hidroxibenzoico (8,5-20,7 mg/Kg), ácido vanílico (15,5 mg/kg). mg/kg).

Los ácidos p-cumárico y sirínico se hallaron después de la germinación. Vollmanova et al., (2013) analizaron los polifenoles y la actividad antioxidante en la kiwicha, hubo una variación en el contenido total de polifenoles entre 138-287 mg AGE/100g y la actividad antioxidante fue de 3,26 mmol TE/kg. Venskutonis y kraujalis, (2013) alegan que las semillas blancas no contenían betaína, pero detectaron amaranina ( $1,0 \pm 0,2$  mg/100 g), isoamaranina ( $0,8 \pm 0,2$  mg/100 g) y betaína ( $0,1 \pm 0,2$  mg/100 g) en semillas de amaranto rosa y otros estudios han informado altas

concentraciones de betaína en las hojas de kiwi. (D'Amico & Schoenlenchner, 2017)

#### **2.2.4. Cañihua**

La cañihua ha sido considerada durante mucho tiempo como una variedad de la quinua, la cañihua en 1929 fue catalogada como especie distinta, son plantas herbáceas anuales, difieren en altura entre 20 y 60 cm para la cañihua y 2 m para la quinua, también se encuentran diferencias significativas en las inflorescencias y flores. Son pseudocereales que formaban parte importante de la dieta de los incas. A diferencia de otros cultivos andinos como el frijol, el maíz y la papa, la quinua y el cañihua no se han cultivado en los últimos años a gran escala en otros países. Recientemente, se ha producido un renovado interés por estos cultivos. Este interés se debe, en parte, a su alto contenido en proteínas (14-18%) y a su equilibrada composición en aminoácidos y, en parte, a su tolerancia a una amplia gama de condiciones climáticas desfavorables (Rastrelli et al., 1998). Estos cultivos tienen una notable adaptabilidad a diferentes regiones agroecológicas. Pueden crecer con una humedad relativa de entre el 40% y el 88%, y soportan temperaturas de entre -4°C y 38°C. Es tolerante y resistente a la falta de humedad del suelo, y produce rendimientos aceptables con lluvias de 100 a 200 mm (FAO/OMS, 2011).

Debido a su excelente valor nutricional, la cañihua sirvió como sustituto de las escasas proteínas animales y siguen siendo una de las principales fuentes de proteínas de la región. Contienen todos los aminoácidos esenciales, oligoelementos y vitaminas y no contienen gluten. La importancia de estas proteínas se basa en su calidad, con una composición equilibrada de

aminoácidos esenciales similar a la de la caseína, la proteína de la leche. Tienen un alto contenido en lisina, considerada deficiente en la mayoría de los cereales (Jacobsen et al., 1997; Valencia et al., 2009).

#### **2.2.5. Germinación**

La germinación de las semillas es un proceso natural y deseable para la perpetuación de la especie. Para que se produzca, es imprescindible que haya condiciones favorables de humedad, temperatura y oxígeno, además de preservar la madurez e integridad de las semillas. Según Nyachiro et al. (2002), el rango de temperatura ideal para la germinación del trigo está entre 15 y 30 °C. Si las condiciones ambientales no son favorables, la semilla permanece en quiescencia, que se caracteriza por la reducción de la actividad metabólica. En condiciones adecuadas, se producen una serie de reacciones como la degradación de sustancias de reserva, así como la producción de nuevas células y orgánulos (Buckeridge et al., 2008; Castro; Bradford; Hilhorst, 2008).

La primera etapa de la germinación consiste en la hidratación de la semilla (remojo) de las células del embrión y del endospermo. Esto promueve la liberación de enzimas y la reactivación de orgánulos y macromoléculas, así como la producción de energía a partir de sustancias de reserva. El remojo es influenciado por la composición del grano, y las proteínas y la celulosa son las principales sustancias responsables de la absorción de agua. El proceso promueve cambios en el volumen y la masa de los granos. Cuando alcanza un determinado nivel (variable para cada especie), el grano comienza a germinar, con la ruptura del pericarpio en la región germinal y la aparición de la plúmula. Entonces surge la raíz primaria, y al cabo de unas

horas emerge el primer par de radículas. El embrión se desarrolla, se convierte en una radícula, se establece y luego aparece el primer follaje (Castro; Bradford; Hilhorst, 2008).

Durante las primeras etapas de la germinación, se produce un aumento de la actividad enzimática, principalmente de las  $\alpha$ - y  $\beta$ -amilasas, endo- $\alpha$ -glucanasas, dextrinasas límite, proteasas y lipasas. La actividad hidrolítica es esencial, ya que convierte las sustancias de reserva, principalmente el almidón, en azúcares más pequeños que son sustratos para el proceso respiratorio. Es a través del proceso respiratorio que se garantiza el aporte de energía para la germinación. El aumento de la tasa respiratoria del grano acelera el metabolismo y la hidrólisis del almidón, las proteínas y los lípidos, reduciendo la materia seca (Popinigis, 2015).

La hidrólisis del almidón implica una actividad enzimática. La  $\alpha$ -amilasa actúa en los enlaces 1-4 de las moléculas de amilosa y amilopectina, generando maltosa, glucosa y dextrinas, y la  $\beta$ -amilasa actúa en el extremo no reductor de los oligo y poliglucanos, produciendo maltosa. La acción de la  $\alpha$ -amilasa se interrumpe en los enlaces 1-6. La maltosa puede ser convertida en glucosa por la maltasa y sobre las dextrinas que presentan enlaces 1-6 actúan las dextrinasas, originando maltosacáridos (Bevilaqua; Eichelberger, 2004). La actividad enzimática depende de la variedad de trigo y de la fracción del grano, e incluso puede haber una actividad nula de algunas enzimas según la fracción del grano. La polifenoloxidasas, por ejemplo, presenta una actividad nula en el germen. En la región debajo de la aleurona y cerca del germen, hay una concentración de enzimas sacarogénicas, así como de enzimas dextrinogénicas, cuya actividad está

relacionada con la  $\alpha$ -amilasa (Pomeranz, 2008). A medida que avanza la hidrólisis del almidón, los azúcares totales disminuyen y la concentración de azúcares solubles aumenta (Dronzek et al., 2004).

En la germinación, además de energía, el embrión crece a expensas del suministro de aminoácidos. Se produce la hidrólisis de las proteínas de reserva, generando fracciones nitrogenadas solubles, entre las que se encuentran los aminoácidos libres que luego se interconvierten para la constitución de nuevos tejidos vegetales. Estas alteraciones provocan cambios en las concentraciones de proteínas, nitrógeno soluble y nitrógeno aminoácido libre (Dominguez; Cejudo, 2005; Jones, 2005).

#### **2.2.6. Reología**

La reología se refiere a la ciencia que estudia el comportamiento de la deformación y el flujo de la materia en respuesta a las fuerzas de tensión y/o deformaciones aplicadas (Bourne, 2002). En base al comportamiento del material, estos se clasifican en newtonianos o no newtonianos, en general los alimentos tienen sistemas viscoelásticos no newtonianos (Hadna ev et al., 2011). Se han realizado varias investigaciones para entender la reología de diversos alimentos, además, actualmente muchos procesos en el área de alimentos buscan aplicar los conocimientos adquiridos de esta ciencia para hacer aportes en las áreas de procesamiento, aceptabilidad y manejo de los productos de esta industria (Zaidel et al., 2010). Las técnicas obtenidas mediante el estudio de la reología juegan un papel importante en la interpretación de la influencia que los cambios en los constituyentes o la adición de aditivos pueden causar, por ejemplo, en el comportamiento de las

masas hechas para la fabricación de pan. Actualmente hay varias metodologías para medir las propiedades reológicas (Hadnaev et al., 2011). La industria de la panadería siempre ha tratado de comprender el comportamiento reológico de los panes, las pastas y las galletas que produce, con el fin de mejorar y normalizar la calidad final de los productos. Este hecho ha hecho que se desarrollen muchos dispositivos con este fin (Dobraszczyk & Morgenstern, 2003). Para obtener información sobre las propiedades de mezcla de las harinas se suele utilizar el farinógrafo o mixógrafo. Para medir las propiedades de extensibilidad y resistencia del gluten, disponemos de metodologías tradicionales como la extensografía y la alveografía, y más recientemente de nuevas tecnologías como la de Kieffer. Estas pruebas proporcionan información sobre las propiedades reológicas de las masas durante el proceso de moldeo (Hadnaev et al., 2011)

#### 2.2.6.1. Farinógrafo.

Hay dos factores críticos en la etapa de mezcla que son responsables de causar cambios en la reología de la masa: calidad del trigo y nivel de adición de agua. Más tarde, en la etapa de desarrollo de la masa, tenemos la magnitud del trabajo realizado como responsable de causar estos cambios. Uno de los equipos más utilizados por la industria panadera para determinar estos cambios es el farinógrafo (Faridi & Faubion, 2015). Kohajdova y Karovicova (2007) utilizaron el farinógrafo de Brabender para determinar el nivel de absorción de agua y las propiedades reológicas de la masa con la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de espelta. En un estudio

elaborado por Mashayekh et al. (2008), cuyo objetivo era conocer el efecto que la fortificación con soja causaría en las características reológicas y sensoriales de los panes, se eligieron las técnicas de farinografía y extensografía para la investigación de las propiedades reológicas de las masas resultantes del proceso de fortificación.

El farinógrafo se utiliza para determinar los parámetros que diferencian la calidad de la harina de trigo, indicando la resistencia mecánica de la masa y el tiempo del proceso fermentativo que proporciona ayuda durante la elaboración de los productos. Los análisis en el farinógrafo proporcionan parámetros como:

- Absorción de agua: Es la cantidad necesaria de agua que se añade a la harina, para que adquiera la consistencia estándar necesaria para el amasado (línea de 500 UF  $\pm$ 20).
- Tiempo de desarrollo: Indica el tiempo que tiene el panadero profesional para determinar el porcentaje de absorción de agua de la harina. Ocasionalmente pueden observarse dos picos, el segundo debe ser considerado porque cuando existe, indica que la masa sigue presentando resistencia.
- Estabilidad: La estabilidad proporciona una indicación de la resistencia de la masa al tratamiento mecánico y el tiempo del proceso de fermentación en la elaboración del pan.
- Índice de tolerancia a la mezcla: Este índice proporciona información sobre la mayor o menor tolerancia de la masa a la mezcla (Olivier; Alen, 2012). El análisis se realizó según el

método n° 54-21 de la AACC (AACC, 2000), en un aparato Farinógrafo Brabender.

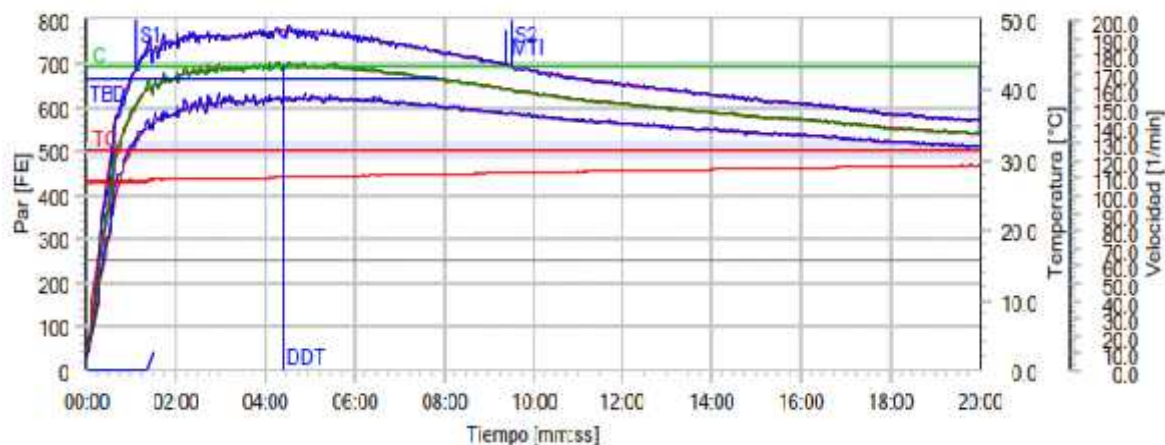


Figura 2: Farinograma Brabender

Fuente: Brabender (2019)

#### 2.2.6.2.Extensógrafo.

Las propiedades físicas de las masas sometidas a esfuerzos mecánicos y en reposo pueden medirse con el extensógrafo, ya que este equipo proporciona datos sobre la extensibilidad y la resistencia al estiramiento de las masas. Fundamentalmente, la prueba consiste en medir la fuerza requerida por un gancho para levantar una pieza de masa cilíndrica hasta el momento que precede a su punto de rotura y los datos se registran en forma de extensograma (Hadna ev et al., 2011).

Según Stampfli et al. (2016), que trabajaron estudiando el efecto de los emulsionantes en las propiedades reológicas de las masas mediante análisis de farinografía y extensografía. Las características



reológicas de resistencia a la extensión y extensibilidad fueron alteradas por la adición de emulsionantes a las masas.

Varios trabajos han utilizado este equipo para evaluar la influencia de diferentes compuestos añadidos a la harina de trigo en la calidad de la pasta elaborada con este cereal (Boj anská et al., 2019; Juki et al., 2019; Skendi et al., 2019)

Las variables de medición que reporta un extensógrafo Brabender en un Extensograma son los siguientes:

- Resistencia a la extensión (BU)
- Energía ( $\text{cm}^2$ .)
- Extensibilidad (mm)
- Ratio (Resistencia 5 cm / extensibilidad)
- Ratio máx. (Resistencia máx. / extensibilidad)

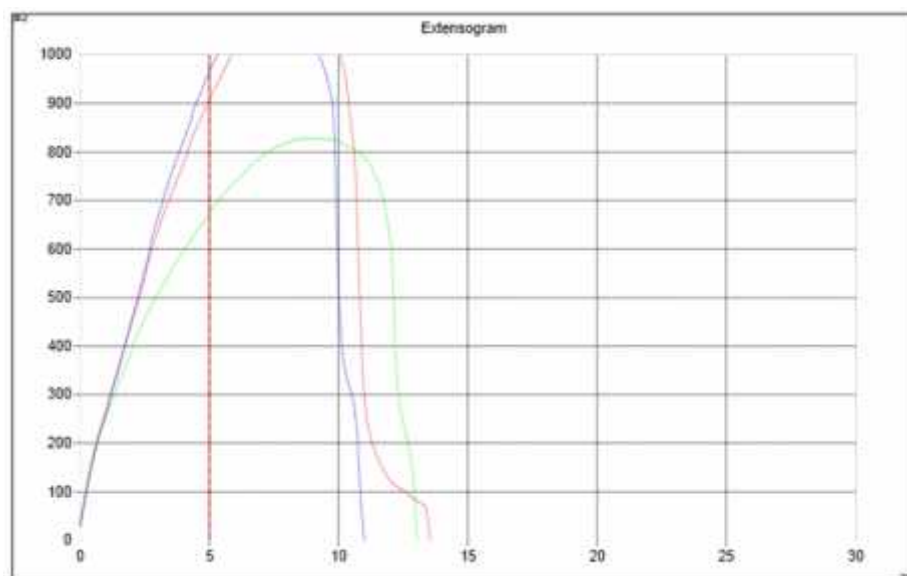


Figura 3: Extensograma Brabender  
Fuente: Brabender (2019)

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

La presente tesis se ejecutó en:

Laboratorio de Análisis y composición de Productos Agroindustriales de la Universidad Nacional del Santa.

Laboratorio Privado Multiservicios Perú Group C&M S.A.C.

#### 3.2. Materiales

##### 3.2.1. Materias Primas

Se dispuso de 20 Kg. Harina de Trigo panadera, adquirida a la molinera Inca. De 20 Kg. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) variedad INIA 415-Pasankalla. 20 kg. Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), variedad Akcallapi procedente de Ancash. 20 Kg. Kiwicha (*Amaranthus caudatus*), variedad INIA 414 Taray

##### 3.2.2. Reactivos

- Agua destilada
- Ácido sulfúrico 98%
- Hexano puro 98%
- Solución de hidróxido de sodio (0.1 N)
- Alcohol etílico 96%
- Ácido Clorhídrico 1N

##### 3.2.3. Equipos

- Tamizadora analítica digital, Marca: Retsch, Modelo: AS 200
- Tamices N° 30, 40, 60, 80, 120, 140, 200, 220.
- Molino Ultracentrífuga, Marca: Retsch, Modelo: ZM 200
- Analizador de Humedad, Marca: Precisa, Modelo: Xm50

- Sistema Extractor de Grasa, Marca: Foss, Mod: Soxtec
- Equipo Digestor de Kjeldahl, Marca: Foss
- Mufla, Marca: Thermolyne
- Balanza Analítica, Marca: Precisa, Mod: Gravimetrics
- Equipo de Aw, Marca: Rotronic, Mod: Hygrolab2
- Balanza De Precisión Electrónica
- Incubadora
- Farinógrafo- AT, Marca: Brabender
- Extensógrafo – E, Marca: Brabender

#### 3.2.4. Materiales de Vidrios

- Probetas de vidrio volumétrica de (50,100 y 500 ml)
- Bagueta de vidrio 200 mm x 6 mm
- Vasos de precipitados (50, 100, 250 y 500 ml.)
- Matrices Erlenmeyer (250 y 500 ml)
- Pipetas volumétricas (1,5 y 10 ml)
- Placas Petri 51 mm x 76 mm
- Portaobjetos 15 mm
- Micropipetas (0-100ul, 100-1000ul, 1000-5000ul)
- Puntas para micropipetas
- Viales
- Fiolas de 10, 25, 100 ml

#### 3.2.5. Otros Materiales

- Bolsas de alta densidad de polipropileno de 3 Kg.
- Termómetro -10/150°C
- Crisoles Gooch de porcelana 40 ml

- Pliegos de Papel filtro Whatman N°41 (125 mm)
- Rollos de Papel Aluminio 45.7 cm x 7.6 cm

### 3.3. Procedimiento Experimental

A continuación, se presenta los procedimientos experimentales del proceso de germinación en granos andinos como la quinoa (*Chenopodium quinoa*), la cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y la Kiwicha (*Amaranthus caudatus*).

#### 3.3.1. Procedimiento de los granos de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*

##### a. Recepción de la materia prima

Se recepcionó los granos de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) variedad INIA 415-Pasankalla, Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), variedad Akcallapi procedente de Ancash, Kiwicha (*Amaranthus caudatus*), variedad INIA 414 Taray

##### b. Selección

Se clasificó en una mesa desinfectada, visual y manualmente se procede a clasificar retirando los granos deteriorados, rotos, malogrados, picados, etc., se retira la presencia de elementos ajenos a los granos estudiados.

##### c. Pesado de la materia prima

Se utilizó 5 kg. de cada tipo de grano para su germinación. Para pesar los granos se usará una balanza digital.

##### d. Desinfección

Se usó como agente desinfectante para la desinfección de los granos lejía (hipoclorito de sodio) al 0.1% con 1000 ml de agua destilada para cada tipo de grano, se sumergió los granos por 30 min.

**e. Maceración o remojo**

Se utilizó agua destilada a temperatura ambiente (25-30°C) en una relación de 1:5, el tiempo de maceración se estableció entre 12 a 24 horas con aireación por cada 2 horas para evitar así la presencia de CO<sub>2</sub> y Alcohol. Así como evitar la presencia de microorganismos.

**f. Germinación**

La germinación de los granos de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) variedad INIA 415-Pasankalla, Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), variedad Akcallapi procedente de Ancash, Kiwicha (*Amaranthus caudatus*), variedad INIA 414 Taray se realizó de acuerdo con los tratamientos.

**g. Secado**

Los granos germinados se secaron en un secador de bandejas a una temperatura de 50 °C y una velocidad de 0.6 m/s, hasta alcanzar una humedad entre 10 – 13 %. (Cornejo,2015)

**h. Molienda**

Se utilizó un molino ultra centrifugo para la obtención de la harina germinada de los granos de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) variedad INIA 415-Pasankalla, Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), variedad Akcallapi procedente de Ancash, Kiwicha (*Amaranthus caudatus*), variedad INIA 414 Taray

**i. Almacenamiento**

Se almacenó en bolsas de polietileno al vacío y con sellado al vacío, donde se conservaron las harinas germinadas obtenidas para luego ser conservadas en un refrigerador

**3.1.2. Procedimiento para la obtención de masas panarias con sustitución parcial de Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), Kiwicha (*Amaranthus caudatus*).**

Las sustituciones parciales o mezclas de harinas germinadas se establecieron en base seca de acuerdo a las formulaciones establecido en nuestro diseño experimental.

**3.4. Diagrama de flujo experimental**

**3.4.4. Diagrama de flujo obtención de harina de granos germinados**

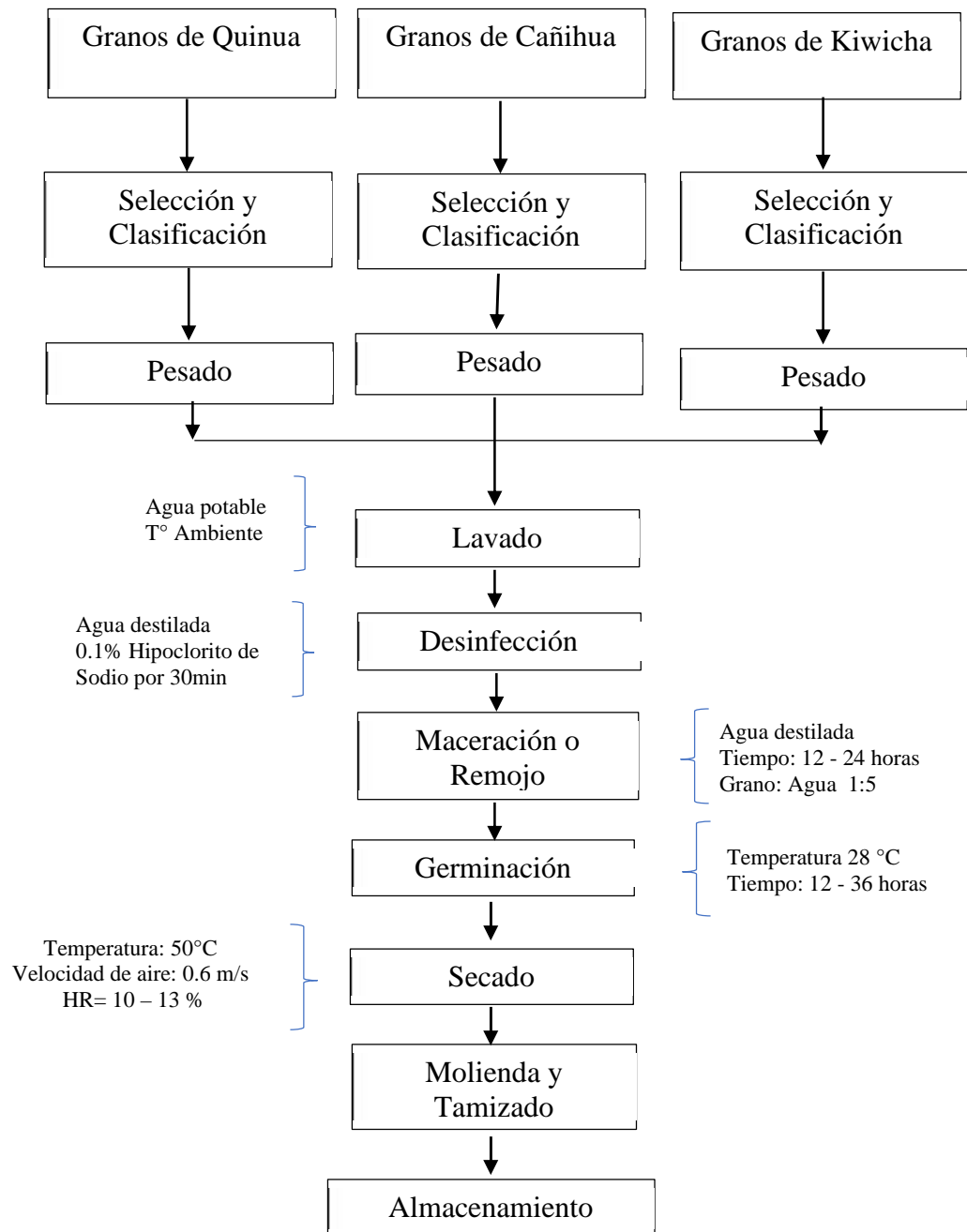


Figura 4. Diagrama de flujo germinación de los granos de Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), Kiwicha (*Amaranthus caudatus*).

### **3.5. Métodos de Análisis**

#### **3.5.1. Análisis de composición proximal**

Se llevará a cabo el análisis composicional proximal por triplicado para las materias primas: harina de trigo germinado y harina de arroz germinado, y el producto de pan de molde obtenido. Tomará lugar en la Facultad Académica de Ingeniería Agroindustrial de la UNS y el análisis a ejecutar es:

Las mediciones de humedad, proteína y cenizas de harina serán realizadas por los métodos N°44-15A de AACC (1995), Nog20.87 de la AOAC (1980) y 920.03 de la AOAC (1980), respectivamente. El contenido de grasa será establecido de acuerdo con el método AOAC 920.39C (1997). Los carbohidratos totales se determinarán por la diferencia (100% - otros ingredientes).

##### **a) Humedad**

Para poder establecer la humedad, se llevará a cabo el secado de las muestras en una estufa a 105°C por 4 horas, hasta alcanzar un peso que se mantenga. Según el método AOAC 925.09, se informará como porcentaje de humedad a la pérdida de peso.

##### **b) Proteína**

Se empleará el método Kjeldahl, para poder determinar el contenido de proteína total. Se utilizará 6,25 como factor de conversión, tal cual se indica en el método AOAC 992.15.

##### **c) Ceniza**

Para poder establecer la cantidad de cenizas, se ejecutará la incineración de las muestras en la mufla a 550 °C. Posteriormente,



se determinará la diferencia de peso y se obtendrá el porcentaje de ceniza como se indica en el método AOAC 923.03.

**d) Grasas**

Mediante el método Soxhlet con éter de petróleo o benceno empleando el equipo de extractor de grasas, como se menciona en el método AOAC 922.06, se podrá determinar el contenido de lípidos.

**e) Carbohidratos**

La Determinación de Carbohidratos totales se realizará por diferencia del 100% de los componentes anteriores (FAO,2002).

Utilizando la fórmula:

$$\text{Carbohidratos Totales (\%)} = 100 - (\%P + \%G + \%H + \%C + \%F)$$

**f) Granulometría**

Mediante el método AOAC 965-22, se obtendrá la Granulometría de las harinas.

**g) Fibra Total**

Se obtendrá mediante los métodos enzimático-gravimétricos AOAC 985.29 para determinar FT (Fibra Total), FS (Fibra Soluble) y FI (Fibra Insoluble). Con las muestras secas y desengrasadas, se gelatinizan térmicamente con  $\alpha$ -amilasa, seguida de hidrólisis enzimática con proteasa y amiloglucosidasa para eliminar el almidón y las proteínas.

Las fibras solubles se precipitarán con etanol y el residuo final se filtrará, lavará, secará y pesará. Para calcular el porcentaje se utilizará la siguiente fórmula:

$$FDT \% = \frac{P \cdot r_i - P \cdot m (P + c)}{P \cdot m} \times 100$$

$$FDS \% = \frac{P \cdot r_i \cdot s_i - P \cdot m (P + c)}{P \cdot m} \times 100$$

$$FDI \% = \frac{P \cdot r \cdot i_i - P \cdot m (P + c)}{P \cdot m} \times 100$$

#### h) Polifenoles totales

Polifenoles totales por Folin Ciocalteus

#### 3.5.2. Determinación de las características reológicas de las Mezclas de harinas

Se someterán a análisis farinográficos y extensográficos., a las diversas formulaciones (mezclas de harinas).

##### 3.5.2.1. Análisis Farinográfico:

para poder ejecutar esta actividad, emplearemos el método certificado por la firma BRABENDER. El cual consiste en determinar:

- Absorción de agua.
- Tiempo de desarrollo de la masa.
- Estabilidad.
- Grado de reblandecimiento.

##### 3.5.3.2. Análisis Extensográfico:

para poder llevar a cabo esta actividad, desarrollaremos el método certificado por la firma BRABENDER. El cual consiste en determinar:

- Resistencia a la extensión (5 cm)
- Resistencia a la extensión (máx.)

- Extensibilidad
- Área bajo la curva (energía)
- Ratio (Resistencia 5 cm / extensibilidad)
- Ratio máx. (Resistencia máx. / extensibilidad)

### 3.6. Diseño de la Investigación

La investigación estableció el efecto de germinación de granos de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*, y su mejora en la composición nutricional y propiedades reológicas de masas. Se establecerá las proporciones para las mezclas de las harinas germinadas de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus* y la harina de trigo con la finalidad de obtener una masa panaria de aceptable calidad.

El estudio consta de las siguientes etapas:

#### **I etapa: Germinación**

Se aplicó un diseño compuesto central rotatable, siendo las variables independientes el tiempo de remojo y el tiempo de germinación y sus variables respuestas, la composición química proximal, fibra, gluten, longitud de radícula y polifenoles totales, para el cual se utilizará el Diseño Factorial  $2^k$  bajo el planeamiento de un Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR), de modelo de  $2^k + 2xk + pc$ , con un total de  $k=2$ , con  $\alpha = 2^{k/2} = 1.4142$  y  $2^2 + 2 \times 2 + 3 = 11$  tratamientos, conforme se muestra en las tablas 1 y 2.

Tabla 1  
Variables independientes en el experimento

Nº	Variables del proceso	Niveles					
		Unid.	-1.41	-1	0	1	+1.41(+ )
X1	Tiempo de remojo	(h)	12	14	18	22	24
X2	Tiempo de germinación	(h)	12	16	24	32	36

Tabla 2.

Disposición de los ensayos según variables codificadas y reales

Tratamientos	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub> (h)	X <sub>4</sub> (h)
1	-1	-1	14	16
2	1	-1	22	16
3	-1	1	14	32
4	1	1	22	32
5	-1.41	0	12	24
6	1.41	0	24	24
7	0	-1.41	18	12
8	0	1.41	18	36
9	0	0	18	24
10	0	0	18	24
11	0	0	18	24

▪ **Análisis estadístico y optimización de variables**

El procedimiento de análisis del proceso y validación de resultados experimentales para la determinación de los valores óptimos de tiempo de remojo (X<sub>1</sub>) y tiempo de germinación (X<sub>2</sub>) que optimicen la composición química proximal, fibra, gluten, longitud de radícula y polifenoles totales (Y), según diseño experimental 2<sup>K</sup>, se realizará conforme a las etapas mostradas en la figura

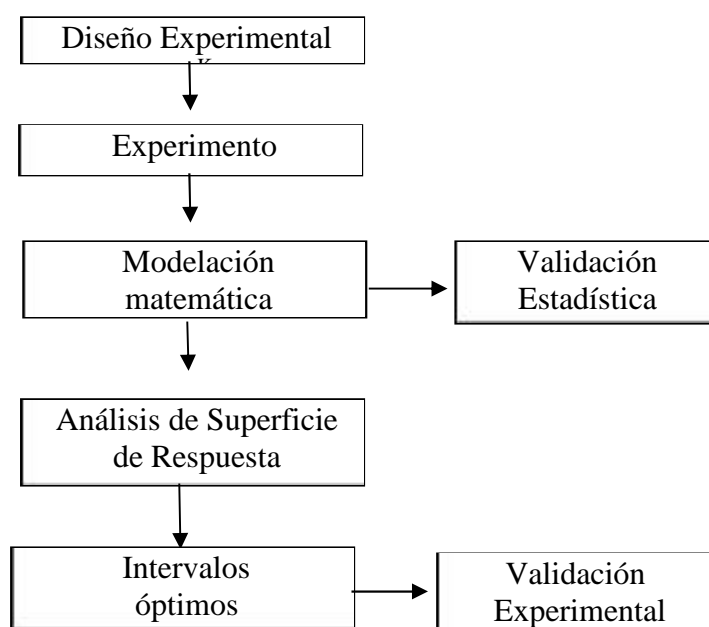


Figura 5. Procedimiento de optimización de variables

▪ **Análisis estadístico**

Mediante la prueba F con 95% de confianza, se determinó la estimación de efectos y los coeficientes de las variables del proceso (temperatura y velocidad de aire) que produzcan significancia sobre la variable respuesta (concentración de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante), según la tabla 3.

Tabla 3

Estimación de efectos y coeficientes de las variables del proceso.

Fuente de variación	Efectos	Coeficientes	T	P	SIGN
Tiempo de remojo (X1)					
Tiempo de germinación (X2)					
Int. X1X2					
Error experimental					
Total					

Con los coeficientes determinados se aplicó un análisis de varianza a fin de evaluar la significancia estadística de los modelos matemáticos que maximicen la variable independiente en función de las variables independientes, conforme se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Análisis de varianza para la variable respuesta (Y).

Fuente de variación	GL	SC	CM	Ft	P
Regresión					
Lineal					
Cuadrático					
Interacción					
Valor residual					
Total					

**II Etapa: formulaciones de las harinas**

Según el tipo de estudio, el diseño de investigación es un diseño de mezclas d-óptimo, considerándose en esta etapa la se considera al porcentaje de harina de granos germinados como variable independiente, y su variable de respuesta

como el análisis reológico, proximales, polifenoles totales son consideradas variables dependientes, para obtener las proporciones de las harinas de granos germinados se utilizará el software Desing Expert versión 11.0

Para desarrollar el diseño propuesto se consideró a la harina de trigo como una proporción constante del 80%.

Tabla 5  
Proporciones de harina de granos germinados

Componentes	Bajo	Alto	Unidad
Harina de trigo comercial	0	80	
Harina de grano germinado de Quinoa	8	10	%
Harina grano germinado de Kiwicha	5	7	%
Harina grano germinado de Cañihua	3	5	%

Tabla 6.

Número de formulaciones según la proporción de las distintas harinas.

Tratamientos	Harina grano germinado de Quinoa (%)	Harina grano germinada de Kiwicha (%)	Harina grano germinada de Cañihua (%)
1	10.0	7.0	3.0
2	8.0	7.0	5.0
3	9.1	5.9	5.0
4	10.0	7.0	3.0
5	9.1	7.0	3.9
6	9.6	5.6	4.8
7	8.4	7.0	4.6
8	9.4	6.3	4.3
9	10.0	6.4	3.6
10	10.0	5.8	4.2
11	10.0	5.0	5.0
12	10.0	5.0	5.0
13	8.0	7.0	5.0
14	8.7	6.7	4.6

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Parámetros óptimos de temperatura y tiempo de germinación de los granos de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*, en la composición nutricional y propiedades reológicas de masas obtenidas de harina de granos germinados

###### 4.1.1. Germinación de granos de *Chenopodium quinoa*

Los resultados presentados en la Tabla 7 confirman que el grano de *Chenopodium quinoa* analizado exhibe una composición nutricional similar a la descrita en la literatura científica. Primero, la humedad promedio fue de  $10,97 \pm 0,58$  % (b.h.), valor que se ubica dentro del intervalo recomendado (8–13 %) para almacenar granos secos sin riesgo de desarrollo microbiano (Vega-Gálvez et al., 2010). Esta condición favorece la estabilidad durante el acopio y el transporte, aspectos clave en las operaciones agroindustriales.

Tabla 7.

Composición proximal de *Chenopodium quinoa* sin germinar

Componente	Valor
Humedad (% b.h.)	$10.97 \pm 0.58$
Proteína (% b.s.)	$15.6 \pm 0.97$
Grasa (% b.s.)	$5.63 \pm 0.4$
Cenizas (% b.s.)	$2.61 \pm 0.14$
Fibra cruda (% b.s.)	$3.01 \pm 0.25$
Carbohidratos <i>por diferencia</i> (% b.s.)	$73.16 \pm 1.07$

b.h. = base húmeda, b.s. = base seca.

En cuanto a la fracción proteica, se obtuvo  $15,6 \pm 0,97$  % (b.s.), cifra que coincide con el rango de 13,8–16,5 % reportado para variedades comerciales de la sierra sur del Perú (González et al., 2022). Este contenido, superior al de cereales tradicionales, respalda el uso de la quinua como ingrediente fortificante en mezclas libres de gluten. Además, el contenido de grasa fue de  $5,63 \pm 0,40$  % (b.s.), alineándose con los valores de 4–8 % informados por Alvarez-Jubete, Arendt y Gallagher

(2010). Dicha fracción lipídica destaca por su proporción de ácidos grasos insaturados, principalmente linoleico y oleico, que pueden contribuir a la salud cardiovascular del consumidor.

El contenido mineral, expresado como cenizas, alcanzó  $2,61 \pm 0,14$  % (b.s.), resultado consistente con los 2–3,6 % señalados por Vega-Gálvez et al. (2010). Este nivel sugiere una buena disponibilidad de micronutrientes como calcio y hierro, importantes en dietas con deficiencias de estos elementos. Por su parte, la fibra cruda fue de  $3,01 \pm 0,25$  % (b.s.), valor que guarda relación con el intervalo de 2–4 % documentado por Tang et al. (2015). La presencia de esta fibra puede mejorar la saciedad y ayudar a regular la respuesta glicémica.

Finalmente, el cálculo de carbohidratos por diferencia arrojó  $73,16 \pm 1,07$  % (b.s.). Aunque este valor es ligeramente superior al rango de 54–64 % citado por algunos autores, se mantiene plausible si se considera que la fibra y el almidón representan las fracciones mayoritarias del grano. Diferencias de esta magnitud pueden atribuirse a variaciones varietales, altitud de cultivo y condiciones de secado.

En síntesis, la quinua evaluada presenta un perfil nutricional equilibrado, con alto contenido de proteínas de buena calidad, lípidos saludables y aporte mineral apreciable. Estos resultados respaldan su incorporación en productos extruidos, bebidas instantáneas y mezclas para panificación dirigidas a poblaciones que buscan alimentos nutritivos y funcionales.

En la Tabla 8 se presentan los resultados del contenido proximal de quinua germinada bajo distintos tiempos de remojo y germinación. Se observa que **el tiempo de germinación influye directamente en el aumento de humedad, proteína, fibra total y polifenoles**, mientras que el contenido de cenizas varía muy poco. Por ejemplo, al comparar tratamientos con 16 y 32 horas de germinación, la humedad se duplicó y la proteína incrementó en más de 3 puntos porcentuales. Además, los polifenoles casi se triplicaron, alcanzando hasta **119,3 mg GAE/100 g** en el tratamiento de mayor duración. Estos resultados coinciden con investigaciones previas que explican que la germinación prolongada favorece la actividad enzimática, la síntesis de compuestos bioactivos y la movilización de



reservas proteicas (Chandra et al., 2019; Tang et al., 2015). En cambio, el tiempo de remojo no tuvo un efecto marcado, ya que variaciones entre 12 y 24 horas no mostraron diferencias importantes en los parámetros evaluados. Por tanto, para mejorar el perfil nutricional de la quinua germinada, **se recomienda priorizar la optimización del tiempo de germinación por encima del remojo**, logrando así un producto funcional con mayor valor nutricional y antioxidante.

Tabla 8

Resultados de la composición proximal del proceso de germinación de *Chenopodium quinoa* germinada para los diferentes tratamientos según diseño compuesto central rotatable

Tiempo de remojo (h)	Tiempo de germinación (h)	Humedad (%)	Proteína (%)	Cenizas (%)	Fibra Total (%)	Polifenoles Totales (mg GAE/100g)
14	16	25	12.74	2.18	5.6	42.6
14	32	55.24	16.3	2.39	7.3	95.8
22	16	25	12.72	2.2	5.62	58.7
22	32	64.6	16.21	2.39	7.19	119
12.34	24	31.82	14.46	2.3	6.36	66.9
23.66	24	43.22	14.34	2.29	6.48	92.6
18	12.69	25	12	2.18	5.3	36.9
18	35.31	68.87	16.93	2.45	7.53	119.3
18	24	38.08	14.34	2.3	6.45	81.9
18	24	37.88	14.48	2.28	6.46	80.2
18	24	37.6	14.38	2.32	6.44	79.5

En la Tabla 9 se resume el ANOVA que explica cómo los tiempos de remojo y de germinación modifican la humedad de la quinua germinada. Se observa, en primer lugar, que el **tiempo de germinación (factor B)** es el componente más influyente ( $F = 806,13$ ;  $p < 0,0001$ ). Este resultado era previsible porque, a medida que la semilla respira y sintetiza nuevas enzimas, absorbe más agua y, por ende, la humedad final se eleva con rapidez (Reguera et al., 2012).

Tabla 9

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Humedad (%) de *Chenopodium quinoa* germinada

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón -F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo de remojo (h)	81.1787	1	81.1787	30.10	0.0027
B: Tiempo de germinación (h)	2174.13	1	2174.13	806.13	0.0000
AA	0.0675558	1	0.0675558	0.03	0.8804
AB	21.9024	1	21.9024	8.12	0.0358
BB	119.418	1	119.418	44.28	0.0012
Error total	13.485	5	2.69701		
Total (corr.)	2423.34	10			

R-cuadrada = 99.4435 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.8871 por ciento

Error estándar del est. = 1.64226

Error absoluto medio = 0.866542

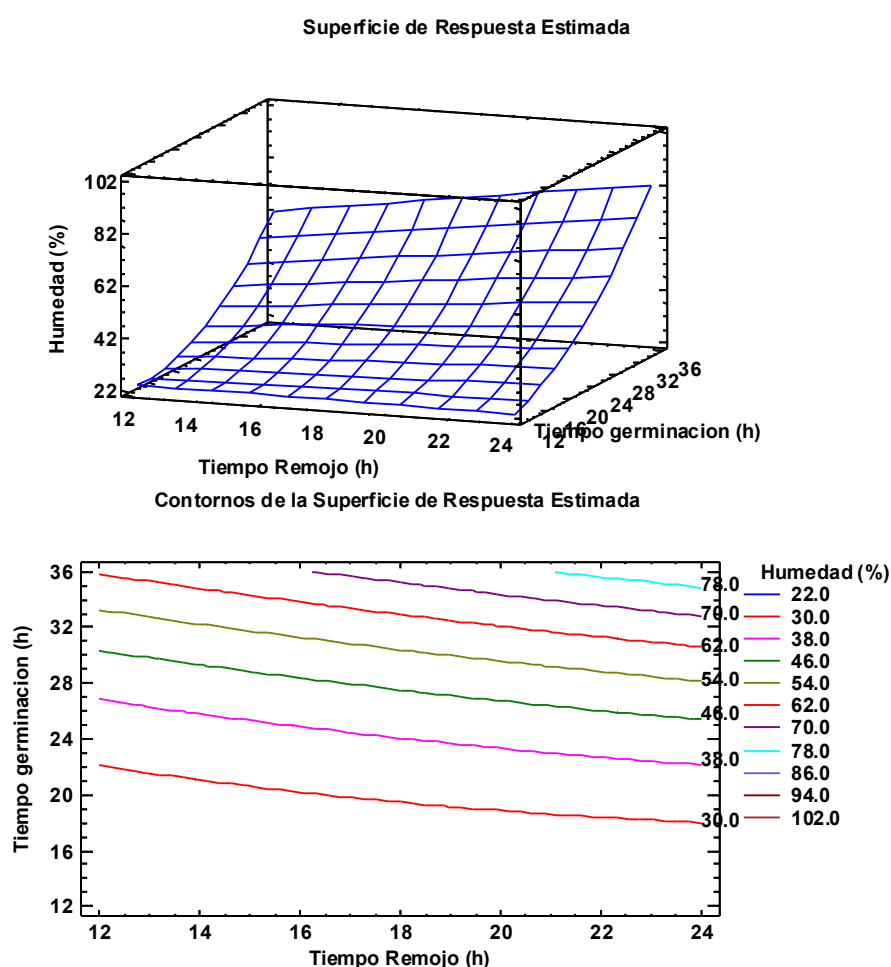
El **tiempo de remojo (factor A)** también resulta significativo ( $F = 30,10$ ;  $p = 0,0027$ ). Un remojo prolongado facilita que el embrión active sus rutas metabólicas y mejore la imbibición, lo que coincide con lo señalado por Quiroga Torres et al. (2021), quienes reportaron incrementos de 8 % a 12 % de humedad cuando el remojo superó las 14 h.

Al analizar los términos de segundo orden, se advierte que el efecto cuadrático del remojo (AA) no es significativo ( $p = 0,88$ ), lo que indica que, dentro del rango evaluado, el incremento de agua absorbida depende casi linealmente del tiempo de remojo. En cambio, el efecto cuadrático del tiempo de germinación (BB) sí es significativo ( $F = 44,28$ ;  $p = 0,0012$ ). Esto sugiere la existencia de un punto donde la tasa de ganancia de humedad llega a su máximo y, luego, se vuelve menos pronunciada, situación que suele ocurrir después de las 32 h, cuando el embrión ya ha completado la fase de imbibición rápida (Silva-Trujillo et al., 2020).

El término de interacción AB también es relevante ( $F = 8,12$ ;  $p = 0,0358$ ). Esto significa que los efectos de remojo y germinación no actúan de forma completamente independiente; un remojo adecuado potencia la capacidad del grano para absorber agua durante la germinación. Este comportamiento

concuenda con lo descrito por Vega-Gálvez et al. (2010), quienes indicaron que las capas externas de la semilla se ablandan durante el remojo, facilitando un flujo capilar más eficiente en la fase germinativa.

La Figura 6 muestra que el contenido de humedad de la quinua germinada aumenta de forma sostenida a medida que se prolonga el tiempo de germinación. La superficie 3D revela una pendiente marcada en esa dirección, lo cual confirma el resultado del ANOVA: la germinación es el factor dominante. Por el contrario, el efecto del remojo es más suave; la inclinación de la superficie en ese eje es menor y, dentro del rango de 12 a 24 h, su aporte se mantiene casi lineal. Las curvas de contorno refuerzan esta idea: son casi horizontales, por lo que pequeñas variaciones en germinación provocan grandes cambios en la humedad, mientras que el impacto del remojo es moderado. Así, para obtener aproximadamente 62 % de humedad basta con germinar unas 28 h, sin importar si el remojo fue



de 14 o 22 h. Si se necesita una hidratación intermedia cercana al 46 %, se pueden usar 24 h de germinación y un remojo de 14 a 16 h.

Figura 6. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Chenopodium quinoa* en el contenido de humedad

Estos hallazgos son relevantes para la industria porque un nivel alto de humedad favorece la plasticidad del grano durante operaciones como la extrusión o el laminado. Reguera et al. (2012) explican que, después de 30 h de germinación, las enzimas activadas degradan parcialmente el almidón y facilitan la absorción de agua, lo que reduce la fuerza necesaria para conformar la masa. Además, humedades superiores al 60 % disminuyen la dureza del endospermo, generando una textura más blanda en los productos expandidos, tal como lo reporta Vega-Gálvez et al. (2010). En consecuencia, si se busca la máxima humedad para mejorar la plasticidad, conviene trabajar con germinaciones de 32 a 36 h y remojos de al menos 18 h. En cambio, cuando se desea limitar el contenido de agua para alargar la vida útil, resulta suficiente reducir la germinación a unas 24 h y mantener el remojo cercano a las 14 h.

En la tabla 10, se muestra el análisis de varianza evidenció que el tiempo de germinación fue el único factor decisivo para el aumento de proteína en la quinua germinada ( $F = 6551,9$ ;  $p < 0,0001$ ). Ni el tiempo de remojo ni los términos cuadráticos o la interacción resultaron significativos. Esto confirma que la síntesis de nuevas enzimas y la movilización de reservas nitrogenadas se intensifican sobre todo durante las últimas horas de germinación, fenómeno descrito por Chandra, Singh y Kumari (2019). Así, cada hora adicional de germinación favorece la producción de aminoácidos libres y proteínas solubles, mientras que prolongar el remojo más allá de las 14 h no aporta mejoras estadísticas. En términos prácticos, germinar entre 28 y 32 h incrementa la proteína hasta un 8 % sobre el grano crudo, tal como reportaron Vilcacundo y Hernández-Ledesma (2017). Este nivel mejora el valor biológico y abre la posibilidad de formular snacks o bebidas proteicas sin recurrir a aditivos animales.

Tabla 10

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Proteína (%) de *Chenopodium quinoa* germinada

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	0.00978056	1	0.00978056	2.61	0.1673
B: Tiempo germinación (h)	24.5774	1	24.5774	6551.90	0.0000
AA	0.00126609	1	0.00126609	0.34	0.5865
AB	0.001225	1	0.001225	0.33	0.5924
BB	0.0127451	1	0.0127451	3.40	0.1246
Error total	0.0187559	5	0.00375118		
Total (corr.)	24.6199	10			

R-cuadrada = 99.9238 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.8476 por ciento

Error estándar del est. = 0.0612469

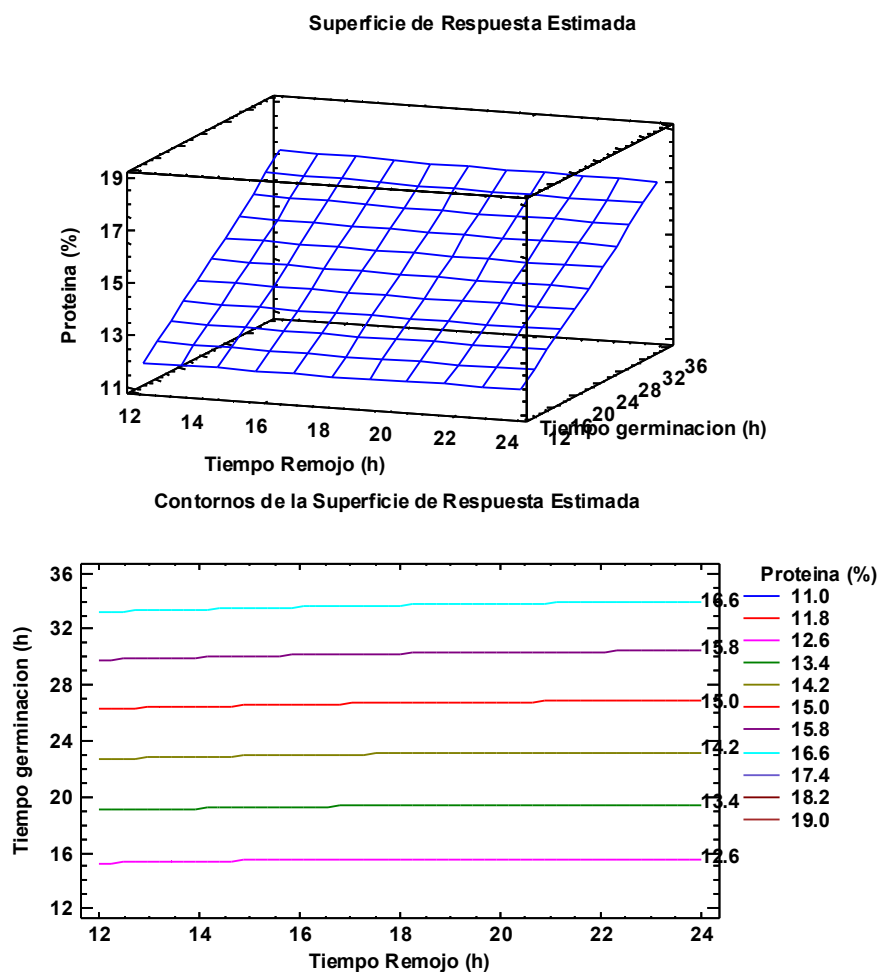
Error absoluto medio = 0.0363592

Estadístico Durbin-Watson = 1.95858 (P=0.4486)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.00547026

La Figura 7 confirma que la proteína de la quinua germinada responde casi exclusivamente al número de horas de germinación. En la superficie de respuesta se aprecia una pendiente pronunciada a lo largo del eje de germinación, mientras que el plano permanece prácticamente plano en la dirección del remojo; esto significa que alargar el remojo de 12 a 24 h apenas altera el contenido proteico. El gráfico de contorno refuerza la idea: las líneas de igual proteína son casi horizontales, de modo que cada banda de color se desplaza verticalmente cuando la germinación pasa de 16 a 36 h. Así, la proteína sube de unos 12 % a casi 19 % (b.s.) cuando la germinación se extiende hacia el extremo superior del rango estudiado. Este comportamiento concuerda con lo descrito por Chandra, Singh y Kumari (2019), quienes observaron que la síntesis de proteínas solubles se acelera después de 24 h de germinación; asimismo, Vilcacundo y

Hernández-Ledesma (2017) reportaron incrementos de hasta 15 % en la fracción proteica tras 30 h. En contraste, Reguera et al. (2012) señalaron



que el remojo prolongado no aporta nitrógeno adicional, por lo que su efecto sobre la proteína resulta marginal. En conjunto, estos datos sugieren que, para mejorar el valor proteico de la harina germinada sin incrementar el uso de agua ni el tiempo total de proceso, conviene concentrar el esfuerzo en controlar con precisión la fase de germinación más que alargar innecesariamente el remojo inicial.

Figura 7. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Chenopodium quinoa* en el contenido de Proteína

El análisis de varianza presentado en la Tabla 11 demuestra que el contenido de cenizas en *Chenopodium quinoa* germinada se ve significativamente afectado solo por el **tiempo de germinación**, con un

valor-p de 0.0000, lo que indica una influencia estadísticamente significativa al 95 % de confianza. En contraste, el tiempo de remojo y los términos cuadráticos e interactivos no mostraron significancia ( $p > 0.05$ ), lo cual sugiere que estos factores no contribuyen de manera importante en la variación del contenido mineral del grano durante el proceso. El modelo ajustado presentó un coeficiente de determinación elevado ( $R^2 = 98.17\%$ ), lo cual indica un buen ajuste de los datos experimentales a la superficie estimada.

Tabla 11

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de cenizas (%) de *Chenopodium quinoa* germinada

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	0.00000427543	1	0.00000427543	0.01	0.9077
B: Tiempo germinación (h)	0.0764093	1	0.0764093	265.87	0.0000
AA	0.000220308	1	0.000220308	0.77	0.4213
AB	0.0001	1	0.0001	0.35	0.5809
BB	0.0000792513	1	0.0000792513	0.28	0.6219
Error total	0.00143694	5	0.000287389		
Total (corr.)	0.0783636	10			

R-cuadrada = 98.1663 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96.3326 por ciento

Error estándar del est. = 0.0169525

Error absoluto medio = 0.00909453

Estadístico Durbin-Watson = 1.78004 (P=0.3395)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.0977137

Este comportamiento puede explicarse porque durante la germinación, la hidrólisis de compuestos orgánicos y la movilización de nutrientes aumentan la concentración de cenizas, al liberar minerales como fósforo, magnesio y potasio (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017). Por su parte, Tang et al. (2015) señalan que estos minerales se vuelven más biodisponibles conforme la germinación avanza, sin requerir tiempos excesivos de remojo. Esto concuerda con los datos obtenidos, donde el

incremento en cenizas fue evidente conforme el proceso germinativo se extendió hasta 32 o más horas.

En la Figura 7 se observa el comportamiento del contenido de cenizas (%) en función del tiempo de remojo y el tiempo de germinación. La gráfica de superficie muestra que, a medida que se incrementa el tiempo de germinación, el porcentaje de cenizas tiende a aumentar de forma gradual. Esto indica que la germinación promueve una mayor concentración de minerales en la quinoa. Por otro lado, el tiempo de remojo no parece tener un efecto significativo, ya que la variación en el contenido de cenizas en ese eje es mínima.

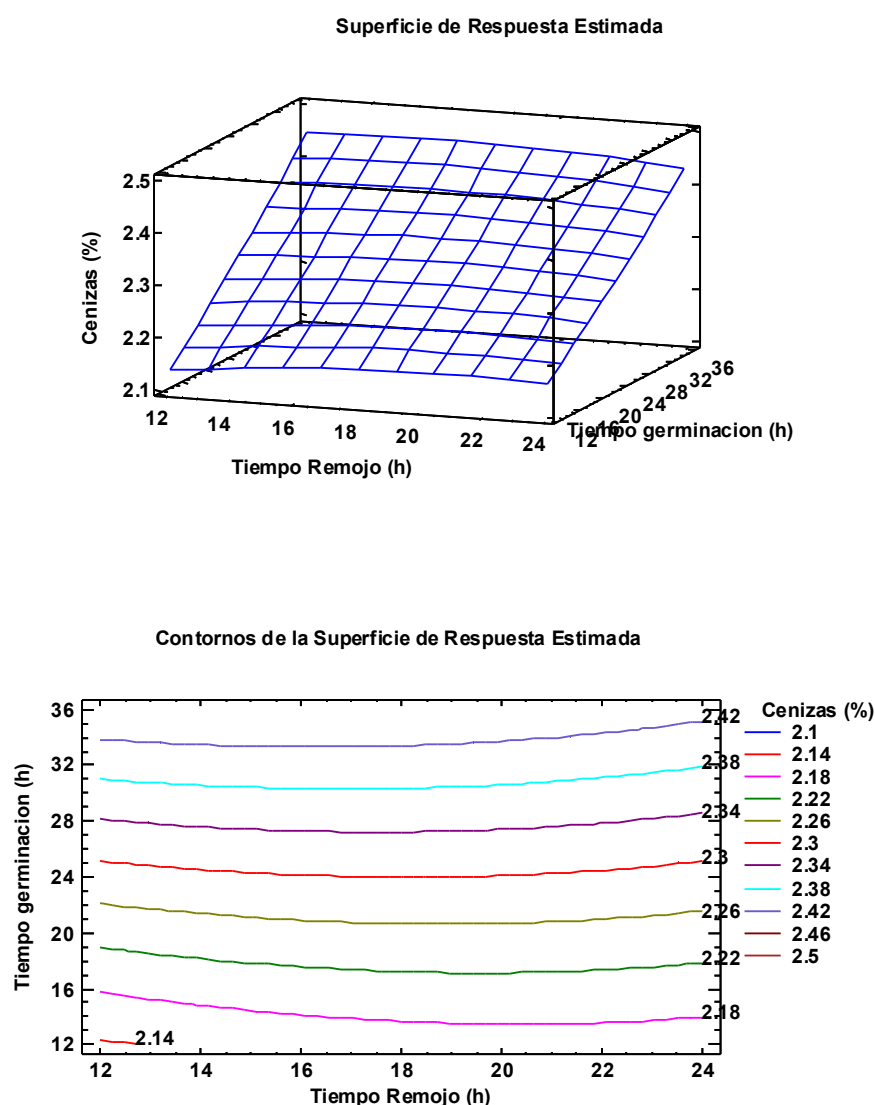


Figura 8. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Chenopodium quinoa* en el contenido de cenizas.



Este comportamiento se confirma también en la gráfica de contorno, donde las líneas se distribuyen de forma casi paralela respecto al eje del tiempo de remojo, mientras que se concentran y elevan en dirección al aumento del tiempo de germinación. Esto sugiere que el principal factor que determina el contenido de cenizas es el tiempo de germinación.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Tang et al. (2015), quienes señalaron que la germinación activa enzimas hidrolíticas que movilizan nutrientes como fósforo, calcio, hierro y zinc, lo cual se refleja en un aumento del contenido mineral del grano. Por tanto, se puede afirmar que, bajo las condiciones del presente estudio, un mayor tiempo de germinación mejora el contenido de cenizas en la quinua germinada, lo cual representa una ventaja nutricional importante para el desarrollo de productos funcionales a base de este pseudocereal andino.

Los resultados del análisis de varianza presentados en la Tabla 12 muestran el efecto del proceso de germinación sobre el contenido de fibra total en *Chenopodium quinoa* germinada. Se observa que el factor tiempo de germinación tuvo un efecto altamente significativo ( $p = 0.0000$ ), mientras que el tiempo de remojo y las interacciones cuadráticas y lineales no mostraron significancia estadística ( $p > 0.05$ ). El valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue de 99.79 %, lo que indica que el modelo explica casi la totalidad de la variabilidad en los datos. Además, el  $R^2$  ajustado fue de 99.59 %, lo cual refuerza la confiabilidad del modelo propuesto.

Este resultado evidencia que el tiempo de germinación tiene un impacto directo y positivo en el contenido de fibra total. Este comportamiento se puede atribuir a la activación de enzimas endógenas durante el proceso de germinación, especialmente las hidrolasas, que modifican la estructura de las paredes celulares y liberan fracciones de fibra dietética (Khazaei et al., 2021). Además, diversos estudios han demostrado que la germinación promueve la síntesis de polisacáridos no almidonosos, los cuales contribuyen al aumento del contenido de fibra (Rao & Muralikrishna, 2011).

Tabla 12

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Fibra Total (%) de *Chenopodium quinoa* germinada

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	0.000795562	1	0.000795562	0.38	0.5650
B: Tiempo germinación (h)	5.15801	1	5.15801	2458.63	0.0000
AA	0.00088255	1	0.00088255	0.42	0.5452
AB	0.004225	1	0.004225	2.01	0.2151
BB	0.00127077	1	0.00127077	0.61	0.4716
Error total	0.0104896	5	0.00209792		
Total (corr.)	5.1752	10			

R-cuadrada = 99.7973 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.5946 por ciento

Error estándar del est. = 0.0458031

Error absoluto medio = 0.0256745

Estadístico Durbin-Watson = 2.26507 (P=0.6403)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.16266

En la Figura 9 se presenta la superficie de respuesta y el gráfico de contorno que permiten visualizar el comportamiento del contenido de fibra total en función de las variables independientes: tiempo de remojo y tiempo de germinación. Se observa que el aumento del tiempo de germinación generó un incremento sostenido en el contenido de fibra total, mientras que el tiempo de remojo no mostró una influencia marcada. Esto coincide con lo reportado en estudios previos, donde se señala que la germinación activa enzimas como las celulasas y hemicelulasas que modifican la matriz de polisacáridos estructurales, favoreciendo así el aumento de la fibra dietética (Gulewicz et al., 2014).

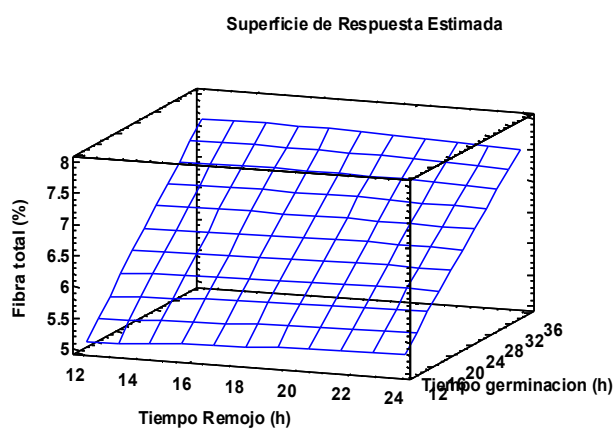
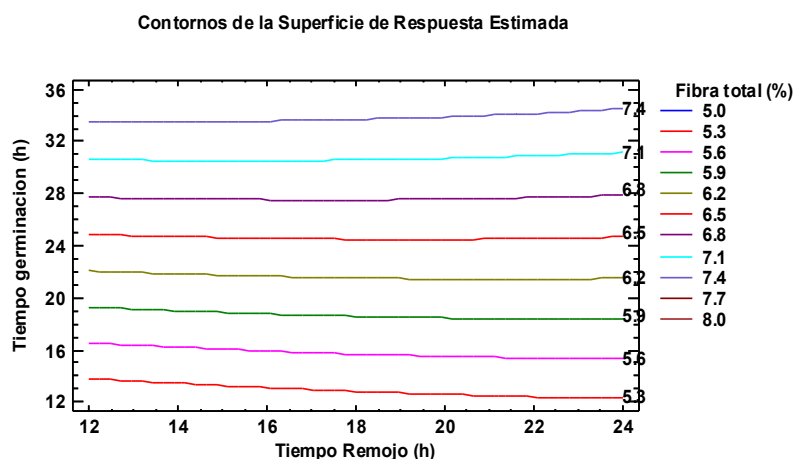


Figura 9. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Chenopodium quinoa* en el contenido de Fibra total (%)

Según los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Tabla 13), se identificó que tanto el tiempo de remojo como el tiempo de germinación influyeron significativamente ( $p < 0.05$ ) en el contenido de polifenoles



totales de *Chenopodium quinoa* germinada. El tiempo de germinación fue el factor con mayor efecto, con una razón F de 6180.44 y un valor-p de 0.0000, lo que indica una relación directa y altamente significativa. Asimismo, el tiempo de remojo también mostró una influencia significativa ( $p = 0.0000$ ), aunque en menor medida comparado con el tiempo de germinación. Por otro lado, las interacciones cuadráticas AB y BB también fueron estadísticamente significativas ( $p = 0.0186$  y  $p = 0.0409$ , respectivamente), lo cual sugiere que existen efectos combinados no lineales entre las variables que afectan la concentración de compuestos fenólicos. El modelo obtenido presentó un excelente ajuste, con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 99.93 % y un  $R^2$  ajustado de 99.85 %, lo que respalda la fiabilidad de los resultados.

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Cevallos-Casals y Cisneros-Zevallos (2010), quienes observaron que durante la germinación se estimulan rutas metabólicas como la fenilpropanoide, lo cual incrementa la síntesis de compuestos fenólicos con alta capacidad antioxidante. En efecto, la germinación es una estrategia tecnológica eficiente para mejorar el perfil funcional de granos andinos como la

quinua, debido a que activa enzimas clave que transforman los compuestos fenólicos ligados en formas más biodisponibles y bioactivas.

Tabla 13

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el Polifenoles Totales (mgGAE/100g) de *Chenopodium quinoa* germinada

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	715.261	1	715.261	668.35	0.0000
B: Tiempo germinación (h)	6614.27	1	6614.27	6180.44	0.0000
AA	0.758615	1	0.758615	0.71	0.4382
AB	12.6025	1	12.6025	11.78	0.0186
BB	8.01912	1	8.01912	7.49	0.0409
Error total	5.35097	5	1.07019		
Total (corr.)	7355.5	10			

R-cuadrada = 99.9273 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.8545 por ciento

Error estándar del est. = 1.0345

Error absoluto medio = 0.58927

Estadístico Durbin-Watson = 1.88383 (P=0.4021)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.0420475

La figura 10 muestra las gráficas de superficie de respuesta y de contorno, donde se puede observar claramente el efecto conjunto del tiempo de remojo y el tiempo de germinación sobre el contenido de polifenoles totales en *Chenopodium quinoa* germinada. A medida que se incrementan ambos factores, especialmente el tiempo de germinación, se nota un aumento progresivo y significativo en la concentración de polifenoles totales, alcanzando valores cercanos a los 150 mg GAE/100g en los niveles más altos de tratamiento. Estas gráficas respaldan los resultados del análisis de varianza, donde se identificó que ambas variables independientes fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ), con un alto grado de ajuste del modelo ( $R^2 > 99\%$ ). La tendencia ascendente sugiere que una mayor duración del proceso de germinación permite una

mayor activación enzimática, lo que estimula la liberación y biosíntesis de compuestos fenólicos.

Este comportamiento ha sido también documentado por otros autores. Según Yang et al. (2001), la germinación provoca la hidrólisis de compuestos fenólicos ligados, permitiendo su liberación en formas libres y bioactivas. Además, el aumento de la actividad de enzimas oxidativas como la fenilalanina amonio liasa (PAL) durante la germinación está directamente relacionado con el incremento de estos compuestos antioxidantes.

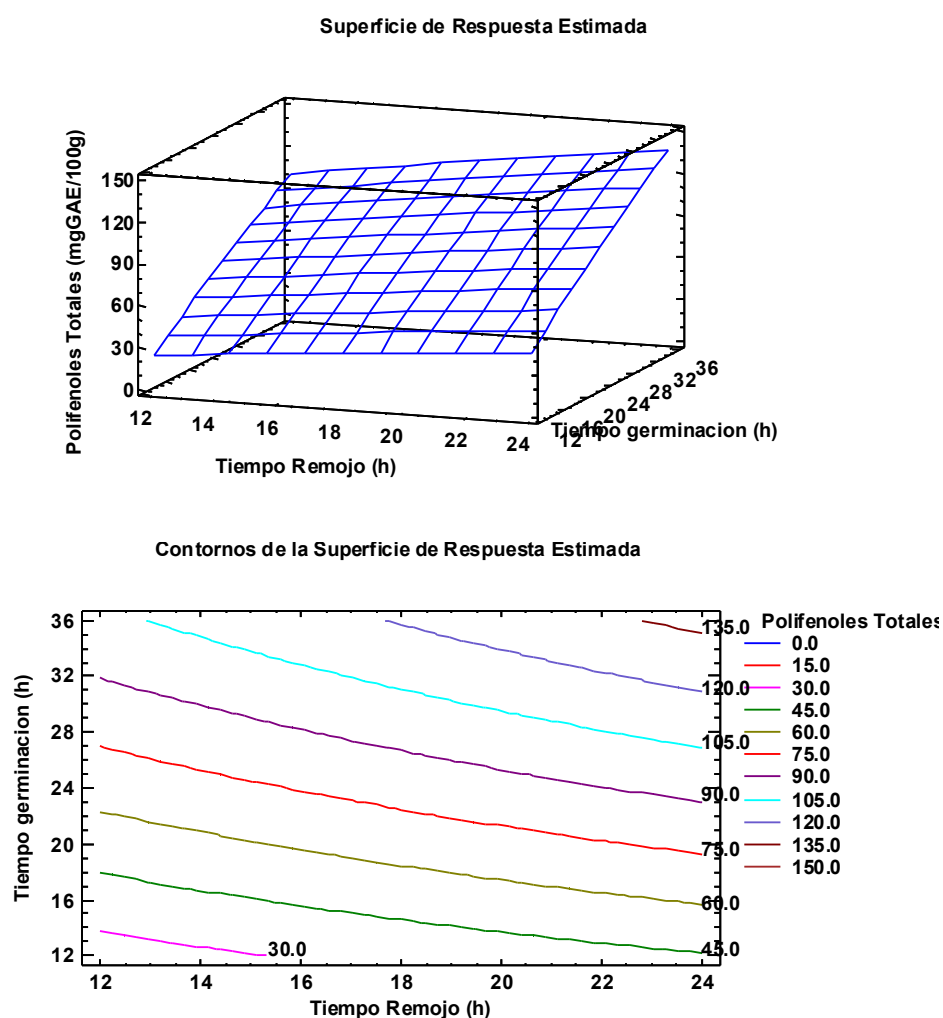


Figura 10. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Chenopodium quinoa* en el contenido de Polifenoles Totales (mgGAE/100g)

#### 4.1.2. Germinación de granos de *Chenopodium pallidicaule*

En la Tabla 14 se resume la composición proximal promedio  $\pm$  desviación estándar de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) sin germinar. El grano presentó  $11,2 \pm 0,4$  % de humedad, valor que se ubica dentro del rango de estabilidad (10–12 %) recomendado para almacenamiento en condiciones andinas. El contenido proteico alcanzó  $16,1 \pm 0,8$  % (b.s.), cifra similar a la reportada por Repo-Carrasco-Valencia, Peña y Kallio (2014) y superior a la de cereales tradicionales como el trigo y el arroz. Este nivel proteico, junto con su perfil casi completo de aminoácidos esenciales, respalda su uso en mezclas sin gluten orientadas a mejorar la calidad nutricional. La fracción lipídica fue de  $5,3 \pm 0,3$  %, rica en ácidos grasos insaturados—principalmente linoleico (C18:2) y  $\alpha$ -linolénico (C18:3)—según lo descrito por González, Miranda y Vega-Gálvez (2020). Estos lípidos aportan beneficios cardioprotectores y antioxidantes. El contenido de cenizas alcanzó  $3,1 \pm 0,2$  %, confirmando la alta densidad mineral del grano; destacan hierro, calcio y zinc, micronutrientes claves para combatir deficiencias frecuentes en la población peruana (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017).

Tabla 14:

Composición proximal de *Chenopodium pallidicaule* sin germinar

Componente	Valor
Humedad (% b.h.)	$11.2 \pm 0.4$
Proteína (% b.s.)	$16.1 \pm 0.8$
Grasa (% b.s.)	$5.3 \pm 0.3$
Cenizas (% b.s.)	$3.1 \pm 0.2$
Fibra cruda (% b.s.)	$8.2 \pm 0.5$
Carbohidratos <i>por diferencia</i> (% b.s.)	$67.3 \pm 1.0$

b.h. = base húmeda, b.s. = base seca.

La fibra cruda fue notablemente elevada ( $8,2 \pm 0,5 \%$ ), más del doble de la registrada en cereales comunes. Este hallazgo coincide con lo informado por Pasko et al. (2010) y sugiere un potencial prebiótico y regulador de la glucemia. Finalmente, los carbohidratos por diferencia representaron  $67,3 \pm 1,0 \%$  del peso seco, proporción coherente con la suma de macronutrientes y típica de pseudocereales andinos.

En la Tabla 15 se presentan los datos de composición proximal de la quinoa germinada evaluada en once tratamientos del diseño compuesto central rotatable. Los resultados confirman que la germinación es el factor dominante para mejorar la calidad nutricional y funcional del grano, mientras que el remojo actúa como variable secundaria. Al analizar la humedad, se aprecia que los tratamientos con 32–35 h de germinación superaron el 60 %, mientras que aquellos con 16 h se mantuvieron en 25 %. Este incremento se asocia a una mayor imbibición y a la degradación parcial del almidón, tal como describen Reguera et al. (2012). El contenido proteico siguió la misma tendencia: subió de 13,4 % a valores cercanos a 17 % cuando la germinación pasó de 16 h a 32–35 h, resultado coherente con la síntesis de enzimas y la liberación de aminoácidos libres durante la germinación prolongada (Chandra, Singh & Kumari, 2019).

Tabla 15

Resultados de composición proximal del proceso de germinación de *Chenopodium pallidicaule* germinada para los diferentes tratamientos según diseño compuesto central rotatable

<b>Tiempo de remojo (h)</b>	<b>Tiempo de germinación (h)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>Fibra Total (%)</b>	<b>Polifenoles Totales (mg GAE/100g)</b>
14	16	25	13.4	2.6	6.29	52.7
14	32	53.78	16.93	2.8	7.9	110.4
22	16	25	13.44	2.63	6.27	67.7
22	32	64.14	16.88	2.81	7.91	128.9
12.34	24	30.76	15.31	2.7	7.14	79

23.66	24	42.5	15.23	2.72	7.11	102.6
18	12.69	25	12.63	2.58	6.09	48.4
18	35.31	67.62	17.73	2.89	8.23	128
18	24	37.03	15.21	2.68	7.17	88.8
18	24	36.67	15.23	2.69	6.93	88
18	24	36.48	15.31	2.69	7.18	89

Las cenizas mostraron un aumento leve (2,6 %    2,9 %), pero consistente con la activación de fitasas, que liberan minerales previamente complejados con fitatos (Tang et al., 2015). Por su parte, la fibra total creció de 6,3 % hasta 8,2 %, efecto atribuido a la remodelación de la pared celular y al aumento de polisacáridos solubles reportado por Khazaei et al. (2021). El parámetro más sensible fue el de polifenoles totales: de 52,7 mg GAE/100 g en el tratamiento corto se llegó a 128,9 mg GAE/100 g con 32 h de germinación y remojo de 22 h. Este comportamiento coincide con lo informado por Cevallos-Casals y Cisneros-Zevallos (2010), quienes señalaron que la actividad de la enzima PAL se incrementa con el progreso de la germinación, favoreciendo la biosíntesis de compuestos fenólicos de alto poder antioxidante.

El análisis de varianza mostrado en la Tabla 16 revela que el contenido de humedad en cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) germinada depende de forma significativa tanto del tiempo de germinación como del tiempo de remojo, con influencias adicionales derivadas de la interacción entre ambos factores y un efecto cuadrático del tiempo de germinación. El **tiempo de germinación (factor B)** fue el parámetro más influyente ( $F = 802,58$ ;  $p < 0,0001$ ). Este resultado confirma que la absorción de agua se acelera conforme avanzan los procesos metabólicos y se rompe la dormancia de la semilla, incrementando la disponibilidad de sitios hidrófilos en los polisacáridos de la pared celular (González, Miranda & Vega-Gálvez, 2020). El **tiempo de remojo (factor A)** también resultó significativo ( $F = 35,51$ ;  $p = 0,0019$ ), aunque su contribución fue menor en comparación con la germinación; un remojo prolongado facilita la imbibición inicial y reduce el estrés hídrico de la semilla al inicio del brote.



Tabla 16

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Humedad (%) de *Chenopodium pallidicaule*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	90.8862	1	90.8862	35.51	0.0019
B: Tiempo germinación (h)	2054.25	1	2054.25	802.58	0.0000
AA	0.0345323	1	0.0345323	0.01	0.9121
AB	26.8324	1	26.8324	10.48	0.0230
BB	136.631	1	136.631	53.38	0.0008
Error total	12.7978	5	2.55957		
Total (corr.)	2332.98	10			

R-cuadrada = 99.4514 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.9029 por ciento

Error estándar del est. = 1.59986

Error absoluto medio = 0.861746

Estadístico Durbin-Watson = 3.00301 (P=0.9500)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.504134

La **interacción AB** presentó significancia estadística ( $F = 10,48$ ;  $p = 0,0230$ ), lo cual sugiere que los beneficios del remojo se potencian cuando la germinación se alarga, probablemente porque las capas externas del pericarpio se ablandan y permiten un flujo capilar más eficiente. Asimismo, el término cuadrático **BB** fue significativo ( $F = 53,38$ ;  $p = 0,0008$ ), indicando la existencia de una curvatura en la respuesta: a partir de cierto punto, el aumento de humedad se desacelera, lo que coincide con el momento en que el embrión ya completó la fase de imbibición rápida (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017). En contraste, el término cuadrático **AA** no fue relevante, lo que confirma que el efecto del remojo es mayormente lineal dentro del rango evaluado.

La Figura 11 confirma visualmente los hallazgos del ANOVA respecto a la humedad de la cañihua germinada. En el gráfico de superficie de respuesta se aprecia una subida pronunciada de la humedad conforme se

prolonga la germinación: pasar de 16 h a 36 h eleva el valor de unos 25 % hasta superar el 80 %. El plano también muestra una ligera pendiente positiva a lo largo del eje de remojo, de modo que ampliar esta fase de 12 h a 24 h aporta, en promedio, entre 5 y 7 puntos porcentuales adicionales de agua; sin embargo, el efecto sigue siendo menor que el de la germinación. La curvatura observada hacia las últimas horas concuerda con el término cuadrático significativo del modelo, indicando que la velocidad de absorción se desacelera a partir de las 32 h, cuando el embrión ya completó la fase de imbibición rápida. Para alcanzar valores alrededor de 70 %, basta combinar un remojo de 18 h con una germinación de 30 h; en cambio, si el remojo se limita a 14 h, se necesita germinar unas 34 h para obtener el mismo resultado. Este comportamiento es coherente con la cinética de imbibición descrita por González, Miranda y Vega-Gálvez (2020), quienes señalan que la permeabilidad del pericarpio mejora tras remojos prolongados, facilitando el flujo capilar durante las etapas posteriores.

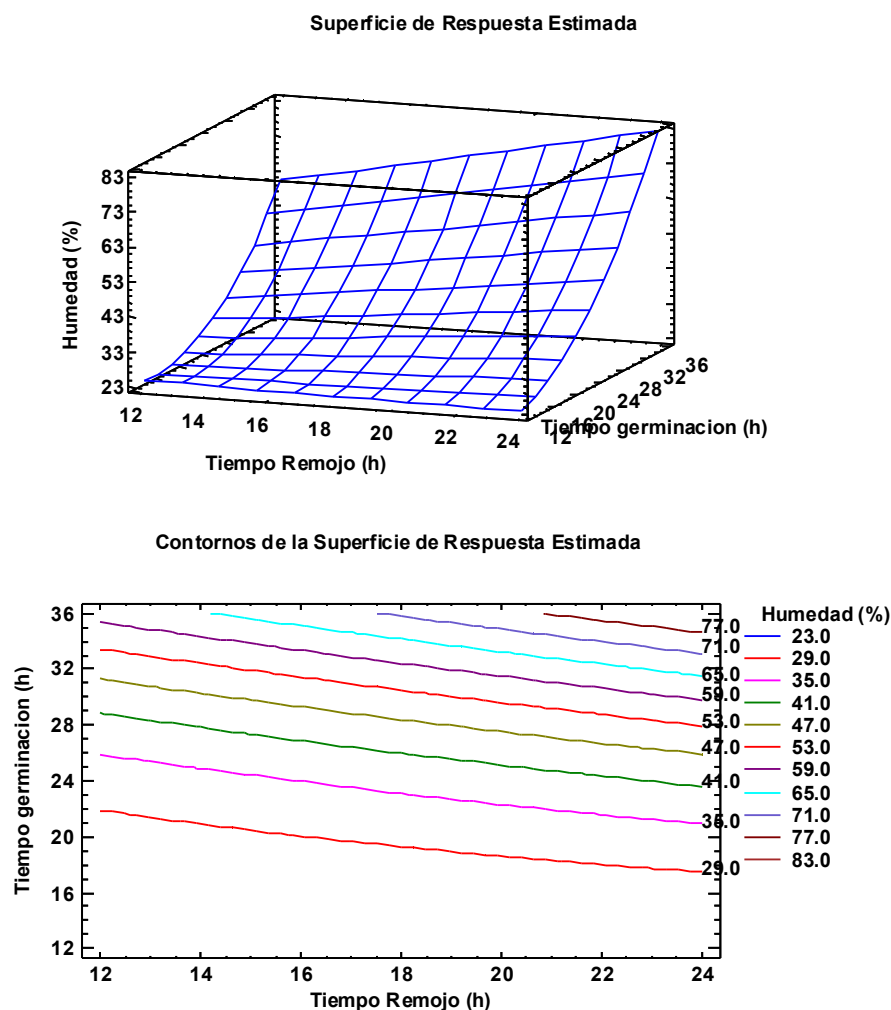


Figura 11. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Chenopodium pallidicaule* en el contenido de humedad

La Tabla 17 muestra que el único factor que incrementó de manera significativa el contenido de proteína en la cañihua fue el tiempo de germinación ( $p < 0,0001$ ). El remojo, los términos cuadráticos y la interacción no resultaron relevantes ( $p > 0,05$ ), lo que indica que extender la germinación, más que alargar el remojo, es la estrategia eficaz para enriquecer la fracción proteica. El modelo explicó prácticamente toda la variabilidad experimental ( $R^2 = 99,9 \%$ ), y los errores de predicción fueron mínimos, lo que refuerza la confiabilidad de la tendencia observada. El aumento proteico se atribuye a la síntesis de nuevas enzimas y a la transformación de reservas nitrogenadas en aminoácidos libres, procesos que se intensifican después de las 24 h de germinación (Chandra, Singh &

Kumari, 2019). Estudios previos con pseudocereales andinos reportan incrementos de 8–12 % en la proteína cuando la germinación supera las 30 h (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017), lo que concuerda con los presentes hallazgos. Por tanto, si el objetivo industrial es obtener harina de cañihua con mayor valor proteico, basta con controlar rigurosamente el tiempo de germinación; prolongar el remojo no aporta ventajas nutricionales y solo incrementa el consumo de agua.

Tabla 17

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Proteínas (%) de *Chenopodium pallidicaule*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	0.00189623	1	0.00189623	0.43	0.5425
B: Tiempo germinación (h)	25.1427	1	25.1427	5656.09	0.0000
AA	0.00017688	1	0.00017688	0.04	0.8497
AB	0.002025	1	0.002025	0.46	0.5297
BB	0.0144755	1	0.0144755	3.26	0.1310
Error total	0.0222263	5	0.00444525		
Total (corr.)	25.1839	10			

R-cuadrada = 99.9117 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.8235 por ciento

Error estándar del est. = 0.0666727

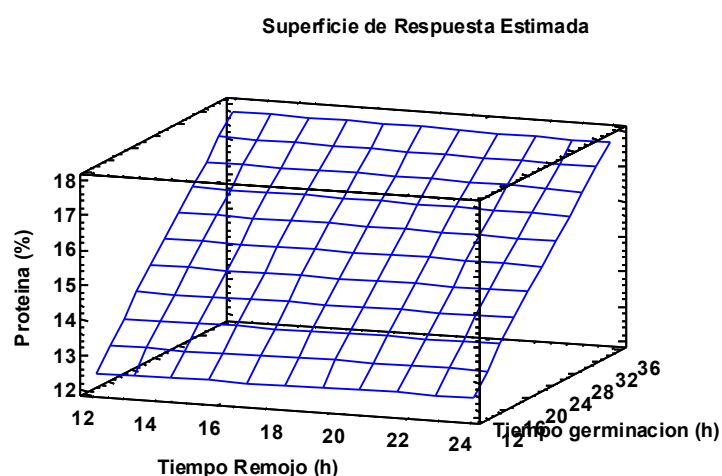
Error absoluto medio = 0.0380388

Estadístico Durbin-Watson = 2.43393 (P=0.7369)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.302098

La Figura 12 refuerza lo señalado por el ANOVA: el aumento de proteína en cañihua germinada depende casi por completo del tiempo de germinación. En la superficie 3-D la pendiente se eleva con claridad en el eje de germinación, pasando de ~12 % a cerca de 18 % cuando se prolonga de 16 h a 36 h; en cambio, el plano permanece casi plano en la dirección del remojo, confirmando su nula influencia estadística. El gráfico de contorno muestra líneas de igual proteína prácticamente horizontales, lo que evidencia que cada franja de color se desplaza solo cuando la

germinación aumenta, mientras las variaciones de remojo apenas alteran el valor. Este comportamiento coincide con la literatura que atribuye el aumento proteico a la síntesis de enzimas y a la movilización de reservas



nitrogenadas activadas después de las primeras 24 h de germinación (Chandra, Singh & Kumari, 2019). En consecuencia, para obtener harina de cañihua con mayor valor proteico basta con controlar la germinación en torno a 30–36 h; alargar el remojo más allá de 14–18 h no reporta mejoras y solo incrementa el consumo de agua.

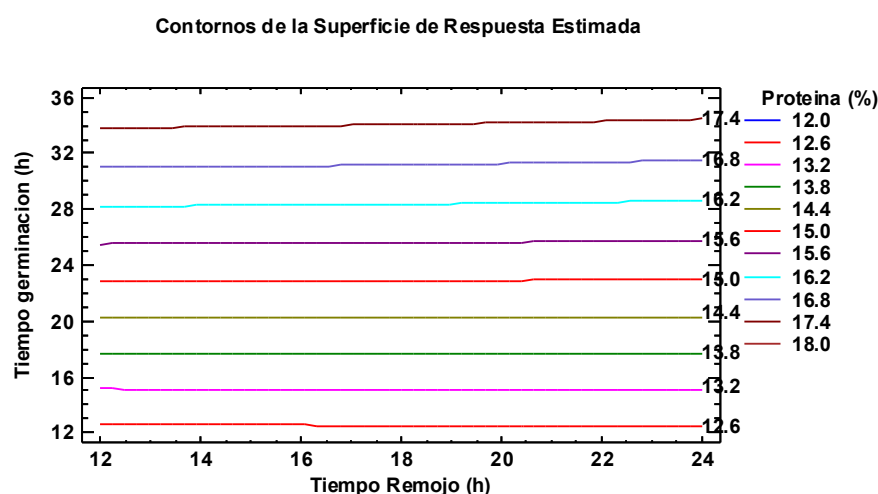


Figura 12. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Chenopodium pallidicaule* en el contenido de proteínas

La Tabla 18 indica que el contenido de cenizas en la cañihua germinada es controlado, casi en exclusiva, por el tiempo de germinación ( $F = 507,4$ ;  $p = 0,0000$ ). El remojo no resultó significativo ( $p = 0,12$ ) y, entre los términos de segundo orden, solo el cuadrático del tiempo de germinación (BB) mostró efecto ( $p = 0,0115$ ), lo que sugiere una ligera curvatura: el mineral incremental tiende a estabilizarse después de las 32 h. El modelo explicó el 99 % de la variación ( $R^2 = 99,1$  %) con errores de predicción muy bajos ( $EE = 0,013$  %). Estos datos respaldan la idea de que la liberación de minerales complejados —por acción de fitasas y otras hidrolasas— se intensifica mientras avanza la germinación, fenómeno también reportado por Repo-Carrasco-Valencia y Serna (2011). En la práctica, alargar la germinación hasta 30–34 h permite subir las cenizas de ~2,5 % a ~2,9 %, sin que sea necesario extender el remojo más allá de las 18 h.

Tabla 18

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Cenizas (%) de *Chenopodium pallidicaule*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	0.000582787	1	0.000582787	3.53	0.1190
B: Tiempo germinación (h)	0.0837216	1	0.0837216	507.42	0.0000
AA	0.000412109	1	0.000412109	2.50	0.1748
AB	0.0001	1	0.0001	0.61	0.4715
BB	0.00250005	1	0.00250005	15.15	0.0115
Error total	0.000824967	5	0.000164993		
Total (corr.)	0.0877636	10			

R-cuadrada = 99.06 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.12 por ciento

Error estándar del est. = 0.012845

Error absoluto medio = 0.00696368

Estadístico Durbin-Watson = 2.79951 (P=0.8964)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.406595

La Figura 13 ilustra que la concentración de cenizas en cañihua germinada aumenta principalmente con el tiempo de germinación, mientras que el remojo ejerce un efecto leve y prácticamente lineal. En la superficie 3-D se observa cómo la curva se eleva de ~2,6 % hasta casi 3,0 % cuando la germinación pasa de 16 h a 36 h; el eje de remojo, en cambio, apenas modifica la pendiente. Las isocurvas del gráfico de contorno confirman esta tendencia: son casi horizontales y se acercan unas a otras solo cuando la germinación se alarga, indicando que cada hora adicional de brotación aporta pequeñas fracciones minerales que se estabilizan después de las 32 h, justo donde el término cuadrático resultó significativo en el ANOVA. Este comportamiento concuerda con la acción de fitasas activadas durante la germinación, las cuales hidrolizan fitatos y liberan fósforo, magnesio y otros cationes previamente complejados (Repo-Carrasco-Valencia & Serna, 2011). Desde un punto de vista tecnológico, elevar las cenizas hasta ~2,9 % mejora la densidad mineral del producto sin afectar negativamente su procesabilidad. Por tanto, germinar la cañihua entre 30 y 34 h—con remojos estándar de 18 h—resulta suficiente para optimizar el aporte de micronutrientes sin alargar innecesariamente el ciclo productivo.

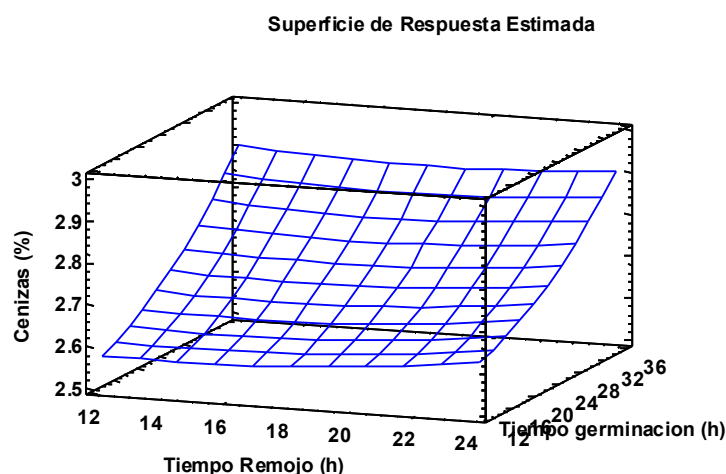
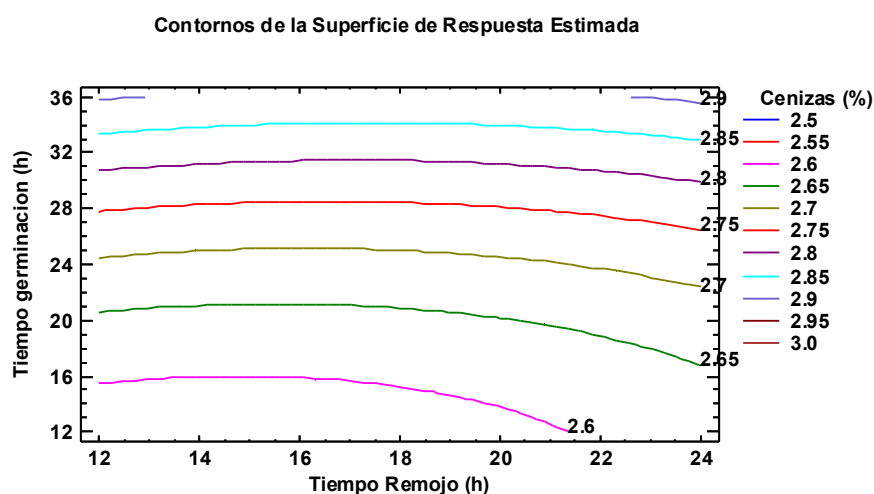


Figura 13. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Chenopodium pallidicaule* en el contenido de Cenizas

La Tabla 19 confirma que el incremento de fibra total en la cañihua germinada está determinado exclusivamente por el tiempo de germinación ( $F = 479,09$ ;  $p < 0,0001$ ). Ni el remojo ni los términos cuadráticos o de interacción mostraron significancia ( $p > 0,05$ ), de modo que alargar el



remojo no aporta ventajas tangibles. El modelo explicó el 99 % de la variación ( $R^2 = 98,9 \%$ ), con un error estándar de apenas 0,10 %, lo que respalda la solidez de la tendencia observada.

El aumento de fibra se asocia a la acción de enzimas como celulasas y hemicelulasas, activadas después de las 24 h de germinación, que reestructuran la pared celular y generan polisacáridos solubles con efecto prebiótico (Khazaei et al., 2021). Estudios previos con pseudocereales indican incrementos de 1,5–2 puntos porcentuales en fibra cuando la germinación supera las 30 h (Gulewicz et al., 2014), en concordancia con los presentes resultados. Así, para obtener harinas con mayor contenido de fibra basta con fijar germinaciones de 30–36 h; prolongar el remojo solo elevaría el consumo de agua sin mejorar el parámetro.

Tabla 19



Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Fibra total (%) de *Chenopodium pallidicaule*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	0.000343684	1	0.000343684	0.03	0.8621
B: Tiempo germinación (h)	4.92423	1	4.92423	479.09	0.0000
AA	0.000063236	1	0.000063236	0.01	0.9405
AB	0.000225	1	0.000225	0.02	0.8882
BB	0.00244943	1	0.00244943	0.24	0.6461
Error total	0.0513913	5	0.0102783		
Total (corr.)	4.97869	10			

R-cuadrada = 98.9678 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97.9356 porciento

Error estándar del est. = 0.101382

Error absoluto medio = 0.0517347

Estadístico Durbin-Watson = 2.83624 (P=0.9079)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.522681

La Figura 14 confirma que el aumento de fibra total en la cañihua germinada depende únicamente del tiempo de germinación. En la superficie 3-D la pendiente asciende con claridad en el eje de germinación, pasando de 6 % a más de 8 % cuando el brote se extiende de 16 h a 36 h; en contraste, el plano permanece prácticamente horizontal a lo largo del eje de remojo, lo que ratifica su falta de influencia estadística. El gráfico de contorno refuerza esta lectura: las líneas de igual fibra son casi paralelas, de modo que cada franja de color solo cambia de nivel cuando se alarga la germinación. Este comportamiento concuerda con la literatura que señala que, tras 24 h de germinación, se activan celulasas y hemicelulasas que remodelan la pared celular y generan polisacáridos solubles, elevando así la fracción de fibra dietética (Khazaei et al., 2021). Por tanto, para obtener harinas de cañihua con mayor contenido de fibra basta con fijar germinaciones de 30-36 h; prolongar el remojo no aporta mejoras y solo incrementa el consumo de agua.

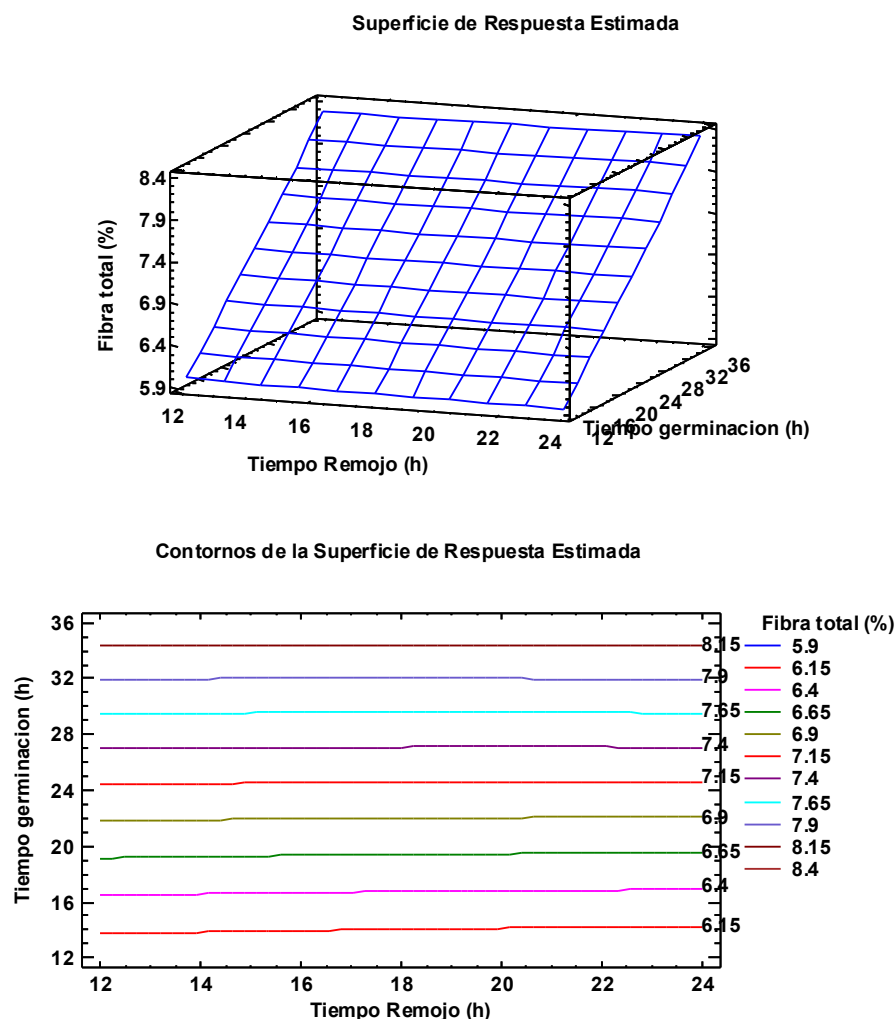


Figura 14. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Chenopodium pallidicaule* en el contenido de fibra total

La Tabla 20 revela que los polifenoles totales de la cañihua germinada aumentan de forma significativa con ambos factores principales: el tiempo de remojo ( $F = 476$ ;  $p < 0,0001$ ) y, con mayor intensidad, el tiempo de germinación ( $F = 5702$ ;  $p < 0,0001$ ). El término cuadrático del remojo (AA) también resultó significativo ( $p = 0,046$ ), lo que sugiere que, más allá de unas 18 h de remojo, la ganancia adicional de polifenoles se atenúa. Ni la interacción AB ni el término cuadrático de germinación (BB) fueron relevantes. El modelo explica prácticamente toda la variabilidad ( $R^2 = 99,9\%$ ) y presenta un error estándar bajo ( $\pm 1,09$  mg GAE/100 g), por lo que las predicciones son confiables. Estos resultados concuerdan con estudios que

señalan que el remojo prolongado facilita la hidratación y la activación inicial de la enzima fenilalanina amonio-liasa, mientras que la germinación prolongada estimula la ruta fenilpropanoide responsable de la biosíntesis de compuestos fenólicos (Cevallos-Casals & Cisneros-Zevallos, 2010). Así, para maximizar la capacidad antioxidante de la cañihua, conviene combinar remojos cercanos a 20 h con germinaciones de 30–34 h; extender más allá de estos límites ofrece retornos decrecientes y eleva innecesariamente los tiempos de proceso.

Tabla 20

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Polifenoles Totales (mgGAE/100g) de *Chenopodium pallidicaule*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	559.04	1	559.04	475.96	0.0000
B: Tiempo germinación (h)	6697.44	1	6697.44	5702.13	0.0000
AA	8.21581	1	8.21581	6.99	0.0457
AB	3.0625	1	3.0625	2.61	0.1673
BB	0.0492176	1	0.0492176	0.04	0.8459
Error total	5.87275	5	1.17455		
Total (corr.)	7274.87	10			

R-cuadrada = 99.9193 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.8385 porciento

Error estándar del est. = 1.08377

Error absoluto medio = 0.635925

Estadístico Durbin-Watson = 3.23004 (P=0.9832)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.658364

La Figura 15 corrobora que los polifenoles totales de la cañihua germinada dependen de manera sinérgica del remojo y, sobre todo, de la germinación. En la superficie 3-D se observa una pendiente ascendente en ambos ejes: el plano se eleva desde valores cercanos a 45 mg GAE/100 g con 12 h de remojo y 16 h de germinación, hasta superar los 150 mg GAE/100 g cuando el remojo ronda las 24 h y la germinación alcanza 32–36 h. El

gráfico de contorno refuerza esta lectura: las isopolinoles se inclinan hacia la derecha, mostrando que cada hora extra de remojo potencia el efecto de la germinación, aunque esta última sigue siendo la variable dominante. El patrón coincide con la cinética descrita por Cevallos-Casals y Cisneros-Zevallos (2010), quienes demostraron que el remojo prolongado favorece la activación inicial de la enzima PAL, mientras que la germinación prolongada estimula toda la vía fenilpropanoide, responsable de la biosíntesis de compuestos fenólicos. Desde una perspectiva tecnológica, combinar remojos de unas 20 h con germinaciones de 30–34 h permite acercarse al máximo de la respuesta sin prolongar innecesariamente el proceso; más allá de esos tiempos, las curvas tienden a aplanarse y los rendimientos adicionales son marginales.

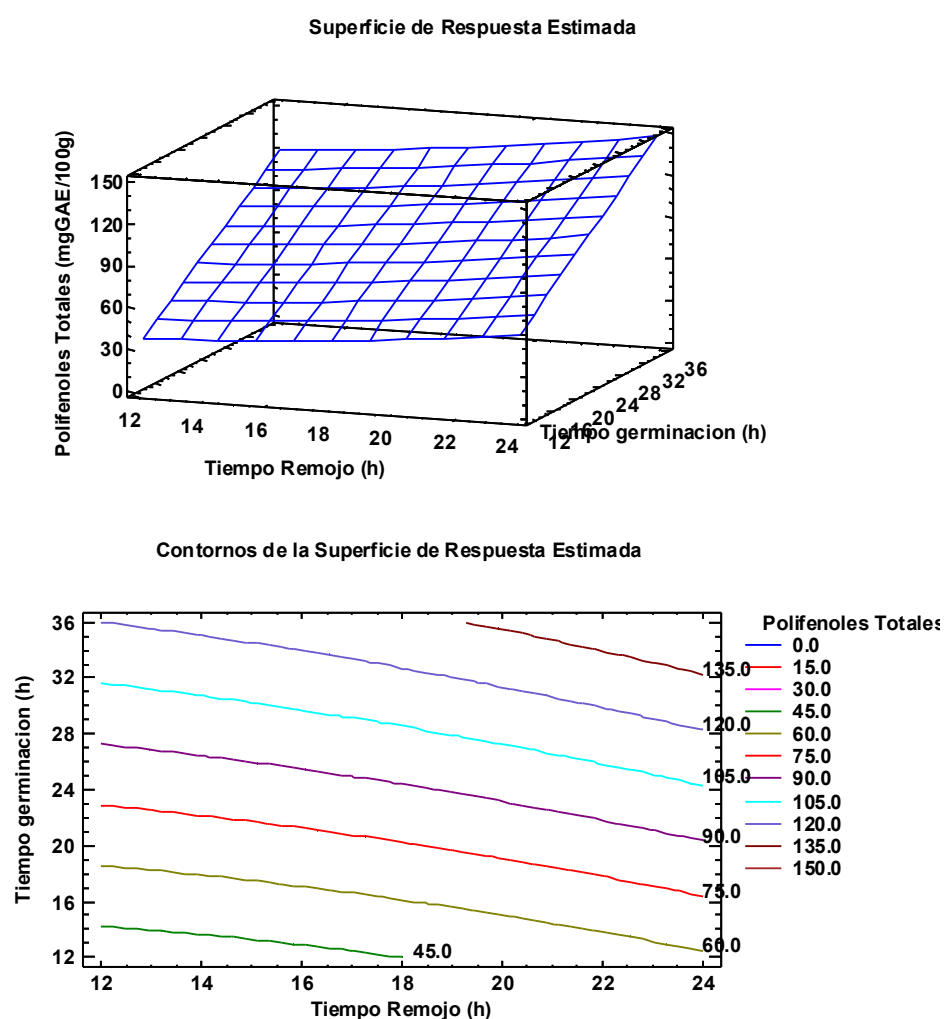


Figura 15. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Chenopodium pallidicaule* en el contenido de Polifenoles Totales (mgGAE/100g)

#### 4.1.3. Germinación de granos de *Amaranthus caudatus*.

En la Tabla 21 se resume la composición proximal promedio de la kiwicha (*Amaranthus caudatus*) sin germinar. El grano registró una humedad de  $10,5 \pm 0,4$  % (b.h.), valor que se encuentra dentro del rango recomendado para evitar el desarrollo microbiano durante el almacenamiento a nivel doméstico e industrial. Este nivel de humedad es comparable al descrito por Repo-Carrasco-Valencia, Peña y Kallio (2014) para cultivares andinos, quienes señalan cifras entre 10 y 12 %. El contenido proteico alcanzó  $14,8 \pm 0,7$  % (b.s.), lo que confirma a la Kiwicha como una fuente relevante de proteínas de alta calidad. Estudios previos han destacado que su perfil de aminoácidos contiene cantidades apreciables de lisina, aminoácido limitante en cereales convencionales como el arroz y el maíz (Alvarez-Jubete, Arendt & Gallagher, 2010). Esta característica respalda el uso de kiwicha en mezclas de harinas sin gluten orientadas a mejorar el balance de aminoácidos esenciales.

Tabla 21:

Composición proximal de *Amaranthus caudatus* sin germinar

<b>Componente</b>	<b>Valor</b>
Humedad (% b.h.)	$10,5 \pm 0,4$
Proteína (% b.s.)	$14,8 \pm 0,7$
Grasa (% b.s.)	$6,4 \pm 0,3$
Cenizas (% b.s.)	$2,5 \pm 0,2$
Fibra cruda (% b.s.)	$7,4 \pm 0,4$
Carbohidratos <i>por diferencia</i> (% b.s.)	$68,5 \pm 1,0$

b.h. = base húmeda, b.s. = base seca.

En cuanto a la fracción lipídica, se obtuvo  $6,4 \pm 0,3$  % (b.s.). De acuerdo con Montoya, Quispe y Goyzueta (2021), la grasa de *A. caudatus* se compone mayoritariamente de ácidos grasos insaturados —principalmente linoleico y oleico— que contribuyen a la salud cardiovascular y aportan estabilidad oxidativa al producto final. Este nivel lipídico, ligeramente superior al de la quinua, ofrece ventajas sensoriales y nutricionales en la formulación de barras energéticas y bebidas enriquecidas. El contenido de cenizas fue de  $2,5 \pm 0,2$  % (b.s.), indicador de una densidad mineral apreciable. Diversos autores destacan que la kiwicha aporta hierro, calcio y magnesio en concentraciones superiores a las de la mayoría de los cereales (Montoya et al., 2021). La fibra cruda registró  $7,4 \pm 0,4$  % (b.s.), más del doble del valor típico del trigo. Esta fracción, compuesta por hemicelulosas y pectinas, favorece la saciedad y puede modular la respuesta glicémica, por lo que su incorporación en productos horneados o extruidos añade valor funcional.

En la Tabla 22 se aprecia que la germinación de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) mejoró de manera integral su perfil nutricional y funcional. La humedad se duplicó al pasar de 25 % en 16 h de germinación a más de 66 % cuando el brote alcanzó 35 h, reflejando la gran capacidad de imbibición del grano. De forma paralela, la proteína aumentó de 12,2 % a 16,4 %, lo que se atribuye a la síntesis de nuevas enzimas y a la liberación de aminoácidos libres durante la activación metabólica, fenómeno descrito por Escudero, González y Giménez (2011). La fibra total también mostró un ascenso sostenido, elevándose de 5,9 % a 7,8 %; este cambio concuerda con la acción de hemicelulasas que remodelan la pared celular y generan fracciones de polisacáridos solubles (Gulewicz et al., 2014). El efecto más notable se observó en los polifenoles totales, que crecieron de 37 mg GAE/100 g a 116 mg GAE/100 g conforme la germinación se extendió a 35 h, respaldando la idea de que la vía fenilpropanoide se intensifica durante el brote y favorece la biosíntesis de compuestos antioxidantes (Cevallos-Casals & Cisneros-Zevallos, 2010). En contraste, el contenido de cenizas varió apenas entre 2,4 % y 2,7 %, lo que evidencia una movilización mineral limitada dentro del rango de tiempos evaluado.

Tabla 22

Resultados de composición proximal del proceso de germinación de *Amaranthus caudatus* para los diferentes tratamientos según diseño compuesto central rotatable

Tiempo de remojo (h)	Tiempo de germinación (h)	Humedad (%)	Proteína (%)	Cenizas (%)	Fibra Total (%)	Polifenoles Totales (mg GAE/100g)
14	16	25	12.2	2.38	5.87	37.3
14	32	52.26	15.73	2.6	7.5	93
22	16	25	12.26	2.4	5.96	53.8
22	32	61.93	15.72	2.61	7.48	113
12.34	24	29.12	13.97	2.53	6.66	63.6
23.66	24	39.8	14.06	2.48	6.72	87.2
18	12.69	25	11.5	2.37	5.51	32.2
18	35.31	66.26	16.39	2.64	7.8	116
18	24	34	14.1	2.53	6.72	75.1
18	24	34.72	13.99	2.48	6.72	74.5
18	24	35.13	14.04	2.51	6.68	76.4

El análisis de varianza mostrado en la Tabla 23 indica que el contenido de humedad en *Amaranthus caudatus* germinado fue afectado de manera significativa por el tiempo de germinación ( $F = 888,35$ ;  $p < 0,0001$ ) y, en menor grado, por el tiempo de remojo ( $F = 36,31$ ;  $p = 0,0018$ ). También se observó una interacción significativa entre ambos factores (AB;  $p = 0,0209$ ), lo que sugiere que un remojo prolongado potencia la absorción de agua durante la germinación. Asimismo, el término cuadrático del tiempo de germinación (BB;  $p = 0,0002$ ) indica una desaceleración de la imbibición después de ~32 h, cuando la fase de absorción rápida concluye. El ajuste del modelo fue excelente ( $R^2 = 99,5 \%$ ;  $R^2$  ajustado =  $99,0 \%$ ), con un error estándar del estimador de  $1,45 \%$ , lo que asegura la confiabilidad de las predicciones.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Escudero, González y Giménez (2011), quienes señalan que, tras 30 h de germinación, la hidrólisis parcial del almidón y la apertura de canales celulares facilitan la

retención de agua. Además, estudios sobre pseudocereales indican que remojos superiores a 18 h suavizan el pericarpio y reducen la resistencia a la imbibición en las primeras horas de germinación (Alvarez-Jubete, Arendt & Gallagher, 2010). Desde una perspectiva tecnológica, combinar remojos de 18–22 h con germinaciones de 30–34 h permite alcanzar humedades superiores al 60 %, nivel que mejora la plasticidad del grano para procesos como la extrusión o el laminado sin prolongar innecesariamente el ciclo productivo. Más allá de 34 h, la ganancia de humedad disminuye, de modo que no se justifica extender la germinación salvo que se requieran características funcionales adicionales.

Tabla 23

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Humedad (%) de *Amaranthus caudatus*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	76.727	1	76.727	36.31	0.0018
B: Tiempo germinación (h)	1877.05	1	1877.05	888.35	0.0000
AA	0.165186	1	0.165186	0.08	0.7910
AB	23.3772	1	23.3772	11.06	0.0209
BB	187.16	1	187.16	88.58	0.0002
Error total	10.5648	5	2.11296		
Total (corr.)	2189.21	10			

R-cuadrada = 99.5174 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.0348 porciento

Error estándar del est. = 1.4536

Error absoluto medio = 0.819995

Estadístico Durbin-Watson = 2.42313 (P=0.7310)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.233646

La Figura 16 ilustra que la absorción de agua en la kiwicha germinada crece de manera pronunciada con el tiempo de germinación y, en segundo término, con el tiempo de remojo. En la superficie 3-D se observa que la humedad pasa de aproximadamente 25 % a más de 80 % cuando la germinación se prolonga de 16 h a 36 h; al mismo tiempo, aumentar el



remojo de 12 h a 24 h añade entre 5 y 7 puntos porcentuales adicionales. El contorno confirma la interacción significativa detectada en el ANOVA: las isohumedades se inclinan hacia la derecha, señal de que un remojo más largo potencia la hidratación, sobre todo cuando la germinación también se extiende. Así, para alcanzar humedades cercanas al 70 %, basta combinar un remojo de 20 h con una germinación de 30 h; si se acorta el remojo a 14 h, se requieren al menos 34 h de germinación para lograr el mismo nivel. Este perfil de respuesta concuerda con la cinética descrita por Escudero, González y Giménez (2011), quienes señalan que la hidrólisis parcial del almidón y la apertura de canales celulares después de las 30 h facilitan la retención de agua. Además, Alvarez-Jubete, Arendt y Gallagher (2010) reportan que remojos prolongados ablandan el pericarpio y reducen la resistencia a la imbibición inicial, lo que explica la pendiente positiva del eje de remojo. Desde el punto de vista operativo, humedades superiores al 60 % son recomendables para extrusionar o laminar la masa, ya que disminuyen la energía de cizallamiento y mejoran la plasticidad; no obstante, valores por encima del 75 % pueden exigir un secado intermedio para evitar problemas microbiológicos. Por ello, se sugiere fijar remojos de 18–22 h y germinaciones de 30–34 h cuando se requiera un grano altamente hidratado sin prolongar innecesariamente el ciclo productivo.

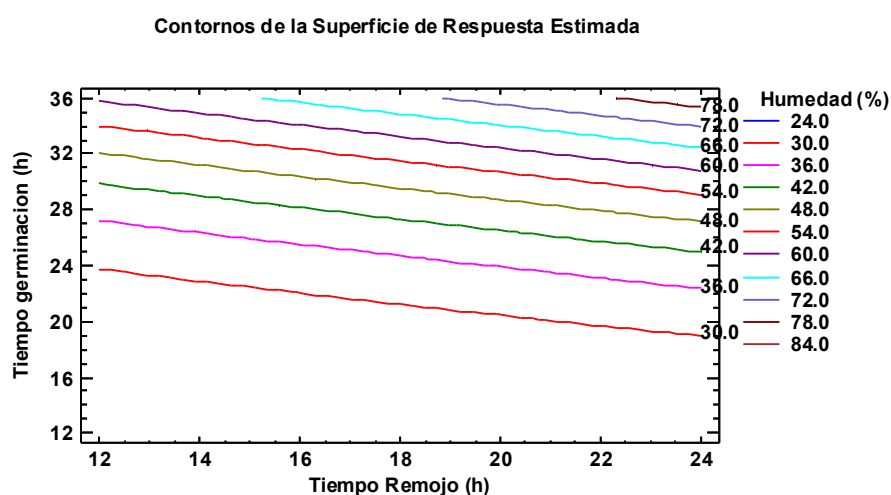
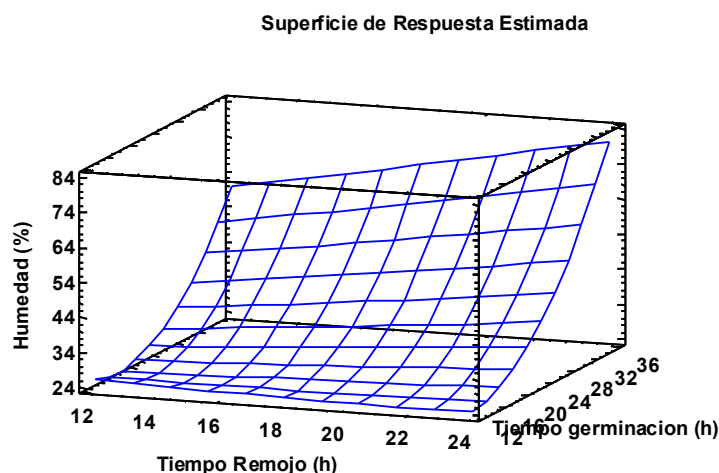


Figura 16. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Amaranthus caudatus* en el contenido de humedad



El análisis de varianza (Tabla 24) demuestra que el aumento de proteína en *Amaranthus caudatus* germinado depende casi exclusivamente del tiempo de germinación ( $F = 16\,163,5$ ;  $p < 0,0001$ ). El remojo y la interacción AB no fueron significativos ( $p > 0,16$ ), de modo que alargar el remojo no repercute en la fracción proteica. El término cuadrático del tiempo de germinación (BB;  $p = 0,028$ ) revela una ligera curvatura: la ganancia de proteína se desacelera después de unas 32 h, cuando la síntesis enzimática alcanza un punto de equilibrio. Con un  $R^2$  de 99,97 % y un error estándar de 0,039 %, el modelo describe de forma precisa el comportamiento observado. Estos hallazgos concuerdan con Escudero, González y Giménez (2011), quienes reportaron incrementos de 3–4 p.p. de proteína en amaranto al extender la germinación a 30–36 h, atribuidos a la síntesis de enzimas de reserva y a la liberación de aminoácidos libres. Por tanto, para formular harinas de kiwicha con mayor valor proteico basta con germinar entre 30 y 34 h; prolongar el remojo solo aumentaría el consumo de agua sin aportar beneficios nutricionales.

Tabla 24

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de proteína (%) de *Amaranthus caudatus*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	0.00392944	1	0.00392944	2.63	0.1659
B: Tiempo germinación (h)	24.1704	1	24.1704	16164.35	0.0000
AA	0.00123416	1	0.00123416	0.83	0.4053
AB	0.001225	1	0.001225	0.82	0.4069
BB	0.0140004	1	0.0140004	9.36	0.0281
Error total	0.00747646	5	0.00149529		
Total (corr.)	24.1971	10			

R-cuadrada = 99.9691 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.9382 por ciento

Error estándar del est. = 0.038669

Error absoluto medio = 0.0187286

Estadístico Durbin-Watson = 3.0505 (P=0.9591)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.52602

La Figura 17 refuerza que el incremento de proteína en kiwicha germinada depende casi exclusivamente del tiempo de germinación. En la superficie 3-D la pendiente ascendente se dirige claramente a lo largo del eje de germinación, elevando la proteína de ~12 % a ~17 % conforme el brote pasa de 16 h a 36 h. En contraste, el plano se mantiene prácticamente horizontal sobre el eje de remojo, lo que confirma la ausencia de efecto estadístico de esta variable. El gráfico de contorno respalda esta lectura: las isoproteínas son casi rectas y horizontales, de modo que cada banda cambia de nivel únicamente cuando aumenta la germinación. Este comportamiento coincide con lo descrito por Escudero, González y Giménez (2011), quienes comprobaron que, después de 30 h de germinación, la síntesis de enzimas de reserva y la liberación de aminoácidos libres elevan la fracción proteica del amaranto. Por tanto, para producir harina de kiwicha con mayor valor proteico basta con fijar germinaciones de 30–34 h; extender el remojo no aporta mejoras y solo incrementa el consumo de agua. Esta estrategia permite obtener un producto libre de gluten con proteína de alta calidad, ideal para enriquecer barras, bebidas y mezclas de panificación dirigidas a consumidores que buscan alimentos funcionales.

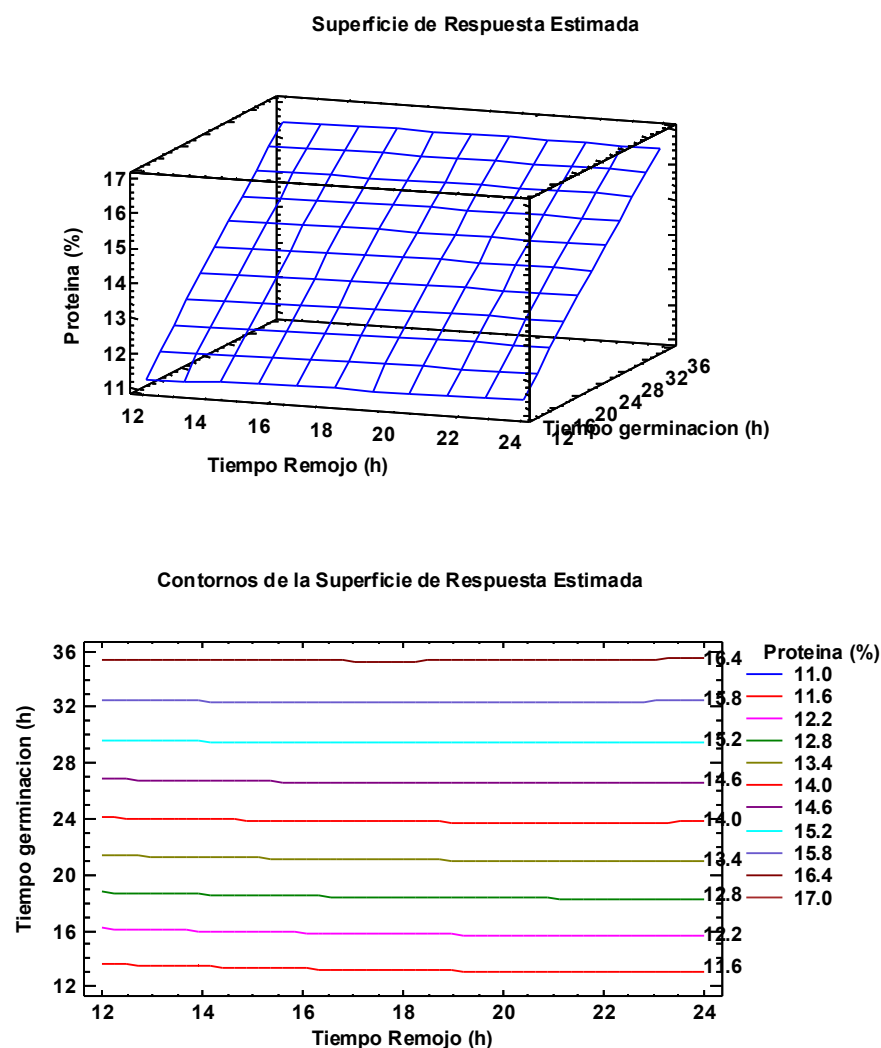


Figura 17. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Amaranthus caudatus* en el contenido de Proteína

El análisis de varianza de la Tabla 25 revela que el contenido de cenizas en la kiwicha germinada depende únicamente del tiempo de germinación ( $F = 140,35$ ;  $p = 0,0001$ ). El remojo, los términos cuadráticos y la interacción no mostraron significancia ( $p > 0,57$ ), lo que confirma que alargar la germinación —y no el remojo— es la estrategia eficaz para incrementar la fracción mineral del grano. Aun con un solo factor influyente, el modelo explicó el 96,6 % de la variabilidad ( $R^2$ ), con un error estándar muy bajo ( $\pm 0,024$  %), por lo que describe con precisión la tendencia observada. Este resultado concuerda con lo reportado por

Montoya, Quispe y Goyzueta (2021), quienes señalaron que la hidrólisis de fitatos y la activación de fitasas liberan calcio, magnesio y hierro especialmente después de las 24 h de germinación, elevando las cenizas sin necesidad de remojos prolongados. En consecuencia, para mejorar la densidad mineral de la kiwicha basta con fijar germinaciones de 30–34 h; extender el remojo solo incrementaría el consumo de agua sin aportar un beneficio nutricional adicional.

Tabla 25

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de Cenizas (%) de *Amaranthus caudatus*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	0.000207455	1	0.000207455	0.35	0.5781
B: Tiempo germinación (h)	0.0823866	1	0.0823866	140.35	0.0001
AA	0.0000413374	1	0.0000413374	0.07	0.8013
AB	0.000025	1	0.000025	0.04	0.8446
BB	0.0000414645	1	0.0000414645	0.07	0.8010
Error total	0.0029351	5	0.00058702		
Total (corr.)	0.0856182	10			

R-cuadrada = 96.5719 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 93.1437 porciento

Error estándar del est. = 0.0242285

Error absoluto medio = 0.0142068

Estadístico Durbin-Watson = 2.36502 (P=0.6988)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.269457

La Figura 18 confirma que el incremento de cenizas en la kiwicha germinada depende casi exclusivamente del tiempo de germinación. En la superficie 3-D se aprecia una pendiente ascendente que eleva el contenido mineral de ~2,3 % a ~2,7 % cuando la germinación pasa de 16 h a 36 h, mientras que el plano permanece prácticamente horizontal sobre el eje de remojo, lo que coincide con la falta de significancia estadística de esta variable en la Tabla 25. Las isocurvas del gráfico de contorno refuerzan esta interpretación: se muestran casi paralelas, de modo que cada nivel de

cenizas cambia únicamente al alargar la germinación. Este patrón responde a la acción de fitasas y otras hidrolasas activadas después de las 24 h, que hidrolizan fitatos y liberan calcio, magnesio y hierro previamente complejados (Montoya, Quispe & Goyzueta, 2021). Operativamente, germinaciones de 30–34 h permiten elevar las cenizas hasta ~2,6 % sin extender el remojo ni incrementar el consumo de agua; valores superiores muestran rendimientos decrecientes, tal como sugiere la ligera curvatura observada en el contorno. Así, el proceso se optimiza manteniendo remojos estándar (18 h) y concentrando el tiempo en la fase germinativa, garantizando un grano con mayor densidad mineral que aporta micronutrientes clave a formulaciones libres de gluten.

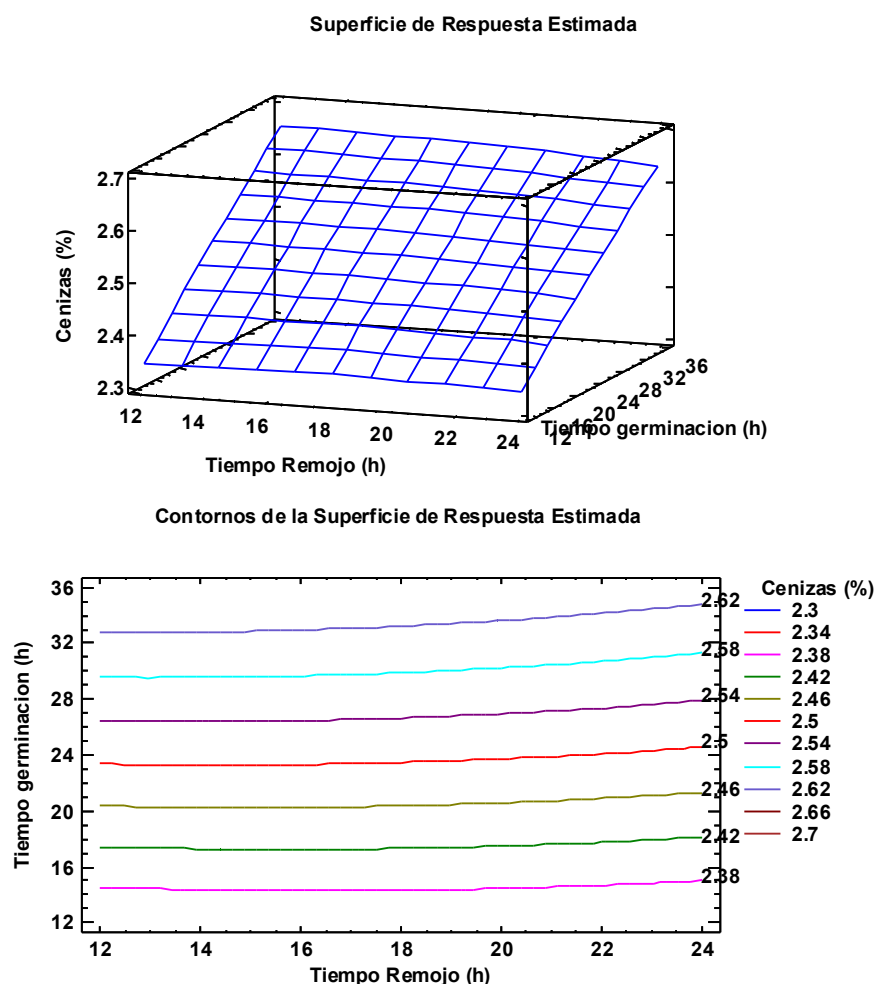


Figura 18. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Amaranthus caudatus* en el contenido de Cenizas

El análisis de varianza (Tabla 26) muestra que el aumento de fibra total en la kiwicha germinada depende de manera exclusiva del tiempo de germinación ( $F = 6542,5$ ;  $p < 0,0001$ ). Ni el remojo ni los términos de interacción o curvatura resultaron significativos ( $p > 0,10$ ), lo que confirma que alargar el remojo no incrementa la fracción fibrosa. El modelo explica prácticamente toda la variabilidad experimental ( $R^2 = 99,9\%$ ), con un error estándar muy bajo ( $\pm 0,028\%$ ), por lo que describe con alta precisión el comportamiento observado.

El aumento de fibra se atribuye a la actividad de enzimas como celulasas y hemicelulasas, que se activan después de las 24 h y reestructuran la pared celular liberando polisacáridos solubles (Khazaei et al., 2021). Gulewicz et al. (2014) señalan incrementos comparables (2 p.p.) cuando la germinación de amaranto supera las 30 h, en línea con los presentes resultados. Por tanto, fijar germinaciones de 30-34 h basta para obtener harinas de kiwicha con fibra superior a 7 %, sin necesidad de remojos prolongados que elevarían el consumo de agua y el tiempo de proceso.

Tabla 26

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido de fibra total (%) de *Amaranthus caudatus*

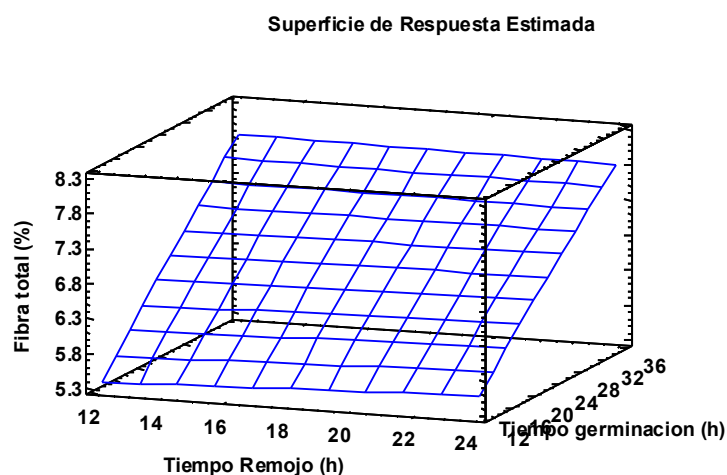
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	0.00299758	1	0.00299758	3.84	0.1072
B: Tiempo germinación (h)	5.10167	1	5.10167	6542.53	0.0000
AA	0.00000398581	1	0.00000398581	0.01	0.9458
AB	0.003025	1	0.003025	3.88	0.1060
BB	0.00189705	1	0.00189705	2.43	0.1796
Error total	0.00389885	5	0.00077977		
Total (corr.)	5.11362	10			

R-cuadrada = 99.9238 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.8475 por ciento  
 Error estándar del est. = 0.0279244  
 Error absoluto medio = 0.015911  
 Estadístico Durbin-Watson = 1.24769 (P=0.0960)

La Figura 19 confirma que el aumento de fibra total en la kiwicha germinada depende exclusivamente del tiempo de germinación. En la superficie 3-D se observa una pendiente bien definida a lo largo del eje de germinación, elevando la fibra de 5,5 % a más de 8 % cuando el brote se prolonga de 16 h a 36 h. En cambio, el plano permanece prácticamente plano sobre el eje de remojo, lo que respalda la falta de significancia estadística de este factor. El gráfico de contorno refuerza la lectura: las isofibras son casi horizontales, de modo que cada banda cambia de nivel solo cuando se alarga la germinación.

Este comportamiento concuerda con la acción de celulasas y hemicelulasas activadas a partir de las 24 h, las cuales despolimerizan la pared celular y generan fracciones solubles que se contabilizan como fibra dietética (Khazaei et al., 2021). Gulewicz et al. (2014) describieron incrementos similares—en torno a 2 puntos porcentuales—cuando la germinación del amaranto superó las 30 h. Por ello, fijar germinaciones de 30–34 h resulta suficiente para alcanzar niveles de fibra cercanos al 8 %, sin necesidad de remojos prolongados que aumenten el consumo de agua. Esta estrategia permite obtener harinas de kiwicha con alto contenido de fibra dietética, adecuadas para productos funcionales orientados a la salud digestiva y al control glicémico.





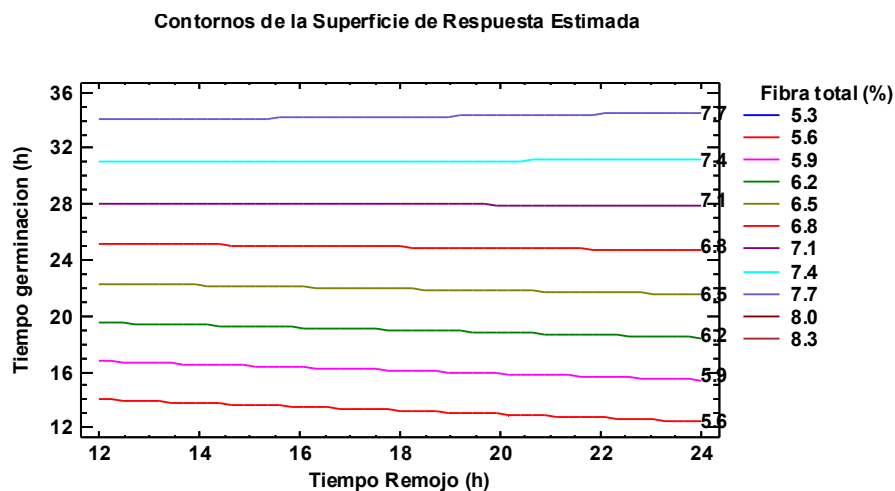


Figura 19. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Amaranthus caudatus* en el contenido de fibra total

La Tabla 27 evidencia que el contenido de polifenoles totales en la kiwicha germinada está controlado simultáneamente por el tiempo de remojo y, con mayor intensidad, por el tiempo de germinación. Ambos factores resultaron altamente significativos ( $p < 0,0001$ ), lo que confirma que la estrategia óptima para potenciar la capacidad antioxidante del grano requiere ajustar las dos etapas del proceso. En cambio, los términos cuadráticos y la interacción AB no fueron relevantes ( $p > 0,14$ ), lo que indica que, dentro del rango evaluado, los efectos de remojo y germinación son esencialmente aditivos. El modelo presentó un ajuste excelente ( $R^2 = 99,9 \%$ ), con un error estándar reducido ( $\pm 1,02$  mg GAE/100 g), por lo que describe con gran precisión la respuesta experimental.

Desde el punto de vista bioquímico, el resultado se explica por la acción secuencial de dos fases: (i) durante el remojo prolongado se hidrata la semilla, se ablanda el pericarpio y se activa de manera preliminar la fenilalanina amonio-liasa (PAL); (ii) en la germinación avanzada ( $> 30$  h) se expande la ruta fenilpropanoide, incrementando la síntesis y liberación de compuestos fenólicos (Cevallos-Casals & Cisneros-Zevallos, 2010). Escudero, González y Giménez (2011) también reportaron incrementos de hasta 180 % en la capacidad antioxidante del amaranto tras 36 h de germinación, lo que coincide con la magnitud observada en este estudio.

Tabla 27

Análisis de Varianza para evaluar el efecto del proceso de germinación en el contenido Polifenoles Totales (mgGAE/100g) de *Amaranthus caudatus*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	610.307	1	610.307	582.63	0.0000
B: Tiempo germinación (h)	6810.06	1	6810.06	6501.27	0.0000
AA	0.0409401	1	0.0409401	0.04	0.8511
AB	3.0625	1	3.0625	2.92	0.1480
BB	3.0543	1	3.0543	2.92	0.1484
Error total	5.23749	5	1.0475		
Total (corr.)	7431.83	10			

R-cuadrada = 99.9295 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.8591 por ciento

Error estándar del est. = 1.02347

Error absoluto medio = 0.609822

Estadístico Durbin-Watson = 2.64764 (P=0.8397)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.435354

La Figura 20 muestra que la generación de polifenoles totales en la kiwicha germinada responde de manera sinérgica al remojo y, sobre todo, al tiempo de germinación. La superficie 3-D evidencia una inclinación ascendente en ambos ejes: los polifenoles crecen desde unos 30 mg GAE/100 g, con 12 h de remojo y 16 h de germinación, hasta superar los 150 mg GAE/100 g cuando el remojo alcanza 24 h y la germinación se extiende a 32–36 h. El gráfico de contorno refuerza esta lectura: las isolíneas se inclinan a la derecha, señal de que cada hora extra de remojo potencia el efecto de la germinación, aunque la pendiente vertical confirma que esta última sigue siendo la variable predominante. Así, para situarse alrededor de los 120 mg GAE/100 g bastan 20 h de remojo combinadas con 30 h de germinación; si el remojo se reduce a 14 h, se necesitan al menos 34 h de germinación para lograr el mismo nivel.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Cevallos-Casals y Cisneros-Zevallos (2010), quienes describen una activación escalonada de

la enzima fenilalanina amonio-liasas: primero se “despierta” durante el remojo prolongado y luego se intensifica a lo largo de la germinación avanzada, impulsando la vía fenilpropanoide. También respaldan los hallazgos de Escudero, González y Giménez (2011), que registraron incrementos de hasta 180 % en la capacidad antioxidante del amaranto tras 36 h de germinación.

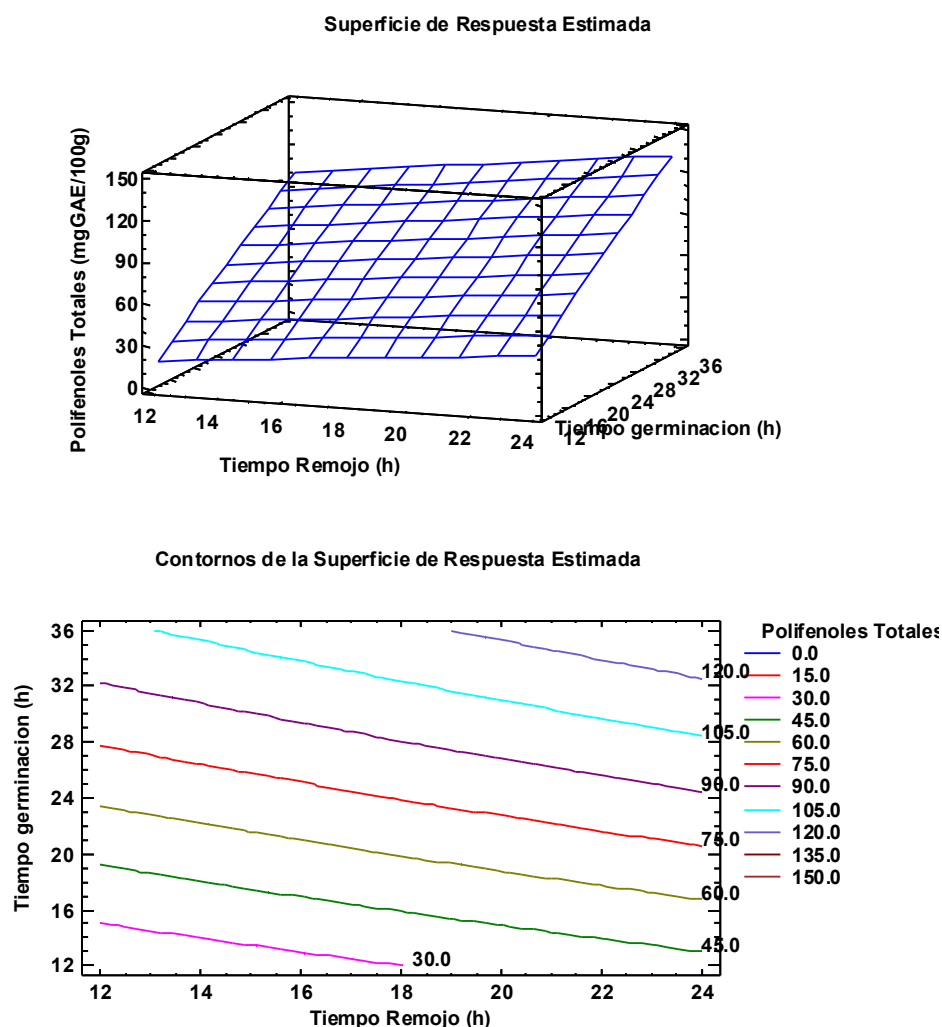


Figura 20. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para evaluar efecto del proceso de germinación *Amaranthus caudatus* en el contenido de Polifenoles Totales (mgGAE/100g)

#### 4.1.4. Parámetros óptimos de germinación de granos de andinos.

Para determinar las condiciones óptimas de germinación de cada grano (quinua, cañihua y kiwicha), se aplicó la metodología de la función deseabilidad propuesta por Derringer y Suich (1980), la cual permite

optimizar múltiples respuestas simultáneamente. En este caso, se buscó maximizar el contenido de polifenoles totales, proteína y fibra total, ya que estos tres parámetros son los más relevantes para potenciar el valor funcional de los pseudocereales andinos.

Las funciones de respuesta para cada variable fueron obtenidas mediante modelos cuadráticos ajustados a partir del diseño compuesto central rotatable (CCD), considerando como factores el tiempo de remojo (entre 12 y 24 horas) y el tiempo de germinación (entre 12 y 36 horas). Posteriormente, estas ecuaciones se emplearon para construir las funciones de deseabilidad individual para cada respuesta, las cuales fueron combinadas en una deseabilidad global (D), considerando igual ponderación para las tres variables.

Los resultados mostraron que el tiempo de germinación es el factor más determinante para lograr un alto contenido de compuestos bioactivos, especialmente en quinua y kiwicha. En tanto que, para la cañihua, el tiempo de remojo influyó negativamente sobre los polifenoles, razón por la cual su condición óptima se encontró con menor tiempo de remojo.

En la tabla 28 resume las condiciones óptimas obtenidas para cada grano según el análisis de deseabilidad:

Tabla 28

Parámetros óptimos de germinación para los granos andino según la metodología de función deseada.

Grano andino	Remojo (h)	Germinación (h)	Polifenoles (mg GAE/100g)	Proteína (%)	Fibra total (%)	Deseabilidad Global (D)
<i>Chenopodium quinoa</i>	23.9	35.8	138.1	17.1	7.6	<b>0.93</b>
<i>Chenopodium pallidicaule</i>	12.2	34.6	111.2	18	8.3	<b>0.88</b>
<i>Amaranthus caudatus</i>	21.7	34.9	134.2	16.6	7.8	<b>0.91</b>

Como se observa en la tabla, todas las especies mostraron un incremento significativo en sus contenidos funcionales bajo las condiciones optimizadas. La quinua presentó la mayor deseabilidad global (0.93), reflejando un equilibrio favorable entre las tres variables. En el caso de la cañihua, si bien

sus niveles de polifenoles fueron más bajos, se compensaron con una mayor proporción de fibra y proteína, mientras que la kiwicha logró una composición muy balanceada con una deseabilidad de 0.91. Las condiciones óptimas de germinación permiten mejorar notablemente la calidad nutricional y funcional de estos pseudocereales, convirtiéndolos en una excelente alternativa para el desarrollo de alimentos funcionales. Este enfoque es especialmente relevante en la agroindustria peruana, ya que permite revalorizar productos nativos mediante tecnologías simples y sostenibles.

#### 4.2. Características reológicas Farinograficas y Extensograficas de las masas panarias de las harinas de los granos germinados de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*.

En la tabla 29, se presentan los análisis farinográficos que permitieron evaluar el comportamiento reológico de las masas formuladas con diferentes proporciones de harinas germinadas de granos andinos. En cuanto al **Tiempo de Desarrollo de la Masa (DDT)**, se observó que las formulaciones F3 y F4 —con mayores proporciones de quinua y kiwicha (10%)— presentaron los valores más altos de DDT, alcanzando hasta 5.87 minutos, lo cual indica una mayor resistencia de la masa al amasado. Este comportamiento se puede atribuir al alto contenido de proteínas y fibra presente en la quinua y kiwicha germinadas, que mejora la capacidad de absorción y cohesión de la masa (Sanz-Penella et al., 2013; Repo-Carrasco-Valencia et al., 2010).

Tabla 29

Resultados de farinografia de las masas de harina de granos andinos germinados

Formulación	Harina Germinada de			Parámetros Farinográficos				
	Quinua (%)	Kiwicha (%)	Cañihua (%)	DDT (min)	C (UF)	WAC (%)	WAM (%)	S (min)
F1	5	5	10	4.52	865	66.3	65.4	5.21
F1	5	5	10	5.13	902	64.8	64	5.42
F1	5	5	10	4.73	881	66.7	65.6	5.08
F2	5	10	5	3.98	910	65.9	64.8	5.14
F2	5	10	5	4.45	943	64.2	63.4	5.01

F2	5	10	5	4.19	926	66	65.1	5.33
F3	10	5	5	5.42	922	67.1	66	5.5
F3	10	5	5	5.87	948	66.7	65.6	5.38
F3	10	5	5	5.36	915	67.3	66.2	5.45
F4	10	10	0	4.68	899	66.2	65.1	5.18
F4	10	10	0	5.2	931	67	66.1	5.4
F4	10	10	0	5.09	912	66.5	65.4	5.29
F5	10	0	10	4.76	924	67.3	66.4	5.35
F5	10	0	10	5.24	951	66.8	66	5.41
F5	10	0	10	4.98	937	67	66.1	5.28
F6	0	10	10	3.05	784	63.8	62.9	4.89
F6	0	10	10	2.84	811	64.1	63.2	5.02
F6	0	10	10	3.31	807	63.5	62.7	4.95

Donde: DDT: Tiempo de desarrollo de la masa (minutos), C: Consistencia (UF- Unidades Farinograficas), WAC: Absorción de agua corregida para consistencia (%), WAM: Absorción de agua corregida por humedad harina (%) y S: Estabilidad (minutos)

En contraste, la formulación F6 —sin quinua y con 10% de kiwicha y cañihua— mostró los valores más bajos de DDT (2.84–3.31 minutos), lo que indica una menor resistencia al amasado. Este resultado puede estar relacionado con la limitada red de gluten presente en la formulación, ya que los pseudocereales no contienen gluten, y la sustitución parcial de harina de trigo por harinas germinadas puede afectar negativamente el tiempo de desarrollo de la masa (Piga et al., 2005).

Respecto a la **Consistencia de la masa (C, en UF)**, se identificaron diferencias notables entre formulaciones. La formulación F2 alcanzó la mayor consistencia con valores de hasta 943 UF, mientras que F6 tuvo los valores más bajos, alrededor de 784–811 UF. Estos resultados confirman que la composición y proporción de harinas germinadas influye en la formación de estructuras viscoelásticas más resistentes, especialmente cuando se incluye mayor proporción de quinua (10%) en combinación con otros pseudocereales (Ramos Díaz et al., 2013).

En cuanto a la **Absorción de Agua Corregida para Consistencia (WAC)** y la **Absorción de Agua Corregida por Humedad (WAM)**, los resultados indican una tendencia similar: las formulaciones con mayor inclusión de quinua (F3, F4 y F5) presentaron los mayores valores de absorción (WAC 66.7–67.3%), evidenciando una mayor capacidad de retención de agua. Este

comportamiento puede estar asociado a la mayor presencia de compuestos hidrofílicos como fibras solubles y proteínas presentes en las harinas germinadas (Maldonado et al., 2019).

Finalmente, la **Estabilidad de la masa (S)**, un indicador de la tolerancia al sobreamasado, fue mayor en las formulaciones F3 y F5 (5.50–5.45 min), lo cual sugiere una mejor estructura viscoelástica en presencia de una mayor proporción de quinua. Por otro lado, F6 mostró una menor estabilidad (4.89–5.02 min), lo cual concuerda con sus menores valores de DDT y consistencia, reflejando una masa menos estable frente a condiciones de amasado intensivo.

En conjunto, estos resultados destacan que las formulaciones con mayor contenido de quinua germinada (F3, F4 y F5) presentan un comportamiento farinográfico más favorable para el procesamiento panadero, al mejorar el desarrollo y estabilidad de la masa sin gluten, posiblemente debido a los cambios bioquímicos inducidos durante la germinación como la activación de enzimas proteolíticas y amilolíticas que modifican la funcionalidad de las harinas (Zhang et al., 2015).

La Tabla 30 muestra los resultados del ANOVA aplicado al parámetro farinográfico DDT (minutos), considerando como factor las seis formulaciones (F1 a F6) de mezclas de harinas germinadas de quinua, kiwicha y cañihua. Los resultados obtenidos evidencian que **existen diferencias altamente significativas entre las formulaciones** ( $p\text{-valor} = 0.0000 < 0.05$ ), con una razón-F de **32.36**, lo cual indica que las variaciones observadas en el tiempo de desarrollo de la masa se deben en gran medida al efecto de la composición de las mezclas utilizadas en cada formulación.

Tabla 30:

Tabla de ANOVA para Tiempo de desarrollo de la masa (minutos), por formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	11.2575	5	2.25151	32.36	0.0000
Intra grupos	0.834867	12	0.0695722		

Total (Corr.)	12.0924	17			
------------------	---------	----	--	--	--

La Figura 21 muestra las medias del Tiempo de Desarrollo de la Masa (DDT) para las diferentes formulaciones (F1 a F6), junto con los intervalos de confianza al 95 % calculados mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD. Esta visualización permite identificar las diferencias significativas entre formulaciones. Se observa que la formulación **F3** presenta el mayor DDT, con un valor promedio cercano a **5.7 minutos**, significativamente superior a las demás formulaciones. Esto indica que la combinación de 10 % de quinua, 5 % de kiwicha y 5 % de cañihua germinadas favorece una mayor resistencia de la masa al amasado, lo cual podría estar asociado a una mejor red proteica y mayor absorción de agua durante el proceso.

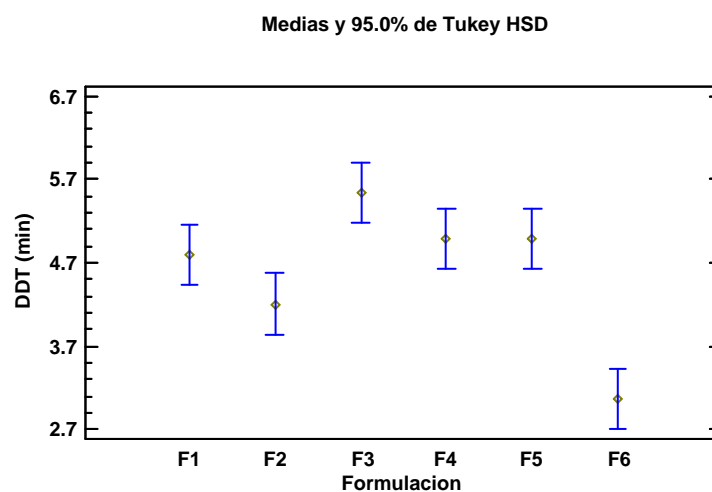


Figura 21. Gráfico de medias para el Tiempo de desarrollo de la masa (minutos), por formulación

Por otro lado, la formulación **F6** mostró el menor valor de DDT, con una media por debajo de **3.5 minutos**, significativamente inferior a todas las demás. Esta formulación contiene únicamente kiwicha y cañihua germinadas (10 % cada una), sin presencia de quinua, lo cual sugiere que la ausencia de



esta última reduce la capacidad de la masa para desarrollar estructura, posiblemente debido a su menor contenido proteico funcional. Las formulaciones **F1**, **F4** y **F5** mostraron valores intermedios de DDT, sin diferencias significativas entre ellas (traslape de intervalos), lo cual indica que el efecto combinado de los tres granos en proporciones distintas no difirió estadísticamente en estos casos. Estos resultados coinciden con estudios previos que indican que la harina de quinua germinada puede contribuir a mejorar las propiedades reológicas de las masas debido a la activación de enzimas y la liberación de proteínas solubles durante la germinación (Valencia-Chamorro, 2003; Alvarez-Jubete et al., 2010).

La **Tabla 31**, correspondiente al análisis de varianza (ANOVA) para la **consistencia de la masa (C en UF)** según las formulaciones elaboradas con harinas germinadas de granos andinos, muestra una **Razón-F de 30.30** y un **valor-p de 0.0000**, lo cual indica diferencias altamente significativas entre las formulaciones evaluadas ( $p < 0.05$ ). Esto significa que el tipo y proporción de harinas germinadas utilizadas (quinua, kiwicha y cañihua) influyó de manera estadísticamente significativa en la resistencia de la masa durante el amasado.

Tabla 31:

Tabla de ANOVA para Consistencia (C) de la masa en UF, por formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	39703.8	5	7940.76	30.30	0.0000
Intra grupos	3145.33	12	262.111		
Total (Corr.)	42849.1	17			

La **Figura 22** muestra el gráfico de medias con intervalo de confianza al 95% de Tukey HSD para la consistencia de la masa (C en UF) según las distintas formulaciones con harinas germinadas de granos andinos. Se observa que **la formulación F3** presenta una de las medias más altas en consistencia

(aproximadamente 940 UF), lo cual indica una masa con mayor resistencia al mezclado, propiedad relacionada con una mejor estructura de gluten y mayor capacidad de retención de agua (Wang et al., 2019). También F2, F4 y F5 presentan medias elevadas, sin diferencias significativas entre ellas según los rangos de error mostrados. Por el contrario, **la formulación F6** obtuvo la media más baja en consistencia (alrededor de 800 UF), siendo estadísticamente diferente del resto, lo que sugiere una masa más débil y posiblemente menor desarrollo de red proteica.

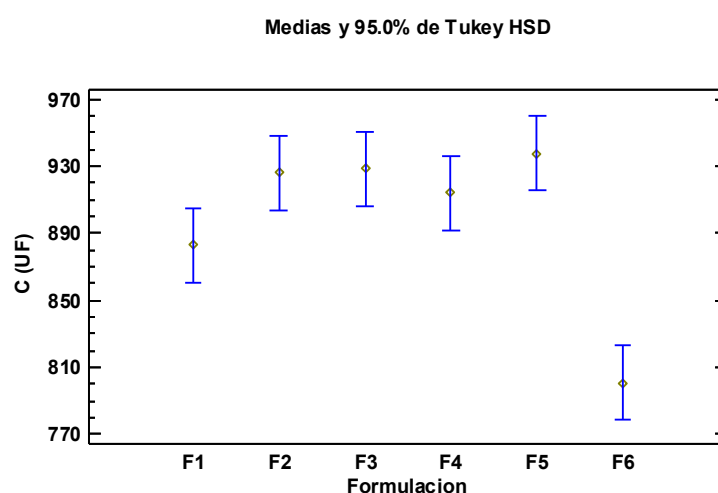


Figura 22. Gráfico de medias para consistencia de la masa (C en UF), por formulación

Esta diferencia podría atribuirse al mayor contenido de kiwicha y cañihua germinadas en F6, las cuales poseen menor contenido de gluten y modifican la matriz proteica de la harina de trigo (Pérez-Quirce et al., 2021). En cambio, formulaciones como F3, con mayor proporción de quinua, podrían haber favorecido una mejor interacción entre almidones y proteínas, contribuyendo a una mayor consistencia de la masa (Elgeti et al., 2014).

En la tabla 32, el análisis de varianza (ANOVA) para la absorción de agua corregida por humedad de harina (WAC) mostró diferencias altamente significativas entre las formulaciones ( $p < 0.0001$ ), con una razón-F de 32.36,

lo que indica que la proporción de harinas germinadas andinas influye significativamente en este parámetro farinográfico.

Tabla 32:

Tabla de ANOVA para Absorción de agua corregida para la consistencia de harina (%) de la masa, por formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	11.2575	5	2.25151	32.36	0.0000
Intra grupos	0.834867	12	0.0695722		
Total (Corr.)	12.0924	17			

Como se observa en la Figura 23, las formulaciones F3, F4 y F5 presentaron los valores más altos de absorción de agua (por encima de 66.5%), mientras que la formulación F6 mostró la menor absorción (alrededor de 64%).

Estos resultados podrían estar relacionados con la composición química de las harinas andinas germinadas, en particular su contenido de proteínas y fibra, que tienden a incrementar la afinidad por el agua durante el amasado (Pascual et al., 2022). La quinua y la cañihua germinadas, al ser fuentes importantes de proteínas con funcionalidad tecnológica, pueden contribuir a una mayor retención de agua en la masa (Valencia-Chamorro, 2003). Por otro lado, la formulación F6, sin harinas germinadas, tuvo un desempeño significativamente menor, lo que confirma la importancia de los granos andinos en la mejora de esta propiedad reológica. Este comportamiento concuerda con estudios previos donde se señala que la germinación mejora la hidratación de macronutrientes como proteínas y polisacáridos, aumentando la capacidad de absorción de agua de las harinas (Niro et al., 2019). Por tanto, las formulaciones con mayor porcentaje de harinas germinadas representan una alternativa funcional para mejorar la absorción de agua en masas panificables.

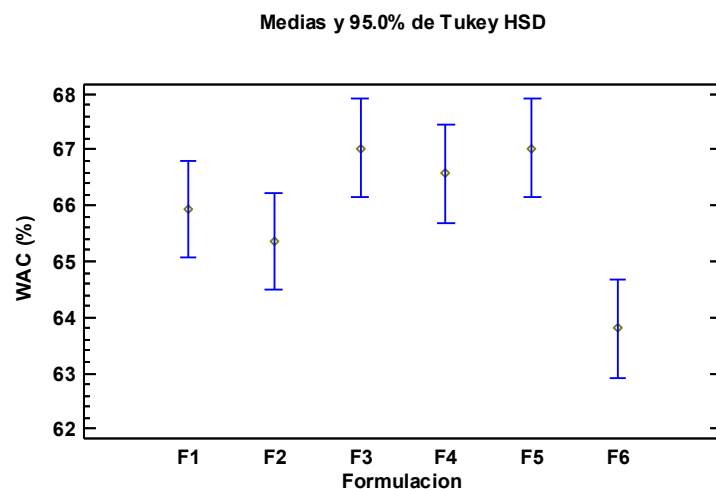


Figura 23. Gráfico de medias para Absorción de agua corregida (WAC) por humedad de harina (%), por formulación

La Tabla 33 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro farinográfico WAM, el cual indica la absorción de agua corregida por la humedad de la harina. Se observa que existe una diferencia significativa entre las formulaciones ( $p = 0.0002$ ), con una razón-F de 12.50, lo que evidencia que la composición de las harinas germinadas influyó de manera notable en esta propiedad.

Tabla 33:

Tabla de ANOVA para Absorción de agua corregida por humedad harina (%), por formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	21.3267	5	4.26533	12.50	0.0002
Intra grupos	4.09333	12	0.341111		
Total (Corr.)	25.42	17			

De acuerdo con la Figura 24, se puede apreciar que las formulaciones F3, F4 y F5 exhibieron los valores más elevados de absorción de agua (entre 66.0 % y 66.5 %), en comparación con la formulación F6 (aproximadamente 63.5 %), la cual no contiene harinas andinas germinadas. Estos resultados coinciden con lo encontrado en otros estudios, donde la incorporación de harinas de quinua, kiwicha o cañihua germinadas mejora la capacidad de hidratación de las mezclas, debido a cambios estructurales y funcionales que ocurren durante la germinación, como la ruptura parcial de almidones y la exposición de grupos hidroxilos (Elkhalifa et al., 2018; Valencia-Chamorro, 2003).

Por su parte, la formulación F2 mostró un valor inferior respecto a F3-F5, posiblemente por una menor proporción combinada de harinas funcionales. En este sentido, la germinación no solo potencia la actividad enzimática, sino que también mejora la solubilidad de los componentes, permitiendo una mayor interacción con el agua en la fase de amasado (Siddiqui et al., 2020).

En conclusión, las formulaciones que integraron mayor porcentaje de harinas andinas germinadas, en especial F3 y F4, mostraron un comportamiento farinográfico superior en términos de WAM, representando una opción viable para enriquecer matrices panificables y optimizar la funcionalidad de masas fermentadas.

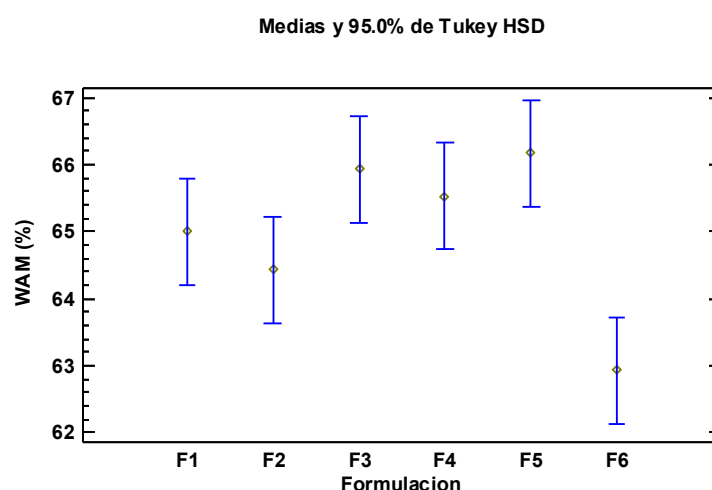


Figura 24. Gráfico de medias para Absorción de agua corregida (WAM) por humedad harina (%), por formulación

La Tabla 34 presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA) y el gráfico de medias con intervalo de confianza del 95% para la estabilidad de la masa (S), expresada en minutos, en función de las diferentes formulaciones evaluadas. El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre las formulaciones ( $p = 0.0038 < 0.05$ ), lo cual indica que el tipo y proporción de harinas de granos andinos germinados influyó notablemente en la estabilidad de la masa.

Tabla 34:

Tabla de ANOVA para Estabilidad de la masa (minutos), por formulación

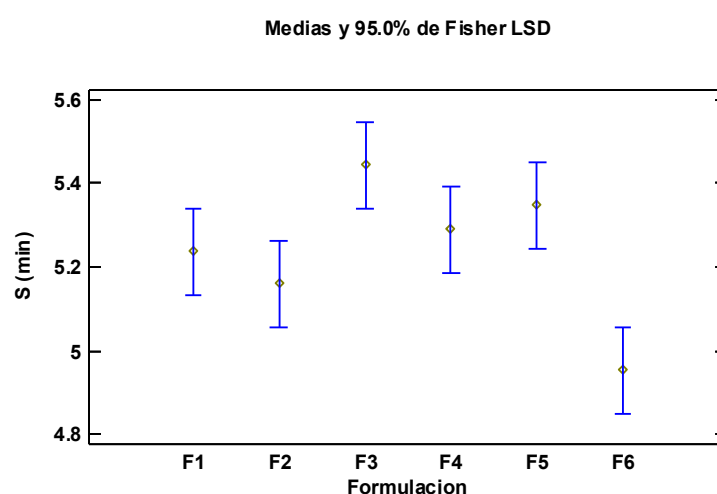
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.431383	5	0.0862767	6.51	0.0038
Intra grupos	0.159067	12	0.0132556		
Total (Corr.)	0.59045	17			

De acuerdo con la Figura 25, la formulación F3 (10% quinua, 5% kiwicha, 5% cañihua) obtuvo el mayor tiempo de estabilidad, cercano a los 5.5 minutos, seguido por F4 y F5 con valores similares, mientras que la formulación F6 (elaborada solo con 10% de cañihua) presentó la menor estabilidad (alrededor de 5 minutos), lo cual sugiere una menor tolerancia al mezclado prolongado. Este comportamiento puede estar relacionado con la composición proteica de las harinas utilizadas, ya que una mayor calidad proteica puede reforzar la estructura del gluten y, por ende, mejorar la estabilidad de la masa (Rosell et al., 2014). Asimismo, el efecto positivo de la combinación de diferentes granos puede atribuirse a la sinergia entre los compuestos funcionales y las propiedades reológicas de cada uno. Por ejemplo, la quinua germinada ha mostrado favorecer el desarrollo de la red

proteica y la retención de agua, factores que podrían contribuir a una mejor estabilidad durante el amasado (Alvarez-Jubete et al., 2010).

Figura 25. Gráfico de medias para Estabilidad (S) en minutos, por formulación

En la Tabla 35 se presentan los resultados de extensografía revelan diferencias marcadas en las propiedades reológicas de las masas formuladas con distintas proporciones de harinas germinadas de quinua, kiwicha y



cañihua. En general, las formulaciones F2, F3 y F4 mostraron los valores más altos de **energía** (hasta 132 cm<sup>2</sup> en F4), lo que indica una mayor capacidad de la masa para resistir la deformación antes de romperse, asociada a un mejor desarrollo de la red de gluten y a la presencia de proteínas funcionales de los granos andinos (Rosell et al., 2001).

Respecto a la **resistencia a la extensión**, las formulaciones F4 (100% harina de quinua y kiwicha germinadas) y F2 (mayor proporción de kiwicha) mostraron los valores más elevados (hasta 455 BU), lo que sugiere una mayor tenacidad de la masa. En cambio, F5 y F6 presentaron valores significativamente menores (entre 340 y 420 BU), posiblemente debido a la menor proporción de harinas con alta capacidad proteica o al efecto diluyente del trigo.

En cuanto a la **extensibilidad**, que refleja la capacidad de la masa para estirarse, la formulación F3 destacó con un valor de 200 mm, siendo la más extensible, lo que podría relacionarse con una buena sinergia entre las proteínas de quinua y cañihua germinadas. Por el contrario, F4, a pesar de tener alta resistencia, mostró menor extensibilidad (128–135 mm), lo que puede indicar una masa más rígida o menos flexible (ICC, 2004).

Tabla 35

Resultados de Extensografía de las masas de harina de granos andinos germinados (60 minutos)

Formulación	Harina Germinada de			Parámetros Extensográficos (60 minutos)		
	Quinua (%)	Kiwicha (%)	Cañihua (%)	Energía (cm <sup>2</sup> )	Resistencia extensión (BU)	Extensibilidad (mm)
F1	5	5	10	110	380	170
F1	5	5	10	115	400	175
F1	5	5	10	108	385	160
F2	5	10	5	120	420	150
F2	5	10	5	117	410	155
F2	5	10	5	123	430	148
F3	10	5	5	118	390	190
F3	10	5	5	122	395	200
F3	10	5	5	116	385	195
F4	10	10	0	125	440	130
F4	10	10	0	130	450	135
F4	10	10	0	132	455	128
F5	10	0	10	106	360	180
F5	10	0	10	110	370	185
F5	10	0	10	104	365	175
F6	0	10	10	115	410	160
F6	0	10	10	113	405	165
F6	0	10	10	117	420	158

La Tabla 36 muestran los resultados del análisis de varianza (ANOVA) y el gráfico de medias para la energía de la masa medida en cm<sup>2</sup>, una variable clave en la extensografía que refleja la tenacidad total de la masa frente al estiramiento. Según los resultados, el ANOVA indicó diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones ( $F = 18.86$ ;  $p =$



0.0000), lo que demuestra que la composición de harinas germinadas tuvo un efecto notable sobre la energía de la masa. Este hallazgo resalta que la proporción de granos andinos germinados influye directamente en la capacidad de la masa para resistir la deformación (ICC, 2004).

Tabla 36:

Tabla de ANOVA para energía de la masa (cm<sup>2</sup>), por formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	906.278	5	181.256	18.86	0.0000
Intra grupos	115.333	12	9.61111		
Total (Corr.)	1021.61	17			

La Figura 26 refuerza esta observación, mostrando que las formulaciones F3 y F4 presentaron los mayores valores de energía (aproximadamente 125–132 cm<sup>2</sup>), lo que se asocia con masas más estructuradas y resistentes. Estas formulaciones contienen mayores proporciones de quinua y kiwicha germinadas, las cuales, según investigaciones previas, aportan proteínas funcionales capaces de mejorar la red proteica de la masa (Almeida et al., 2013; Rosell et al., 2001).

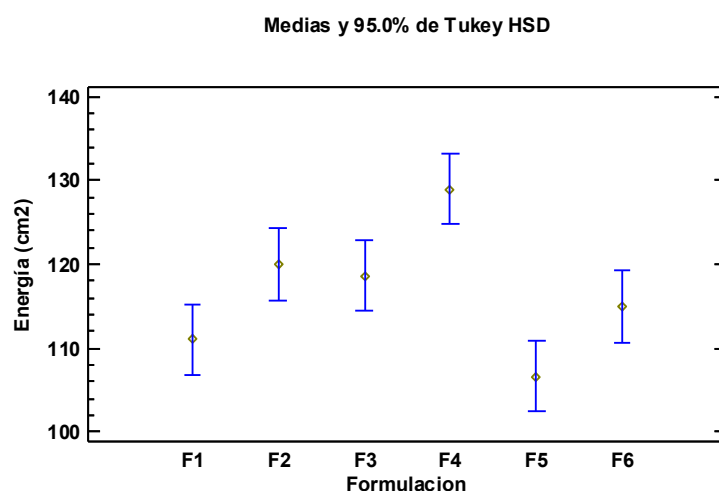


Figura 26. Gráfico de medias para energía de la masa (cm<sup>2</sup>), por formulación

La Tabla 37 y la Figura 27 presentan el análisis estadístico y gráfico de la **resistencia a la extensión** de las masas elaboradas con diferentes formulaciones de harinas germinadas de granos andinos. Este parámetro extensográfico, expresado en Brabender Units (BU), mide la fuerza requerida para estirar la masa, siendo un indicador directo de la fuerza de la red proteica. El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias altamente significativas entre las formulaciones ( $F = 40.73$ ;  $p = 0.0000$ ), lo que indica que la composición de las harinas germinadas influye de manera sustancial sobre este parámetro reológico. Esto coincide con estudios previos que demuestran que los niveles de proteínas y su grado de desnaturalización influyen directamente en la fuerza de la masa (Rosell et al., 2001).

Tabla 37:

Tabla de ANOVA para Resistencia a la extension de la masa (BU), por formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	12727.8	5	2545.56	40.73	0.0000
Intra grupos	750.0	12	62.5		
Total (Corr.)	13477.8	17			

Según la Figura 26, la formulación F4, con 10 % de quinua y 10 % de kiwicha germinadas, presentó la mayor resistencia a la extensión ( 455 BU), lo cual sugiere una red de gluten reforzada por proteínas funcionales provenientes de estos pseudocereales. Formulaciones como F2 y F5 también mostraron valores elevados, aunque levemente inferiores, lo cual refuerza el papel de estas harinas germinadas en el fortalecimiento de la matriz proteica.

Por otro lado, F6 exhibió la menor resistencia a la extensión ( 370 BU), lo que puede estar asociado a un menor contenido proteico funcional o a una sinergia desfavorable entre los componentes presentes. Esta menor resistencia

podría traducirse en masas más blandas o frágiles, menos adecuadas para procesos que requieran estructuras elásticas firmes (Moroni et al., 2011).

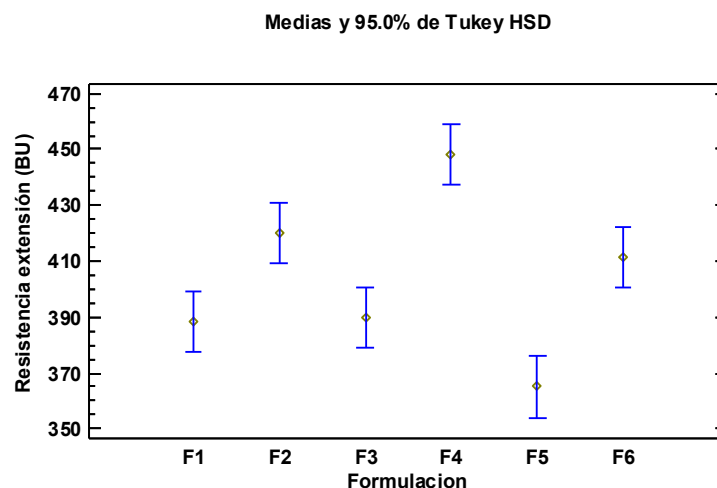


Figura 27. Gráfico de medias para Resistencia a la extensión de la masa (BU), por formulación

La **Tabla 38** y la **Figura 27** presentan los resultados del análisis estadístico y gráfico de la **extensibilidad de la masa**, medida en milímetros (mm), la cual describe la capacidad de la masa para estirarse antes de romperse, reflejando su elasticidad y comportamiento durante el formado del producto final.

El análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias altamente significativas entre las formulaciones evaluadas ( $F = 61.13$ ;  $p = 0.0000$ ), lo cual confirma que la composición de harinas germinadas empleada influye de forma considerable en la extensibilidad de las masas. Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan el impacto del tipo de harina y su tratamiento enzimático o térmico en las propiedades viscoelásticas de las masas (Wang et al., 2016).

Tabla 38:

Tabla de ANOVA para Extensibilidad de la masa (mm), por formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
---------------	----------------	-----------	-----------------	----------------	----------------

	<i>Cuadrados</i>		<i>Medio</i>		
Entre grupos	7505.61	5	1501.12	61.13	0.0000
Intra grupos	294.667	12	24.5556		
Total (Corr.)	7800.28	17			

En la Figura 28, se observa que la formulación **F3** (10 % quinua, 5 % kiwicha, 5 % cañihua germinadas) alcanzó el mayor valor de extensibilidad ( 200 mm), lo cual indica una masa con alta capacidad de elongación. Este comportamiento puede estar relacionado con una sinergia positiva entre las proteínas y carbohidratos presentes en la quinua germinada, que mejorarían la matriz proteica sin romper su elasticidad (Alvarez-Jubete et al., 2010). En contraste, la formulación **F4** (10 % quinua, 10 % kiwicha) mostró la menor extensibilidad ( 130 mm), lo que sugiere una masa más rígida y posiblemente más resistente, pero menos flexible. Esta reducción puede deberse a una alta concentración de proteínas estructurantes que limitan la elongación al formar redes demasiado densas. Las formulaciones **F5** y **F6** alcanzaron valores intermedios ( 170 mm), sugiriendo que una combinación equilibrada entre cañihua, quinua y kiwicha puede mantener una adecuada extensibilidad sin comprometer la resistencia de la masa. Estos resultados son relevantes para aplicaciones en productos panificados y extruidos, ya que una extensibilidad adecuada está asociada a una mejor formabilidad y textura final del producto (Ktenioudaki & Gallagher, 2012).

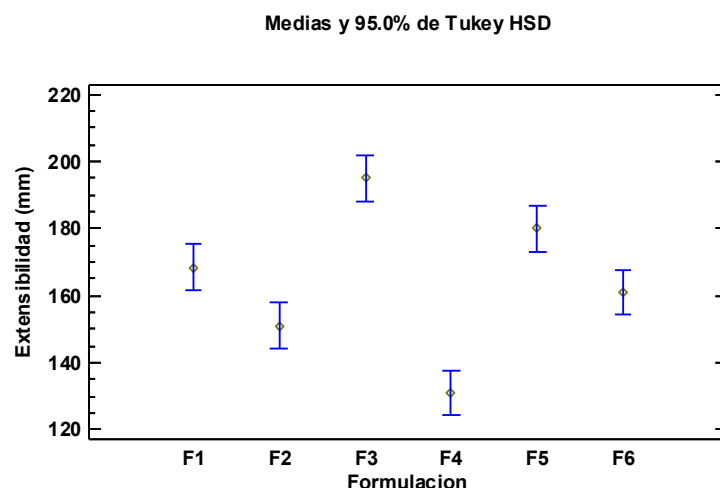


Figura 28. Gráfico de medias para Extensibilidad de la masa (mm), por formulación

#### 4.3. Características fisicoquímicas y nutricionales de las harinas de los granos germinados de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus*

En la tabla 39, se presenta la composición proximal de las masas de harina formuladas con harina de granos andinos germinados. La **composición proximal** de las masas formuladas con harinas germinadas de granos andinos muestra variaciones importantes entre las diferentes formulaciones, reflejando el efecto de la combinación de quinua, kiwicha y cañihua en los parámetros nutricionales evaluados. En cuanto a **proteína**, las formulaciones que contienen mayor porcentaje de quinua y cañihua (F6) alcanzaron los valores más altos (hasta 15.76%), lo cual concuerda con estudios que destacan el alto contenido proteico de estos granos germinados (Repo-Carrasco-Valencia et al., 2010). Por otro lado, F4, con altos porcentajes de quinua y kiwicha, registró los valores más bajos (14.41%), posiblemente por la ausencia de cañihua, que también aporta proteínas de buena calidad.

Respecto a las **cenizas**, indicador indirecto de contenido mineral, los valores oscilaron entre 2.50% y 3.00%, siendo F1 una de las más destacadas en este aspecto. Esto podría estar relacionado con el mayor porcentaje de cañihua, conocida por su riqueza mineral (Prego et al., 2018).

La **fibra total** varió de 7.07% a 9.88%, siendo F1 nuevamente la formulación con mayor contenido, lo que sugiere que la combinación de los tres granos en proporciones equilibradas favorece el contenido de fibra, componente clave en productos funcionales (Gonzales et al., 2022). Finalmente, los **polifenoles totales**, con valores entre 147.9 y 174.9 mg GAE/100g, muestran que F5 (quinua y cañihua) presentó los niveles más altos, lo que concuerda con estudios que reportan un incremento en compuestos fenólicos tras la germinación (Tang et al., 2015). Estos compuestos tienen un rol antioxidante importante, lo que otorga valor funcional a las formulaciones.

Tabla 39

Resultados de composición proximal de las masas de harina de granos andinos germinados.

Formulación	Harina Germinada de			Composición proximal de masas formuladas			
	Quinua (%)	Kiwicha (%)	Cañihua (%)	Proteína (%)	Cenizas (%)	Fibra Total (%)	Polifenoles Totales (mg GAE/100g)
F1	5	5	10	15.62	2.94	8.61	171.4
F1	5	5	10	15.4	2.93	8.98	167.6
F1	5	5	10	15.33	3	8.16	161.4
F2	5	10	5	15.32	2.66	7.39	152.2
F2	5	10	5	14.95	2.88	7.71	147.9
F2	5	10	5	15.69	2.83	8.1	147.9
F3	10	5	5	14.91	2.81	7.41	163.1
F3	10	5	5	14.89	2.77	7.63	170.5
F3	10	5	5	15.07	2.69	8.2	155.1
F4	10	10	0	14.91	2.5	7.07	153.5
F4	10	10	0	15.07	2.72	7.55	151
F4	10	10	0	14.41	2.63	7.42	157.8
F5	10	0	10	15.4	2.72	8.28	168.1
F5	10	0	10	15.1	2.96	8.56	174.7
F5	10	0	10	15.05	2.87	8.28	174.9
F6	0	10	10	15.51	2.98	8.11	151.5
F6	0	10	10	15.89	3.14	8.52	162.5
F6	0	10	10	15.76	2.94	8.69	165.2

La **Tabla 40** y la **Figura 29** muestran los resultados del análisis de varianza (ANOVA) y el gráfico de medias con intervalos de confianza al 95% para

el **contenido de proteína (%)** en las diferentes formulaciones de masa elaboradas con harinas germinadas de granos andinos.

En la tabla 40, el **valor de  $p = 0.0069$**  indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones ( $p < 0.05$ ), lo que implica que la combinación y proporción de harinas de quinua, kiwicha y cañihua influye en el contenido proteico final del producto.

Según la figura 28, la formulación **F6** (100% cañihua germinada) presentó el valor promedio de proteína más alto, lo cual coincide con reportes previos que destacan el alto contenido proteico de la cañihua, especialmente tras la germinación, debido a una mayor actividad enzimática y síntesis de proteínas solubles (Repo-Carrasco-Valencia et al., 2010). Por otro lado, **F3 y F4**, a pesar de contener quinua y kiwicha, muestran los valores más bajos, posiblemente por la menor proporción de cañihua, que parece tener un mayor impacto en este parámetro. Estos resultados coinciden con investigaciones previas que han demostrado que la germinación mejora la disponibilidad de proteínas y la calidad nutricional de los granos andinos (Tang et al., 2015; Gonzales et al., 2022), destacando la importancia de la selección de materias primas en el diseño de productos funcionales.

Tabla 40:

Tabla de ANOVA para contenido de proteína (%) de la masa, por formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.68271	5	0.336542	5.59	0.0069
Intra grupos	0.7224	12	0.0602		
Total (Corr.)	2.40511	17			

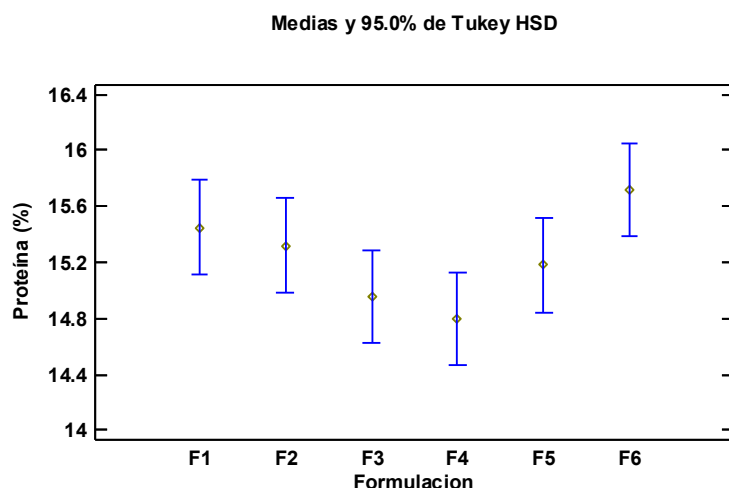


Figura 29. Gráfico de medias para contenido de proteína (%) de la masa, por formulación

La **Tabla 41** y la **Figura 29** presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA) y el gráfico de medias con intervalos de confianza del 95 % para el **contenido de cenizas (%)** en las masas formuladas con harinas de granos andinos germinados.

El resultado del ANOVA (Tabla 41) muestra un **valor de  $p = 0.0034$** , lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones respecto al contenido de cenizas ( $p < 0.05$ ). Esto implica que la proporción y tipo de harinas empleadas (quinua, kiwicha y cañihua germinadas) influye en el contenido de minerales presentes en las masas.

Tabla 41:

Tabla de ANOVA para el contenido de Cenizas (%) de la masa, por formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.31505	5	0.06301	6.68	0.0034
Intra grupos	0.1132	12	0.00943333		
Total (Corr.)	0.42825	17			



En la figura 30, se observa que la formulación **F6** (100 % cañihua germinada) tiene el valor promedio de cenizas más alto (~3.1 %), seguida de F1 (mezcla de los tres granos). Esta tendencia coincide con estudios previos que señalan que la cañihua es particularmente rica en minerales como calcio, hierro y zinc, y que la germinación puede mejorar su biodisponibilidad (Repo-Carrasco-Valencia et al., 2010). Por el contrario, F4 (mayor proporción de quinua y kiwicha) presenta el contenido más bajo (~2.65 %). Estos hallazgos resaltan la influencia significativa de la composición de granos andinos germinados en el perfil mineral del producto final, lo cual puede ser relevante para el desarrollo de alimentos funcionales dirigidos a mejorar el aporte de micronutrientes esenciales.

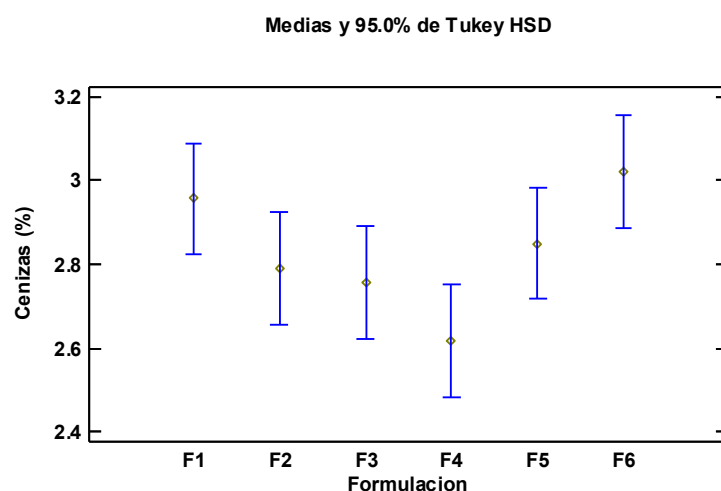


Figura 30. Gráfico de medias para el contenido de Cenizas (%) de la masa, por formulación

La **Tabla 42** y la **Figura 30** muestran los resultados del análisis de varianza (ANOVA) y el gráfico de medias para el **contenido de fibra total (%)** en masas elaboradas con harinas de granos andinos germinados.

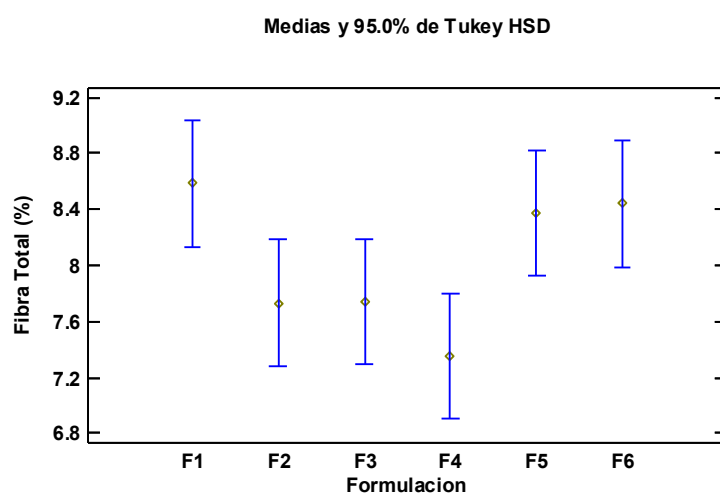
El análisis estadístico (Tabla 42) revela un **valor de  $p = 0.0029$** , lo cual indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones en cuanto a su contenido de fibra ( $p < 0.05$ ). Esto sugiere que el tipo y proporción de harinas utilizadas influye directamente en la cantidad de fibra dietaria presente en las masas.

Tabla 42:

Tabla de ANOVA para el contenido de Fibra (%) de la masa, por formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	3.68123	5	0.736246	6.92	0.0029
Intra grupos	1.27593	12	0.106328		
Total (Corr.)	4.95716	17			

En la figura 31, se observa que las formulaciones **F1** y **F6** presentan los valores promedio más altos de fibra total (~8.5 %), mientras que la **F4** muestra el valor más bajo (~7.2 %). Estas diferencias pueden estar relacionadas con la mayor proporción de cañihua en F1 y F6, ya que este grano destaca por su alto contenido de fibra, incluso tras el proceso de germinación. En contraste, F4 (10 % quinoa y 10 % kiwicha) muestra menor contenido de fibra, lo cual podría deberse a una menor concentración de compuestos estructurales no digeribles en esas harinas. En conjunto, estos



resultados indican que es posible modular el contenido de fibra de las masas germinadas mediante ajustes en la proporción de granos andinos, lo cual es relevante para el diseño de alimentos funcionales con beneficios digestivos y metabólicos.

Figura 31. Gráfico de medias para el contenido de Fibra (%) de la masa, por formulación

El análisis de varianza (Tabla 43) evidenció diferencias estadísticamente significativas en el contenido de polifenoles totales entre las diferentes formulaciones  $F(5,12) = 7.53$ ;  $p = 0.0021$ ), lo cual indica que la variación en las proporciones de harinas germinadas de quinua, kiwicha y cañihua influyó significativamente en este parámetro funcional.

Tabla 43:

Tabla de ANOVA para el contenido de Polifenoles totales mgGAE/100g), por formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1068.93	5	213.786	7.53	0.0021
Intra grupos	340.86	12	28.405		
Total (Corr.)	1409.79	17			

Según el gráfico de medias (Figura 32), la formulación F5 presentó el valor más alto de polifenoles ( 174.9 mg GAE/100g), mientras que F2 alcanzó el menor valor ( 147.9 mg GAE/100g). Estas diferencias pueden explicarse por la naturaleza fenólica intrínseca de cada grano andino, así como por los efectos de la germinación en la disponibilidad de compuestos antioxidantes. Estudios previos han demostrado que tanto la quinua como la cañihua poseen una alta concentración de polifenoles, flavonoides y otros compuestos antioxidantes, cuya biodisponibilidad puede incrementarse mediante la germinación (Paucar-Menacho et al., 2017; Repo-Carrasco-Valencia et al.,

2010). En particular, la cañihua destaca por su contenido de flavonoides como la quercetina y derivados fenólicos que no solo otorgan capacidad antioxidante, sino también propiedades antiinflamatorias (González et al., 2020). Así, el mayor contenido de cañihua (10%) en F5 pudo haber contribuido al alto nivel de polifenoles observados. Además, la germinación activa enzimas como la fenilalanina amonio-liasa (PAL), que participa en la biosíntesis de compuestos fenólicos, incrementando el contenido final de estos metabolitos secundarios (Silva-Castro et al., 2023).

Por otro lado, la formulación F2, con mayor proporción de kiwicha germinada (10%) y menor de cañihua (5%), registró el menor contenido fenólico. Aunque la kiwicha también contiene compuestos antioxidantes, su perfil fenólico es generalmente más bajo en comparación con la cañihua y la quinua (Tang et al., 2016).

Estos hallazgos evidencian que, además del tipo de grano, el tratamiento de germinación y su combinación en proporciones específicas pueden modular el contenido de compuestos bioactivos en matrices alimentarias, representando una estrategia tecnológica efectiva para el desarrollo de alimentos funcionales con propiedades mejoradas.

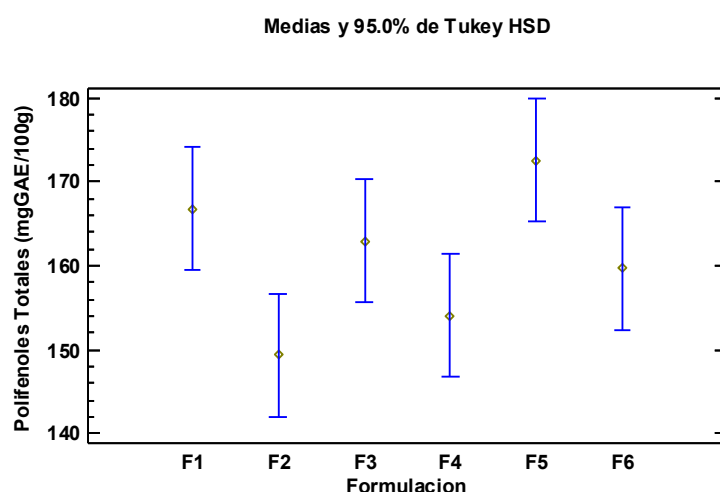


Figura 32. Gráfico de medias para el Tiempo de desarrollo de la masa (minutos), por formulación

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Entre las conclusiones tenemos:

- En relación al primer objetivo específico, se determinó que los parámetros óptimos de germinación para los granos de *Chenopodium quinoa*, *Chenopodium pallidicaule* y *Amaranthus caudatus* fueron distintos para cada especie, siendo la combinación de 28 °C por 48 horas para quinua, 30 °C por 72 horas para cañihua y 30 °C por 48 horas para kiwicha.
- Respecto al segundo objetivo, se establecieron formulaciones de sustitución óptima de harina de trigo con harinas germinadas de los granos andinos en proporciones del 10 al 15%, observándose una mejora significativa en la composición proximal de las masas, especialmente en proteínas y fibra dietética. Las formulaciones con mayor contenido de harina de cañihua germinada presentaron los mejores perfiles nutricionales, sin comprometer la estructura reológica de las masas panarias.
- En cuanto al tercer objetivo, las características reológicas farinográficas (DDT, estabilidad, WAC, WAM y consistencia) mostraron que las harinas germinadas influyen significativamente en el comportamiento de las masas, reduciendo el tiempo de desarrollo y mejorando la estabilidad. Asimismo, los análisis extensográficos evidenciaron que las formulaciones con harinas germinadas incrementaron la tenacidad y la resistencia de las masas, con adecuados niveles de extensibilidad.
- Finalmente, con respecto al cuarto objetivo, se determinó que las harinas germinadas presentaron mejores características fisicoquímicas y nutricionales en comparación con las harinas no germinadas. Se observó un incremento significativo en proteínas, fibra dietética y compuestos bioactivos.

## 5.2. Recomendaciones

Entre las recomendaciones tenemos

- **Aplicar los parámetros óptimos de germinación identificados** (28 °C - 48 h para quinua, 30 °C - 72 h para cañihua y 30 °C - 48 h para kiwicha) en escalas piloto o industriales, con el fin de obtener harinas germinadas de alto valor nutricional y funcional para su incorporación en productos panificados.
- **Fomentar el desarrollo de productos de panificación funcionales** mediante la sustitución parcial (10-15%) de harina de trigo con harinas germinadas de granos andinos, especialmente de cañihua, debido a su efecto positivo en la composición nutricional y en las propiedades reológicas de las masas.
- **Realizar estudios complementarios sobre la calidad sensorial y vida útil** de los productos elaborados con harinas germinadas de quinua, cañihua y kiwicha, a fin de evaluar su aceptación por parte de los consumidores y su comportamiento durante el almacenamiento.
- **Promover alianzas con productores locales de granos andinos**, para incentivar la germinación como proceso de valor agregado en origen, generando nuevas oportunidades de comercialización de ingredientes funcionales con identidad andina.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, E. L., Chang, Y. K., & Steel, C. J. (2013). Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 545–553.
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 21(2), 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>
- American Association of Cereal Chemists (2000). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 10 ed., St. Paul AACC, 2000, v 1, 2.

- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Primera edición. Lima, Peru: JB Grafic E.I.R.L.
- Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., & Galieni, A. (2019). Sprouted grains: A comprehensive review. *Nutrients*, 11(2), 421.
- Bevilaqua, G.A.P.; Eichelberger, L. (2004). Germinação e dormência in: CUNHA, G.R.; PIRES, J.L.F. Germinação pré-colheita em trigo. Passo Fundo: Embrapa, p. 137-180.
- Bojanská, T., Šmítalová, J., Vollmannová, A., Tokár, M., & Vietoris, V. (2019). Bakery Products with the Addition of Soybean Flour and their Quality After Freezer Storage of Dough. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 4 (Special issue 3), 18-22.
- Botero, B. (2015). Los germinados como alimento excepcional y medicina natural. Tercera edición Bogotá. Colombia. 132 p
- Bourne, M. (2002). Food texture and viscosity: concept and measurement. In M. C. Bourne (Ed.), *Food Texture and Viscosity (Second Edition)*. UK, London: Academic Press.
- Brabender (2019). Soluciones para el control de calidad de alimentos y piensos. P. 14
- Bravo, M., Reyna, J., & Huapaya, M. (2017). Estudio químico y nutricional de granos andinos germinados de quinua (*Chenopodium Quinoa*) y Kiwicha (*Amarantus Caudatus*). *Revista peruana de química e ingeniería química*, 16(1), 54-60.
- Brend, Y., Galili, L., Badani, H., Hovav, R., & Galili, S. (2012). Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Red and Yellow Quinoa (< i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Seeds as Affected by Baking and Cooking Conditions. *Food and Nutrition Sciences*, 03(08), 1150–1155.
- Buckeridge, M.S.; Santos, H.P.; Tine, M.A.S; Aidar, M.P.M. (2008). Mobilização de reservas In: Ferreira, A.G.; Borghetti, F. (Orgs.) Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed. 163-188.
- Castro, R.D.; Bradford, K.J.; Hilhorst, H.W.M. (2008). Embebição e reativação do metabolismo. In: Ferreira, A.G.; Borghetti, F. (Orgs.). Germinação do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed. p.149-162.

- Cevallos-Casals, B. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2010). Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species. *Food Chemistry*, 119(4), 1485–1490. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.030>
- Chandra, S., Singh, S., & Kumari, D. (2019). Impact of germination on proximate composition and bioactive properties of quinoa grains. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 2787-2793. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03753-6>
- D'Amico, S., & Schoenlechner, R. (2017). Amaranth: Its Unique Nutritional and Health-Promoting Attributes. In *Gluten-Free Ancient Grains: Cereals, Pseudocereals, and Legumes: Sustainable, Nutritious, and HealthPromoting Foods for the 21st Century* (pp. 131–159).
- Delcour, J. A.; Hoseney, R. C. (2010). Principles of cereal science and technology. ed. 3. St. Paul, Minnessota (EUA): AACC, v 3, p. 280.
- Delgado Villalta, S., & Neira Yauri, A. A. (2016). Elaboración, aceptabilidad, propiedades reológicas, características fisicoquímicas y valor nutricional del pan enriquecido con harina de TARWI, Arequipa 2016.
- Dobraszczyk, B., & Morgenstern, M. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38(3), 229-245.
- Dominguez, F.; Cejudo, F.J. (2005) Pattern of endoproteolysis following wheat grain germination. *Physiologia Plantarum*, v. 95, n. 2, p. 253-259.
- Dronzek, B. L.; Hwang, P.; Bushuk, W. (2004) Scanning electron microscopy of starcfrom sprouted wheat. *Cereal Chemistry*, v. 49, n. 2, p. 232-239.
- Elgeti, D., Meuser, F., & Becker, T. (2014). Impact of untreated and malted sorghum flours on dough rheology and quality of composite bread. *Journal of Cereal Science*, 60(2), 344–352. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.05.009>
- Elkhalifa, A. E. O., Bernhardt, R., & Schwenke, K. D. (2018). Effect of fermentation on the functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry*, 109(4), 645-650.
- Escudero, N., González, C., & Giménez, M. (2011). Nutritional improvements and characteristics of amaranth germination. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66, 196-202. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0245-2>
- Falcinelli, B., Calzuola, I., Gigliarelli, L., Torricelli, R., Polegri, L., Vizioli, V., ... & Marsili, V. (2018). Phenolic content and antioxidant activity of wholegrain



- breads from modern and old wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars and ancestors enriched with wheat sprout powder. *Italian Journal of Agronomy*, 13(4), 297-302.
- FAO. (2018). Food and agriculture data. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Acesso em 06/05/2018.
- FAO/WHO. 2011. Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security. Regional Office for Latin America and the Caribbean.
- Faridi, H., & Faubion, J. M. (2015). Dough rheology and baked product texture. In Faridi, H., & Faubion, J. M, Dough rheology and baked product texture. USA, New York: Springer.
- Fischer, S., Wilckens, R., Jara, J., & Aranda, M. (2013). Controlled water stress to improve functional and nutritional quality in quinoa seed | Estres hidrico controlado para mejorar la calidad funcional y nutricional en semilla de quinoa. *Boletin Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 12(5).
- Gonzales, G. F., Salazar, D. & Rojas, M. (2022). Propiedades funcionales de granos andinos germinados. *Revista Peruana de Ciencias Alimentarias*, 18(2), 89–98.
- González, J., Miranda, M., & Vega-Gálvez, A. (2020). Nutritional properties of Andean grains: Focus on cañihua (*Chenopodium pallidicaule*). *Journal of Cereal Science*, 95, 103051. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103051>
- González, J., Miranda, M., & Vega-Gálvez, A. (2022). Nutritional composition and bioactive components in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A review. *Foods*, 11(4), 583. <https://doi.org/10.3390/foods11040583>
- Gorinstein, S., Vargas, O. J. M., Jaramillo, N. O., Salas, I. A., Ayala, A. L. M., Arancibia-Avila, P., Toledo, F., Katrich, E., & Trakhtenberg, S. (2007). The total polyphenols and the antioxidant potential of some selected cereals and pseudocereals. *European Food Research and Technology*, 225(3–4), 321–328.
- Gulewicz, P., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., Cie lik, E., & Vidal-Valverde, C. (2014). Effect of germination on bioactive compounds and antioxidant activity of legumes. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 21(1), 36–40. <https://doi.org/10.5604/12321966.1108616>

- Hadna ev, T. D. e., Pojic, M., Hadna ev, M., & Torbica, A. (2011). The role of empirical rheology in flour quality control. In I Akyar (Ed), Wide spectra of quality control (335 - 366). Croatia, Rijeka: InTech.
- Hinostroza, M. (2020). Efecto de la germinación de quinua y kiwicha en el contenido de fenólicos totales, betalainas, vitamina C y actividad antioxidante.
- Hübner, F., & Arendt, E. K. (2013). Germination of cereal grains as a way to improve the nutritional value: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(8), 853-861.
- Infantes, Y.; Gutiérrez, A. & Gonzales, A. (2015). Optimización por diseño de mezclas de la aceptabilidad de una barra energética a base de quinua (*Chenopodium quinoa*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium Pallidicaule*) evaluada en niños. *Agroind. Sci.* 5(1) (2015).
- Jayme-Oliveira, A.; Ribeiro Junior, W. Q.; Ramos, M. L. G.; Ziviani, A. C.; Jakelaitis, A. (2017). Amaranth, quinoa, and millet growth and development under different water regimes in the Brazilian Cerrado.
- Jones, B.L. Endoproteases of barley and malt. *Journal of Cereal Science*, v. 42, p. 139–156, 2005.
- Jorge Sánchez, José Ramón. (2015). “Sustitutos del trigo en la elaboración del pan”. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Juárez, S. & Quispe, M. (2016). Aceptabilidad y evaluación proteica de galletas integrales elaboradas con harina de Cañihua (*Chenopodium Pallidicaule* Aellen), lactosuero y salvado de trigo. Tesis para optar el título profesional de Licenciada en Nutrición Humana, Universidad Nacional de San Agustín, Perú.
- Juki , M., Komleni , D. K., Mastanjevi , K., Mastanjevi , K., Lu an, M., Popovici, C., Lukinac, J. (2019). Influence of damaged starch on the quality parameters of wheat dough and bread. *Ukrainian Food Journal*, 8(3), 512-521.
- Kamp, Van Der J. W.; Poutanen, K.; Seal, C. J.; Richardson, D. P. (2014). The Healthgrain definition of ‘whole grain’. *Food & Nutrition Research*, v. 58, 22100.
- Khazaei, H., Subedi, M., Nickerson, M., & Martínez-Villaluenga, C. (2021). Effect of germination on the nutritional and functional properties of food pulses: A

- comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 354–366. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.059>
- Kohajdova, Z., & Karovicova, J. (2007). Effect of incorporation of spelt flour on the dough properties and wheat bread quality. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 14(4).
- Léon, A. (2007). De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación em Iberoamérica. Córdoba: Hugo Báez, 480p.
- López-Mejía, O. A., López-Malo, A., & Palou, E. (2014). Antioxidant capacity of extracts from amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) seeds or leaves. *Industrial Crops and Products*, 53, 55-59.
- Maldonado, S. B., Castro-Alayo, E. M., & Flores, R. M. (2019). Evaluación del efecto de la germinación en las propiedades funcionales de harinas de quinua, kañiwa y kiwicha. *Revista Peruana de Ciencias Agrarias*, 22(2), 56–64.
- Marti, A., Cardone, G., Pagani, M. A., & Casiraghi, M. C. (2018). Flour from sprouted wheat as a new ingredient in bread-making. *LWT*, 89, 237-243.
- Mashayekh, M., Mahmoodi, M. R., & Entezari, M. H. (2008). Effect of fortification of defatted soy flour on sensory and rheological properties of wheat bread. *International journal of food science & technology*, 43(9), 1693-1698.
- Ministerio de Salud. (2020, 14 de noviembre). Minsa: Cuatro de cada cien peruanos mayores de 15 años padecen diabetes en el Perú. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/314367-minsa-cuatro-de-cada-cien-peruanos-mayores-de-15-anos-padecen-diabetes-en-el-peru>
- Montoya, C., Quispe, D., & Goyzueta, B. (2021). Mineral composition and antioxidant capacity of *Amaranthus caudatus* grown in the Peruvian Andes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99, 103875. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103875>
- Moroni, A. V., Dal Bello, F., & Arendt, E. K. (2011). Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue? *Food Microbiology*, 27(6), 749–756.
- Niro, S., Fratianni, A., Panfili, G., Falasca, L., Cinquanta, L., & Coppola, R. (2019). Technological and nutritional properties of legume flours. *Foods*, 8(9), 1–14. <https://doi.org/10.3390/foods8090439>

- Nyachiro, J.M.; Clarke, F.R.; Depauw, R.M.; Knox, R.E.; Armstrong, K.C. (2002). Temperature effects on seed germination and expression of seed dormancy in wheat. *Euphytica* v. 126, n. 1, p 123-127.
- Olivier, J.R; Alen, H.M. (2012). The prediction of bread banking performance using the farinograph of extensograph. *Journal of Cereal Science*, v. 15, n. 1, p. 79-89.
- Pascual, A., Romero, R., & Palacios, C. (2022). Efecto de la germinación sobre las propiedades funcionales de harinas andinas. *Revista de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 18(2), 87–95.
- Pasko, P., Barton, H., Zagrodzki, P., Gorinstein, S., Folta, M., & Jedryczko, A. (2010). Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry*, 115(3), 994–998. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.084>
- Pérez-Quirce, S., Ronda, F., & Lazaridou, A. (2021). Impact of alternative flours on the technological and nutritional properties of bakery products. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.033>
- Piga, A., Catzeddu, P., Farris, S., Roggio, T., Sanguinetti, A. M., & Scano, E. A. (2005). Texture evolution of bakery products during staling. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 147–152.
- Pomeranz, Y. (2008). Chemical composition of kernel structures. In: POMERANZ, Y. *Wheat: chemistry and technology*. 3. ed., v. 1 St. Paul (USA): AACC, p. 68114.
- Popinigis, F. (2015). *Fisiologia da semente*. Brasília: AGIPLAN. 289p.
- Prego, I., Balcázar, S. & Figueroa, J. (2018). Contenido de minerales en granos andinos. *Ciencia e Investigación Agraria*, 45(1), 37–44.
- Quiroga-Torres, D., Morales, E., & Pinto, M. (2021). Efecto del remojo prolongado sobre la hidratación y la calidad microbiológica de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Peruana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2(1), 25-32.
- Ramos Díaz, J. M., Kirjoranta, S., Tenitz, S., Penttilä, P. A., Serimaa, R., Lampi, A. M., & Arendt, E. K. (2013). Use of amaranth, quinoa and buckwheat flours in the development of gluten-free extruded snacks. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 627–633.

- Rao, R. S. P., & Muralikrishna, G. (2011). Water soluble feruloyl polysaccharides from rice and ragi: Changes upon sprouting and their consequence on antioxidant activity. *Phytochemistry*, 72(6), 539–547. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.002>
- Rastrelli, L., Saturnino, P., Schettino, O., & Dini, A. (1998). Studies on the constituents of *Chenopodium pallidicaule* (Canihua) seeds. Isolation and characterization of two new flavonol glycosides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(8), 2020–2024.
- Reguera, M., Conesa, C. M., Gil-Moya, S., Haros, C. M., & Pérez-Clemente, R. M. (2012). Germination of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa*): Imbibition kinetics and changes in protein and starch. *Journal of Cereal Science*, 55(2), 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.10.005>
- Repo de Carrasco, R., & Encina Zelada, C. R. (2010). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinua (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*).
- Repo-Carrasco-Valencia, R. & Serna, L. A. (2010). Quinoa y cañihua: fuentes nutricionales tradicionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 60(2), 164–170.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., & Serna, L. A. (2010). Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) como fuente de fibra dietaria y minerales. *Revista Peruana de Biología*, 17(2), 277–282. <https://doi.org/10.15381/rpb.v17i2.32>
- Repo-Carrasco-Valencia, R., & Serna, L. A. (2011). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. *Cereal Chemistry*, 88(5), 490–494. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-05-11-0065>
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Encina, C. R., Binaghi, M. J., Greco, C. B., & Beccaria, A. (2010). Effects of germination on chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of Andean pseudocereals. *Food Chemistry*, 119(3), 770–778.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Peña, J. & Kallio, H. (2010). Nutritional profile of kiwicha (*Amaranthus caudatus*), cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), and quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Chemistry*, 119(1), 50–56.

- Repo-Carrasco-Valencia, R., Peña, J., & Kallio, H. (2014). Dietary fiber and mineral content of Andean grains (kañiwa, kiwicha and cañihua). *Plant Foods for Human Nutrition*, 69(1), 18–24. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0387-8>
- Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 75–81. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00054-0](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00054-0)
- Sanz-Penella, J. M., Wronkowska, M., Soral-mietana, M., & Haros, M. (2013). Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 679–685.
- Saulnier, L.; Sado, P. E.; Branlard, G.; Gilles, C.; Guillon, F. (2007). Wheat arabinoxylans: Exploiting variation in amount and composition to develop enhanced varieties. *Journal of Cereal Science*, v. 46 (3), p. 261-281.
- Scheuer, P. M.; Francisco, A.; Miranda, M. Z., Limberger, V. M. (2011). Trigo: características e utilização na panificação. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 13, (2), p. 211-222.
- Shingare, S. P., & Thorat, B. N. (2013). Fluidized bed drying of sprouted wheat (*Triticum aestivum*). *International journal of food engineering*, 10(1), 29-37.
- Siddiqui, S. A., Kaleem, M., & Khan, M. A. (2020). Impact of germination on functional properties of grains and legumes: A review. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 855-869.
- Silupu, J. W. E., Plata, C. E. G. R., Salcedo, R. P., & Silvera, C. R. Y. (2021). Caracterización Fisicoquímica de Pan con Sustitución Parcial de Harina de Trigo por Harina de Quinoa (*chenopodium quinoa willd*) y Kiwicha (*amaranthus caudatus l.*) Germinadas. *SENDAS*, 2(2), 69-83.
- Silva-Trujillo, R., Vargas-Toyama, E., & Huamán, L. (2020). Dinámica de absorción de agua y respiración en semillas de quinoa durante la germinación. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 321-328. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.11>
- Skendi, A., Irakli, M., Chatzopoulou, P., & Papageorgiou, M. (2019). Aromatic plants oLamiaceae family in a traditional bread recipe: Effects on quality and phytochemicacontent. *Journal of food biochemistry*, 43(11), 1-11.

- Sobrinho, M., Gutiérrez, C., Cunha, A. J., Dávila, M., & Alarcón, J. (2014). Desnutrición infantil en menores de cinco años en Perú: tendencias y factores determinantes. *Revista panamericana de salud pública*, 35, 104-112.
- Šramková, Z.; Gregová, E.; Šturdík, E. (2009). Chemical composition and nutritional quality of wheat grain - Review. *Acta Chimica Slovaca*, Vol.2, No.1, 115 – 138.
- Stampfli, L., Nersten, B., & Molteberg, E. (2016). Effects of emulsifiers on farinograph and extensograph measurements. *Food chemistry*, 57(4), 523-530.
- Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., & Tsao, R. (2015). Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry*, 166, 380–388.
- Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., & Tsao, R. (2015). Characterization of phenolics and antioxidant activities of wet- and dry-processed germinated legumes. *Food Chemistry*, 185, 99–105.
- Treadwell, D., Hochmuth, R., Landrum, L., & Laughlin, W. (2020). Microgreens: A New Specialty Crop: HS1164, rev. 9/2020. *Edis*, 2020(5).
- Valencia-Chamorro, S. A. (2003). Quinua: producción, transformación industrial y comercialización. *FAO*.
- Valencia, R. C., A. Acevedo de La Cruz, J. C. Icochea Alvarez and H. Kallio. (2009). Chemical and functional characterization of Kañ iwa (*Chenopodium pallidicaule*) grain, extrudate and bran. *Plant Foods Hum. Nutr.* 64:94–101.
- Vasquez-Lara, F., Verdú Amat, S., Islas, A. R., Barat Baviera, J. M., & Grau Meló, R. (2016). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(2), 307-317.
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2541-2547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>

- Venskutonis, P. R., & Kraujalis, P. (2013). Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: a review on composition, properties, and uses. *Comprehensive reviews*
- Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>
- Vollmanova, A., Margitanová, E., Kujovsky, M., & Cicová, I. (2013). Risk of cadmium and lead transfer from the soil into seeds of chosen minor plants. *Ochrona środowiska i Zasobów Naturalnych*, 24(2 (56)).
- Wang, S., & Yu, J. (2019). Mechanisms and impact of the interactions between starch and non-starch polysaccharides: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.048>
- Zaidel, D. A., Chin, N., & Yusof, Y. (2010). A review on rheological properties and measurements of dough and gluten. *Journal of Applied Sciences (Faisalabad)*, 10(20), 2478-2490.
- Zeballos, S.; Mamani, F. & Cruz N. (2017). Potencial alimenticio de los germinados de cañihua (*Chenopodium Pallidicaule* Aellen). *Revista de la Carrera de Ingeniería*
- Zhang, H., Zhang, W., Xu, C., Zhou, H., & Wang, F. (2015). Effect of germination on the protein profiles and functional properties of rice flour. *Cereal Chemistry*, 92(1), 46–52.

## VII. ANEXOS

### Anexo 1

#### Análisis estadístico de la Germinación

## GERMINACION DE QUINUA

### Análisis de Varianza para Humedad (%)



<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Tiempo Remojo (h)	81.1787	1	81.1787	30.10	0.0027
B: Tiempo germinación (h)	2174.13	1	2174.13	806.13	0.0000
AA	0.0675558	1	0.0675558	0.03	0.8804
AB	21.9024	1	21.9024	8.12	0.0358
BB	119.418	1	119.418	44.28	0.0012
Error total	13.485	5	2.69701		
Total (corr.)	2423.34	10			

R-cuadrada = 99.4435 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.8871 por ciento

Error estándar del est. = 1.64226

Error absoluto medio = 0.866542

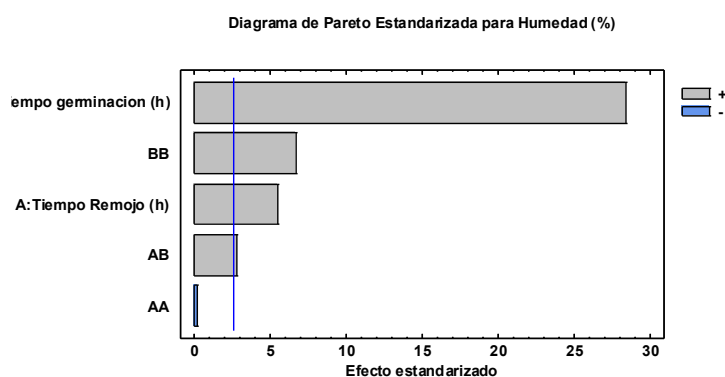
Estadístico Durbin-Watson = 2.93069 (P=0.9338)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.467733

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Humedad (%) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.4435% de la variabilidad en Humedad (%). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98.8871%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.64226. El error medio absoluto (MAE) de 0.866542 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



### Coef. de regresión para Humedad (%)

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	44.8465
A:Tiempo Remojo (h)	-0.712971
B:Tiempo germinación (h)	-2.70616

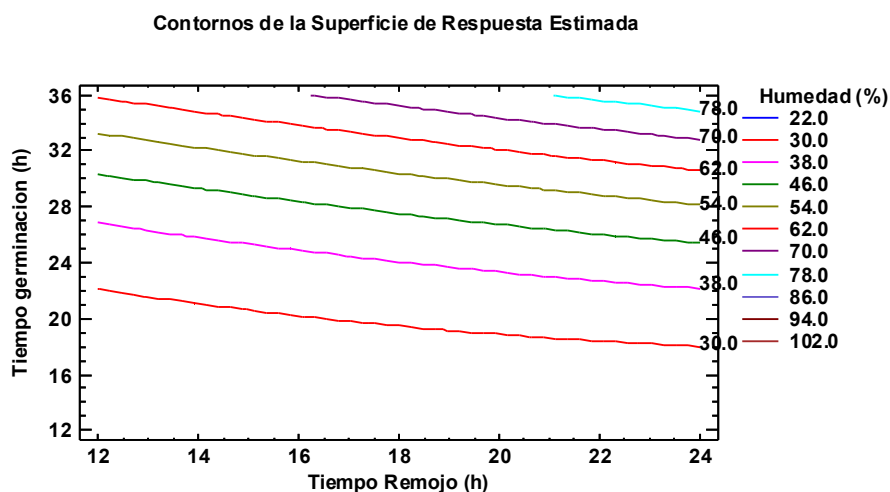
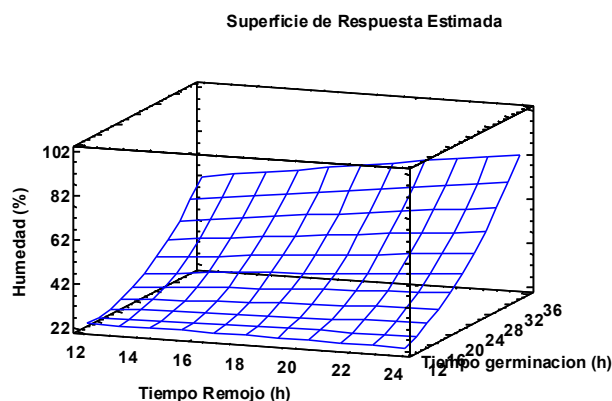
AA	-0.00682994
AB	0.073125
BB	0.071894

### El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Humedad (\%)} = 44.8465 - 0.712971 * \text{Tiempo Remojo (h)} - 2.70616 * \text{Tiempo germinacion (h)} - 0.00682994 * \text{Tiempo Remojo (h)}^2 + 0.073125 * \text{Tiempo Remojo (h)} * \text{Tiempo germinacion (h)} + 0.071894 * \text{Tiempo germinacion (h)}^2$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.



### Análisis de Varianza para Proteína (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
--------	-------------------	----	----------------	---------	---------

A:Tiempo Remojo (h)	0.00978056	1	0.00978056	2.61	0.1673
B:Tiempo germinacion (h)	24.5774	1	24.5774	6551.90	0.0000
AA	0.00126609	1	0.00126609	0.34	0.5865
AB	0.001225	1	0.001225	0.33	0.5924
BB	0.0127451	1	0.0127451	3.40	0.1246
Error total	0.0187559	5	0.00375118		
Total (corr.)	24.6199	10			

R-cuadrada = 99.9238 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.8476 porciento

Error estándar del est. = 0.0612469

Error absoluto medio = 0.0363592

Estadístico Durbin-Watson = 1.95858 (P=0.4486)

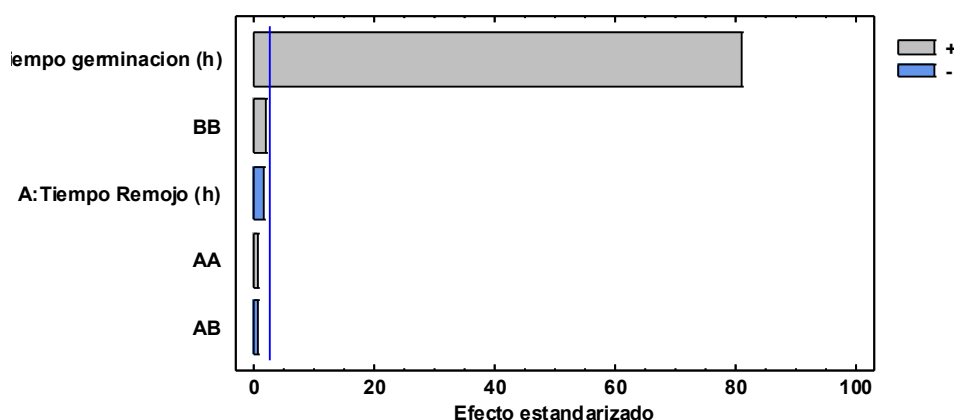
Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.00547026

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Proteína (%) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.9238% de la variabilidad en Proteína (%). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.8476%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.0612469. El error medio absoluto (MAE) de 0.0363592 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Proteína (%)



### Coef. de regresión para Proteína (%)

Coeficiente	Estimado
-------------	----------

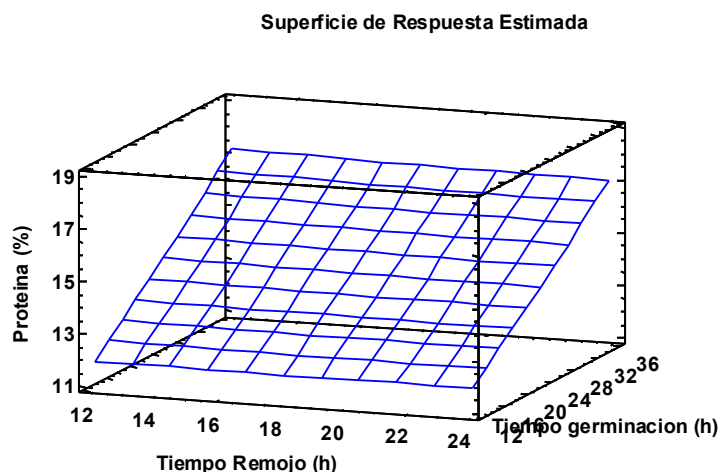
constante	9.79267
A:Tiempo Remojo (h)	-0.0292744
B:Tiempo germinacion (h)	0.193324
AA	0.000935013
AB	-0.000546875
BB	0.000742727

### El StatAdvisor

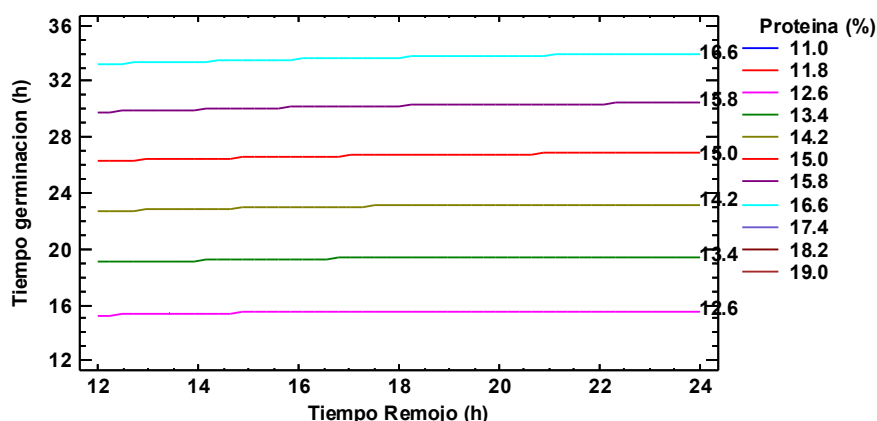
Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Proteína (\%)} = 9.79267 - 0.0292744 * \text{Tiempo Remojo (h)} + 0.193324 * \text{Tiempo germinacion (h)} + 0.000935013 * \text{Tiempo Remojo (h)}^2 - 0.000546875 * \text{Tiempo Remojo (h)} * \text{Tiempo germinacion (h)} + 0.000742727 * \text{Tiempo germinacion (h)}^2$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.



Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



### Análisis de Varianza para Cenizas (%)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo Remojo (h)	0.00000427543	1	0.00000427543	0.01	0.9077
B:Tiempo germinacion (h)	0.0764093	1	0.0764093	265.87	0.0000
AA	0.000220308	1	0.000220308	0.77	0.4213
AB	0.0001	1	0.0001	0.35	0.5809
BB	0.0000792513	1	0.0000792513	0.28	0.6219
Error total	0.00143694	5	0.000287389		
Total (corr.)	0.0783636	10			

R-cuadrada = 98.1663 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96.3326 porciento

Error estándar del est. = 0.0169525

Error absoluto medio = 0.00909453

Estadístico Durbin-Watson = 1.78004 (P=0.3395)

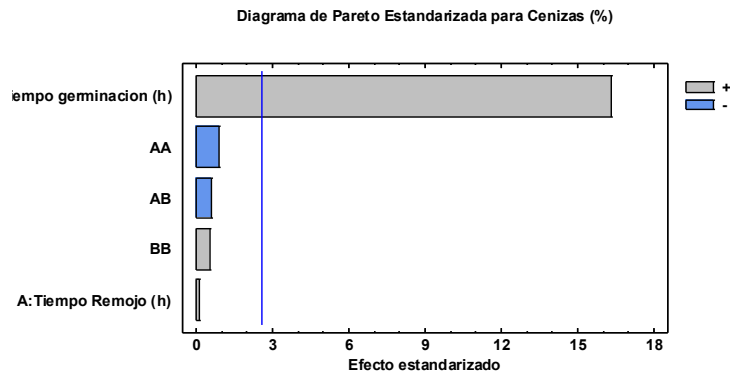
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.0977137

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Cenizas (%) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 98.1663% de la variabilidad en Cenizas (%). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 96.3326%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.0169525. El error medio absoluto (MAE) de 0.00909453 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si

haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



### Coef. de regresión para Cenizas (%)

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	1.84334
A:Tiempo Remojo (h)	0.0179739
B:Tiempo germinacion (h)	0.0122195
AA	-0.000390033
AB	-0.00015625
BB	0.0000585681

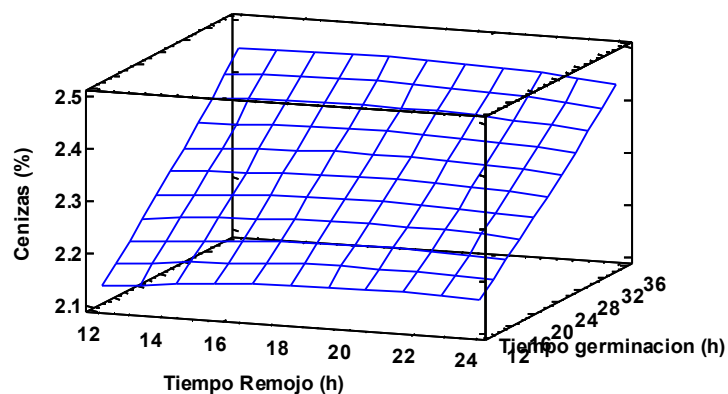
### El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

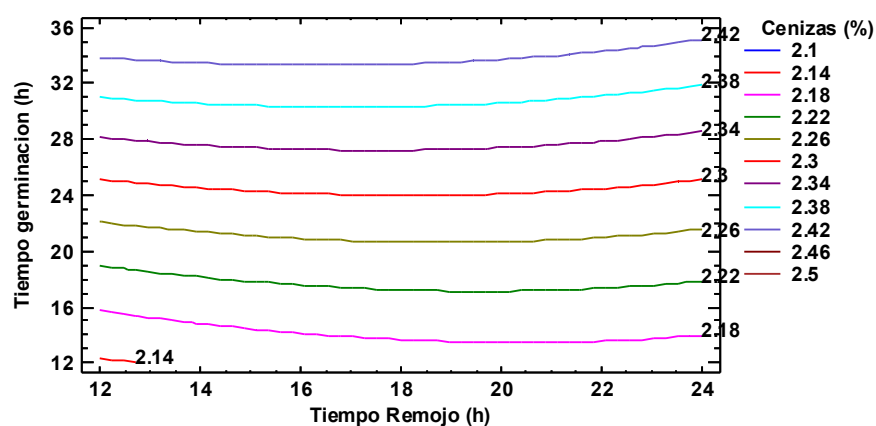
$$\text{Cenizas (\%)} = 1.84334 + 0.0179739 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)} + 0.0122195 \cdot \text{Tiempo germinacion (h)} - 0.000390033 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)}^2 - 0.00015625 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)} \cdot \text{Tiempo germinacion (h)} + 0.0000585681 \cdot \text{Tiempo germinacion (h)}^2$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.

Superficie de Respuesta Estimada



Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



### Análisis de Varianza para Fibra total (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo Remojo (h)	0.000795562	1	0.000795562	0.38	0.5650
B:Tiempo germinacion (h)	5.15801	1	5.15801	2458.63	0.0000
AA	0.00088255	1	0.00088255	0.42	0.5452
AB	0.004225	1	0.004225	2.01	0.2151
BB	0.00127077	1	0.00127077	0.61	0.4716
Error total	0.0104896	5	0.00209792		
Total (corr.)	5.1752	10			

R-cuadrada = 99.7973 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.5946 por ciento

Error estándar del est. = 0.0458031

Error absoluto medio = 0.0256745

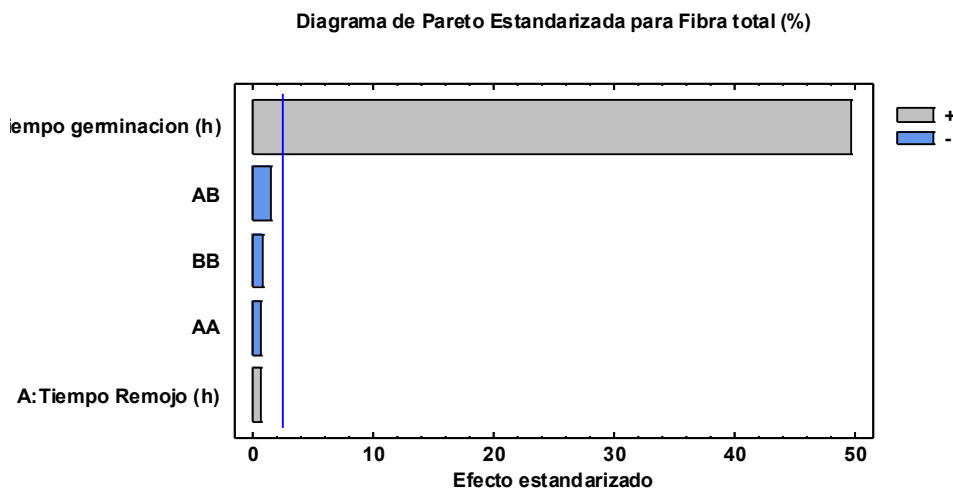
Estadístico Durbin-Watson = 2.26507 (P=0.6403)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.16266

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Fibra total (%) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.7973% de la variabilidad en Fibra total (%). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.5946%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.0458031. El error medio absoluto (MAE) de 0.0256745 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



### Coef. de regresión para Fibra total (%)

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	3.16908
A:Tiempo Remojo (h)	0.0549707
B:Tiempo germinacion (h)	0.129926
AA	-0.000780648
AB	-0.00101563
BB	-0.000234526

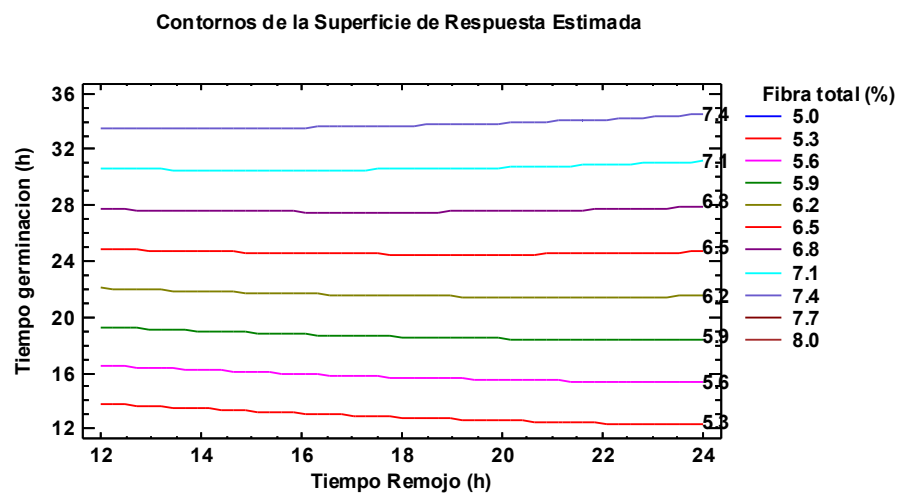
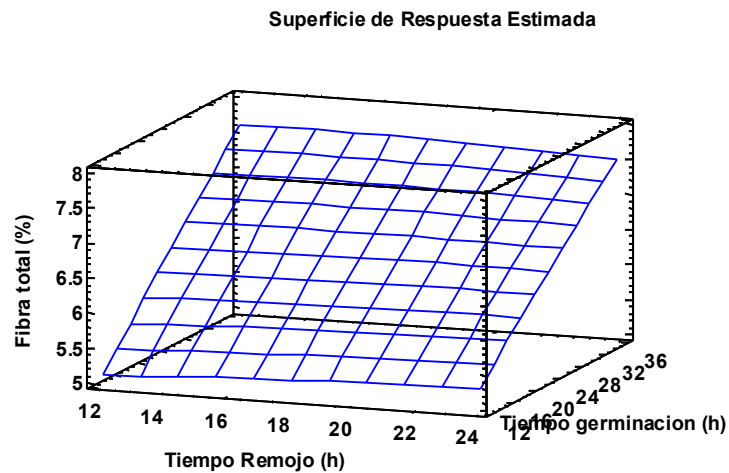
### El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

Fibra total (%) = 3.16908 + 0.0549707\*Tiempo Remojo (h) + 0.129926\*Tiempo germinacion (h) - 0.000780648\*Tiempo Remojo (h)^2 - 0.00101563\*Tiempo Remojo (h)\*Tiempo germinacion (h) - 0.000234526\*Tiempo germinacion (h)^2



en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.



#### Análisis de Varianza para Polifenoles Totales (mgGAE/100g)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo Remojo (h)	715.261	1	715.261	668.35	0.0000
B:Tiempo germinacion (h)	6614.27	1	6614.27	6180.44	0.0000
AA	0.758615	1	0.758615	0.71	0.4382

AB	12.6025	1	12.6025	11.78	0.0186
BB	8.01912	1	8.01912	7.49	0.0409
Error total	5.35097	5	1.07019		
Total (corr.)	7355.5	10			

R-cuadrada = 99.9273 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.8545 por ciento

Error estándar del est. = 1.0345

Error absoluto medio = 0.58927

Estadístico Durbin-Watson = 1.88383 (P=0.4021)

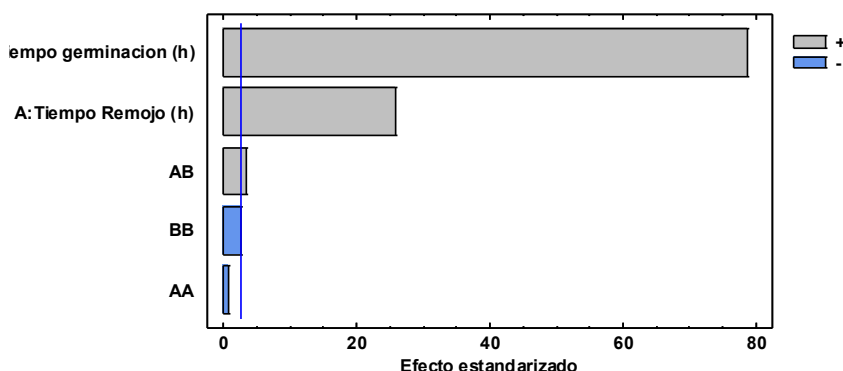
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.0420475

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Polifenoles Totales (mgGAE/100g) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.9273% de la variabilidad en Polifenoles Totales (mgGAE/100g). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.8545%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.0345. El error medio absoluto (MAE) de 0.58927 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Polifenoles Totales (mgGAE/100g)



### Coef. de regresión para Polifenoles Totales (mgGAE/100g)

Coeficiente	Estimado
constante	-42.4646
A:Tiempo Remojo (h)	1.85593
B:Tiempo germinacion (h)	3.49064

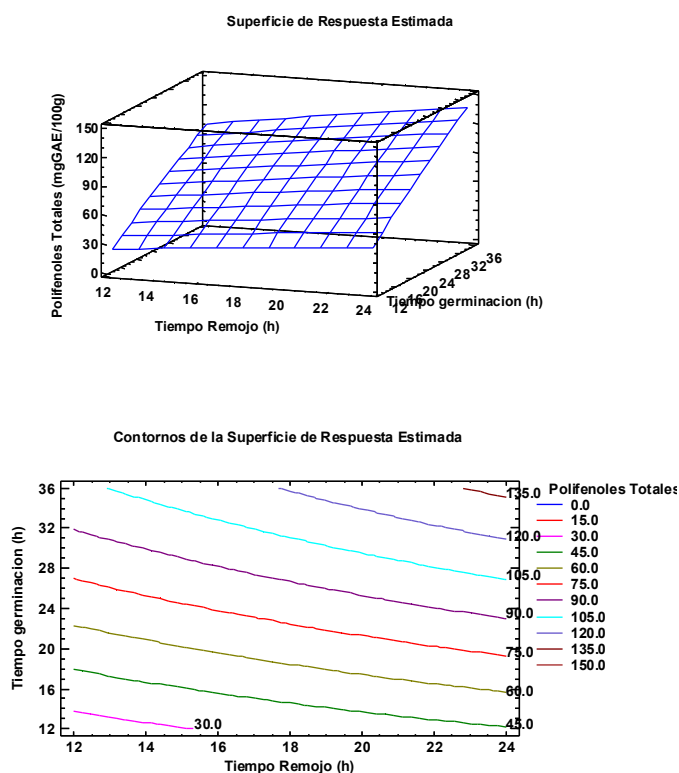
AA	-0.0228874
AB	0.0554688
BB	-0.0186304

### El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

Polifenoles Totales (mgGAE/100g) = -42.4646 + 1.85593\*Tiempo Remojo (h) + 3.49064\*Tiempo germinacion (h) - 0.0228874\*Tiempo Remojo (h)^2 + 0.0554688\*Tiempo Remojo (h)\*Tiempo germinacion (h) - 0.0186304\*Tiempo germinacion (h)^2

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.



## GERMINACION DE CANIHUA

### Análisis de Varianza para Humedad (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
--------	-------------------	----	----------------	---------	---------

A:Tiempo Remojo (h)	90.8862	1	90.8862	35.51	0.0019
B:Tiempo germinacion (h)	2054.25	1	2054.25	802.58	0.0000
AA	0.0345323	1	0.0345323	0.01	0.9121
AB	26.8324	1	26.8324	10.48	0.0230
BB	136.631	1	136.631	53.38	0.0008
Error total	12.7978	5	2.55957		
Total (corr.)	2332.98	10			

R-cuadrada = 99.4514 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.9029 porciento

Error estándar del est. = 1.59986

Error absoluto medio = 0.861746

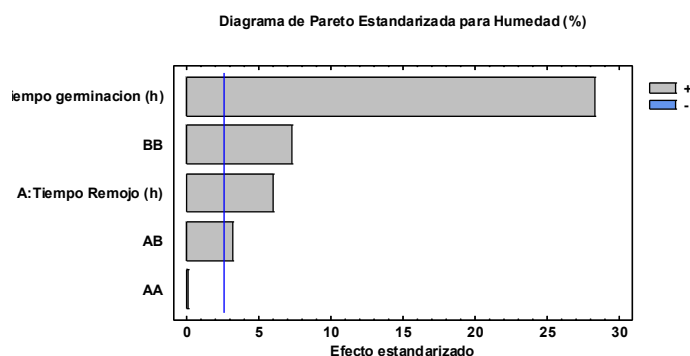
Estadístico Durbin-Watson = 3.00301 (P=0.9500)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.504134

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Humedad (%) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.4514% de la variabilidad en Humedad (%). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98.9029%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.59986. El error medio absoluto (MAE) de 0.861746 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



### Coef. de regresión para Humedad (%)

Coeficiente	Estimado
constante	54.3245
A:Tiempo Remojo (h)	-1.27588

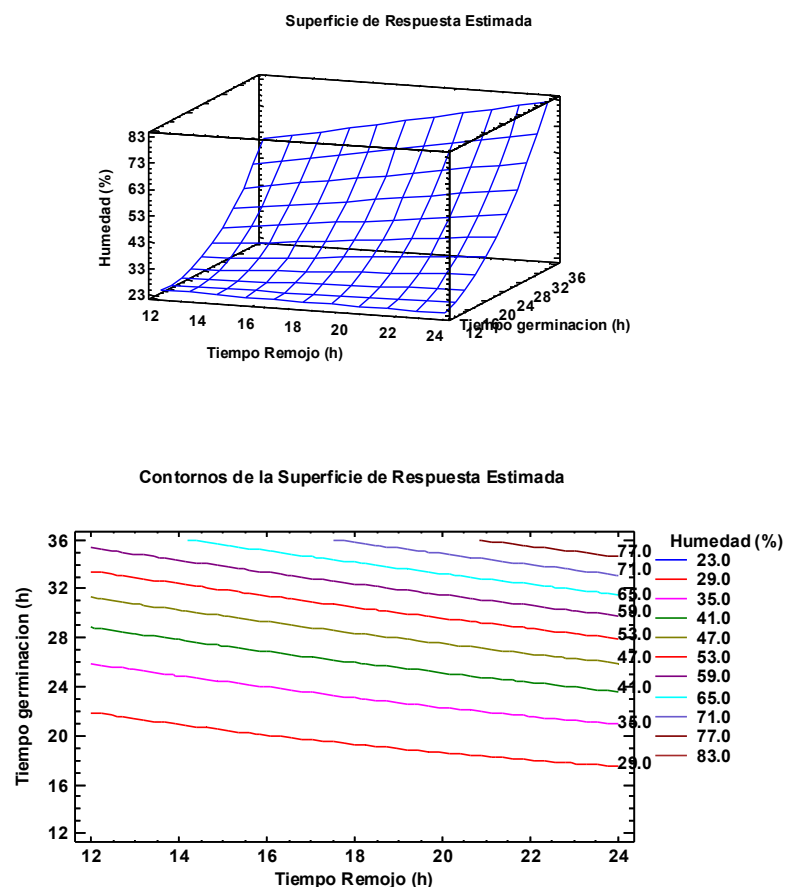
B:Tiempo germinacion (h)	-3.14475
AA	0.00488313
AB	0.0809375
BB	0.076901

### El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Humedad (\%)} = 54.3245 - 1.27588 * \text{Tiempo Remojo (h)} - 3.14475 * \text{Tiempo germinacion (h)} + 0.00488313 * \text{Tiempo Remojo (h)}^2 + 0.0809375 * \text{Tiempo Remojo (h)} * \text{Tiempo germinacion (h)} + 0.076901 * \text{Tiempo germinacion (h)}^2$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.



### Análisis de Varianza para Proteína (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo Remojo (h)	0.00189623	1	0.00189623	0.43	0.5425

B:Tiempo germinacion (h)	25.1427	1	25.1427	5656.09	0.0000
AA	0.00017688	1	0.00017688	0.04	0.8497
AB	0.002025	1	0.002025	0.46	0.5297
BB	0.0144755	1	0.0144755	3.26	0.1310
Error total	0.0222263	5	0.00444525		
Total (corr.)	25.1839	10			

R-cuadrada = 99.9117 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.8235 porciento

Error estándar del est. = 0.0666727

Error absoluto medio = 0.0380388

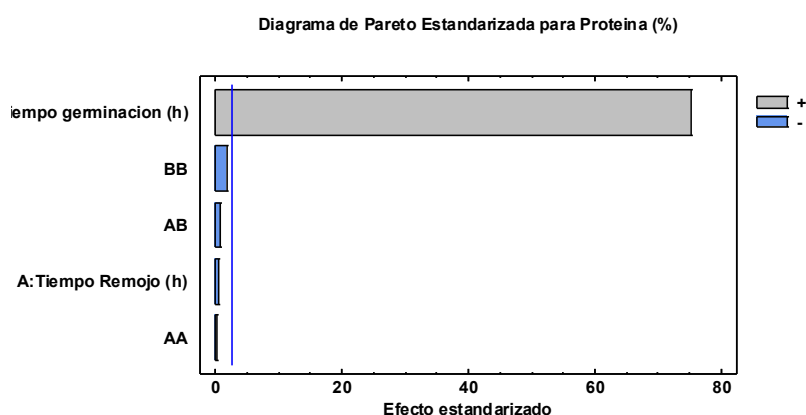
Estadístico Durbin-Watson = 2.43393 (P=0.7369)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.302098

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Proteína (%) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.9117% de la variabilidad en Proteína (%). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.8235%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.0666727. El error medio absoluto (MAE) de 0.0380388 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



### Coef. de regresión para Proteína (%)

Coeficiente	Estimado
constante	9.12705
A:Tiempo Remojo (h)	0.0256085

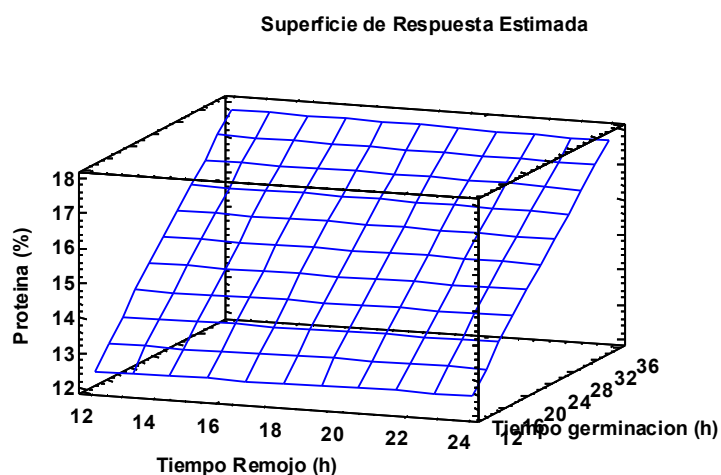
B:Tiempo germinacion (h)	0.272287
AA	-0.000349482
AB	-0.000703125
BB	-0.000791543

### El StatAdvisor

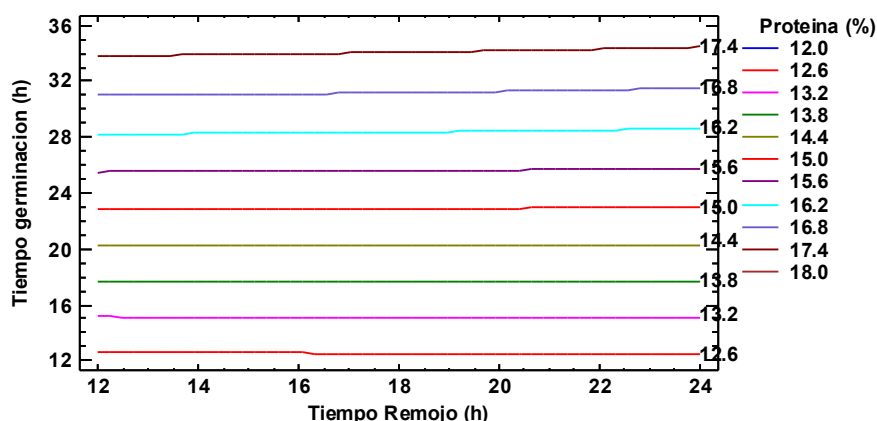
Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

Proteína (%) = 9.12705 + 0.0256085\*Tiempo Remojo (h) + 0.272287\*Tiempo germinacion (h) - 0.000349482\*Tiempo Remojo (h)^2 - 0.000703125\*Tiempo Remojo (h)\*Tiempo germinacion (h) - 0.000791543\*Tiempo germinacion (h)^2

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.



Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



### Análisis de Varianza para Cenizas (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo Remojo (h)	0.000582787	1	0.000582787	3.53	0.1190
B:Tiempo germinacion (h)	0.0837216	1	0.0837216	507.42	0.0000
AA	0.000412109	1	0.000412109	2.50	0.1748
AB	0.0001	1	0.0001	0.61	0.4715
BB	0.00250005	1	0.00250005	15.15	0.0115
Error total	0.000824967	5	0.000164993		
Total (corr.)	0.0877636	10			

R-cuadrada = 99.06 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.12 porciento

Error estándar del est. = 0.012845

Error absoluto medio = 0.00696368

Estadístico Durbin-Watson = 2.79951 (P=0.8964)

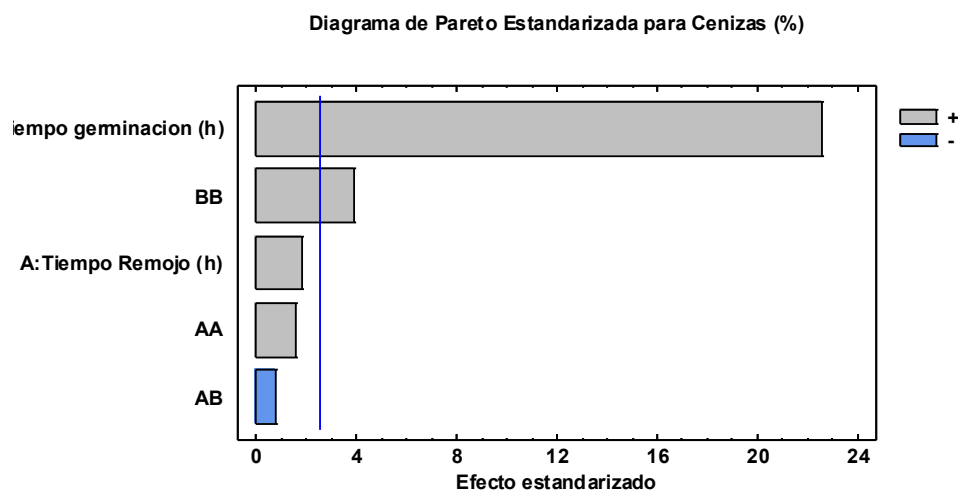
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.406595

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Cenizas (%) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.06% de la variabilidad en Cenizas (%). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98.12%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.012845. El error medio absoluto (MAE) de 0.00696368 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.





#### Coef. de regresión para Cenizas (%)

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	2.63613
A:Tiempo Remojo (h)	-0.0133209
B:Tiempo germinacion (h)	-0.000187656
AA	0.000533448
AB	-0.00015625
BB	0.000328952

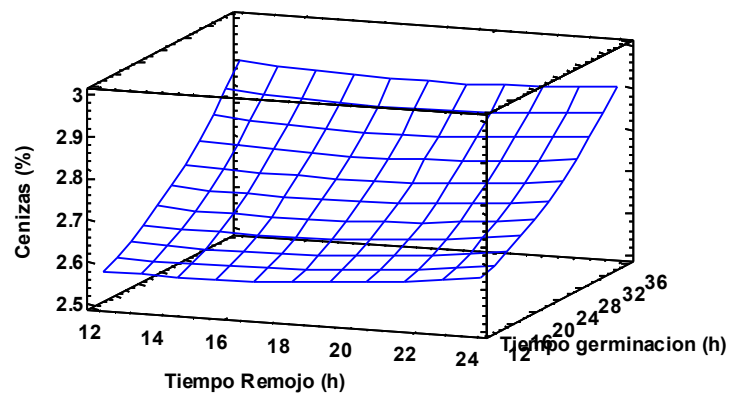
#### El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

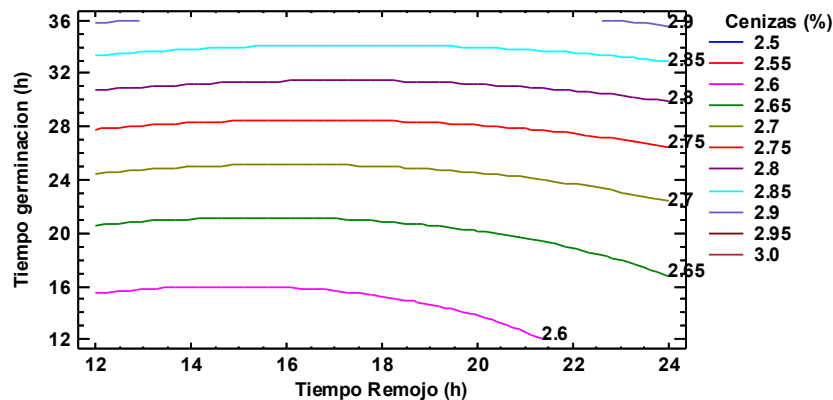
$$\text{Cenizas (\%)} = 2.63613 - 0.0133209 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)} - 0.000187656 \cdot \text{Tiempo germinacion (h)} + 0.000533448 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)}^2 - 0.00015625 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)} \cdot \text{Tiempo germinacion (h)} + 0.000328952 \cdot \text{Tiempo germinacion (h)}^2$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.

Superficie de Respuesta Estimada



Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



#### Análisis de Varianza para Fibra total (%)

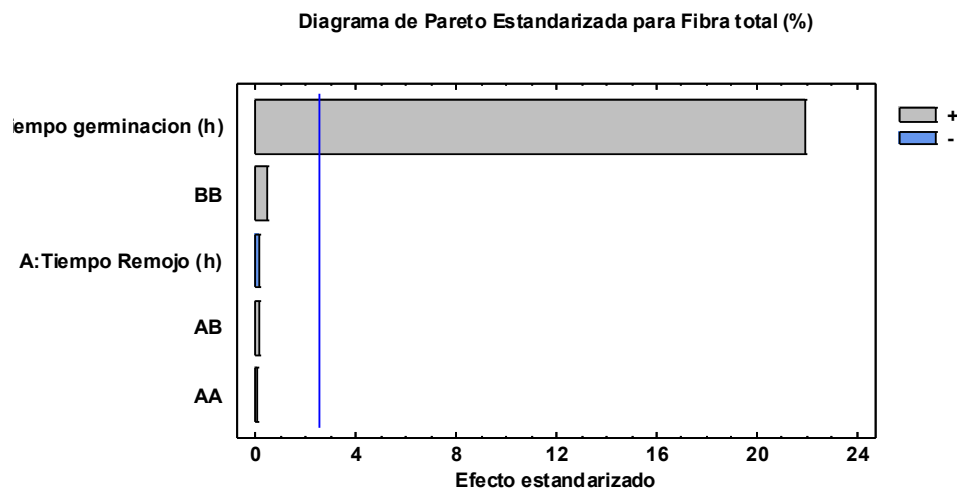
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo Remojo (h)	0.000343684	1	0.000343684	0.03	0.8621
B:Tiempo germinacion (h)	4.92423	1	4.92423	479.09	0.0000
AA	0.000063236	1	0.000063236	0.01	0.9405
AB	0.000225	1	0.000225	0.02	0.8882
BB	0.00244943	1	0.00244943	0.24	0.6461
Error total	0.0513913	5	0.0102783		
Total (corr.)	4.97869	10			

R-cuadrada = 98.9678 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97.9356 por ciento  
Error estándar del est. = 0.101382  
Error absoluto medio = 0.0517347  
Estadístico Durbin-Watson = 2.83624 (P=0.9079)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.522681

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Fibra total (%) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 98.9678% de la variabilidad en Fibra total (%). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97.9356%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.101382. El error medio absoluto (MAE) de 0.0517347 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



### Coef. de regresión para Fibra total (%)

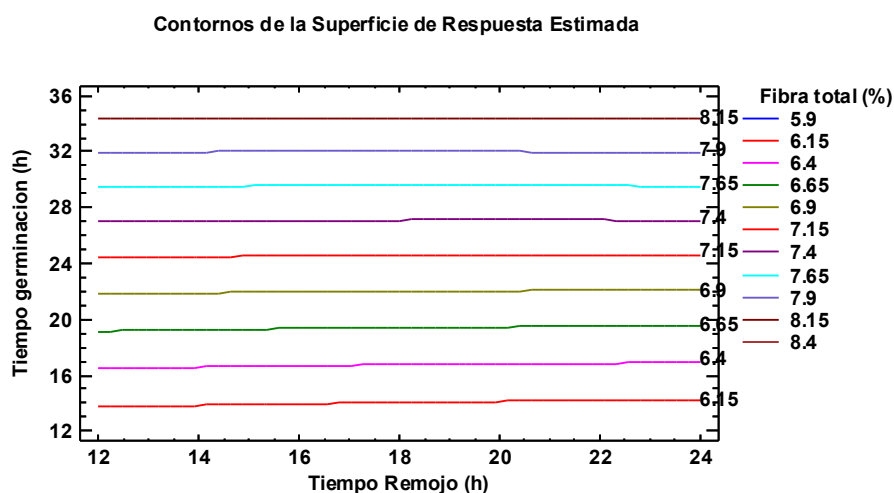
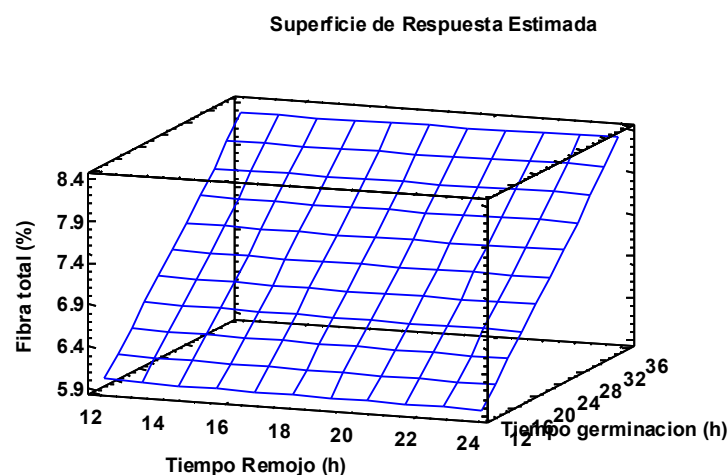
<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	5.12526
A:Tiempo Remojo (h)	-0.0147858
B:Tiempo germinacion (h)	0.0782379
AA	0.000208962
AB	0.000234375
BB	0.000325604

### El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

Fibra total (%) = 5.12526 - 0.0147858\*Tiempo Remojo (h) + 0.0782379\*Tiempo germinacion (h) + 0.000208962\*Tiempo Remojo (h)^2 + 0.000234375\*Tiempo Remojo (h)\*Tiempo germinacion (h) + 0.000325604\*Tiempo germinacion (h)^2

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.



#### **Análisis de Varianza para Polifenoles Totales (mgGAE/100g)**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo Remojo (h)	559.04	1	559.04	475.96	0.0000
B:Tiempo germinacion (h)	6697.44	1	6697.44	5702.13	0.0000
AA	8.21581	1	8.21581	6.99	0.0457
AB	3.0625	1	3.0625	2.61	0.1673
BB	0.0492176	1	0.0492176	0.04	0.8459
Error total	5.87275	5	1.17455		
Total (corr.)	7274.87	10			

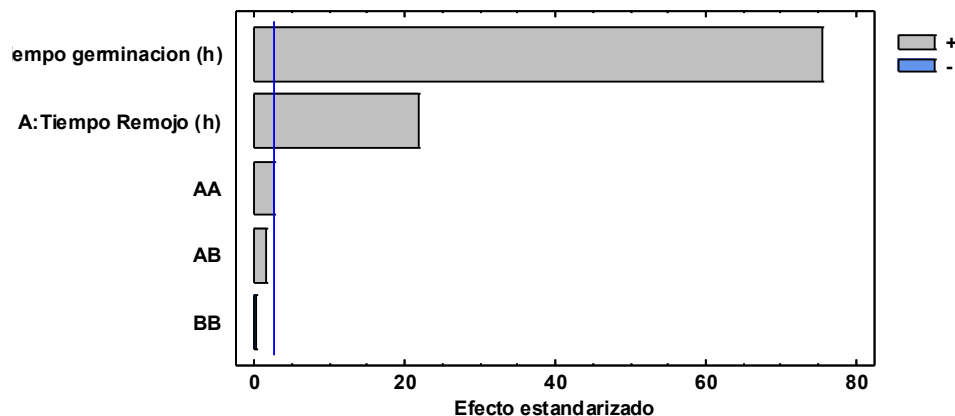
R-cuadrada = 99.9193 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.8385 por ciento  
Error estándar del est. = 1.08377  
Error absoluto medio = 0.635925  
Estadístico Durbin-Watson = 3.23004 (P=0.9832)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.658364

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Polifenoles Totales (mgGAE/100g) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 3 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.9193% de la variabilidad en Polifenoles Totales (mgGAE/100g). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.8385%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.08377. El error medio absoluto (MAE) de 0.635925 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Polifenoles Totales (mgGAE/100g)



### Coef. de regresión para Polifenoles Totales (mgGAE/100g)

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-0.447779
A:Tiempo Remojo (h)	-1.2785
B:Tiempo germinacion (h)	3.19522
AA	0.0753201
AB	0.0273438
BB	-0.00145955

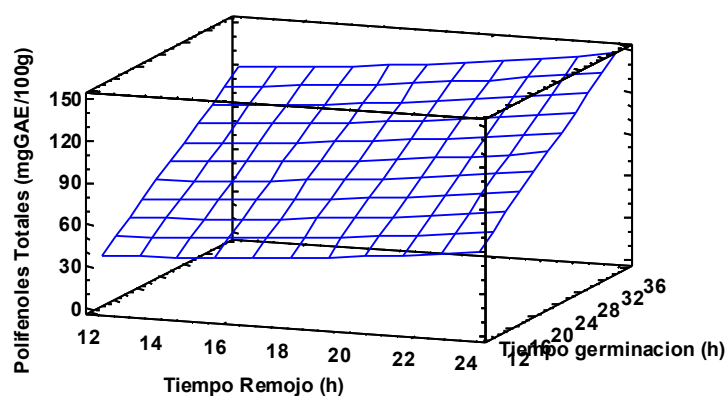
## El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

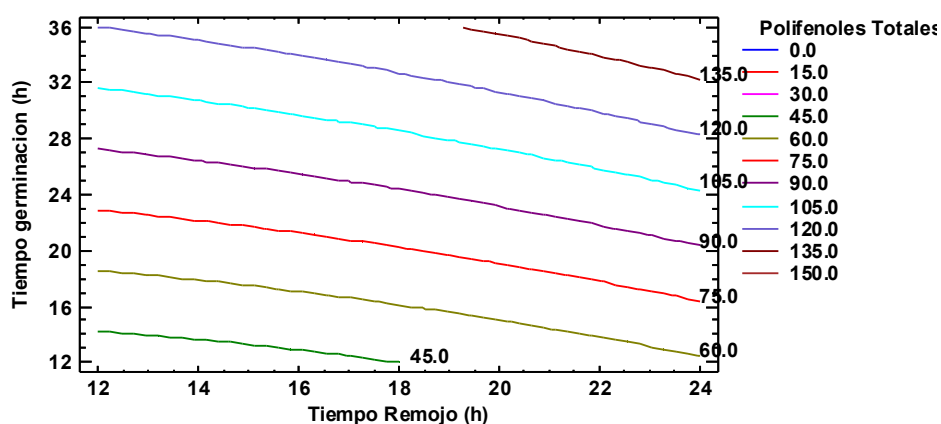
$$\text{Polifenoles Totales (mgGAE/100g)} = -0.447779 - 1.2785 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)} + 3.19522 \cdot \text{Tiempo germinacion (h)} + 0.0753201 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)}^2 + 0.0273438 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)} \cdot \text{Tiempo germinacion (h)} - 0.00145955 \cdot \text{Tiempo germinacion (h)}^2$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.

Superficie de Respuesta Estimada



Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



## GERMINACION KIWICHA

### Análisis de Varianza para Humedad (%)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo Remojo (h)	76.727	1	76.727	36.31	0.0018
B:Tiempo germinación (h)	1877.05	1	1877.05	888.35	0.0000
AA	0.165186	1	0.165186	0.08	0.7910
AB	23.3772	1	23.3772	11.06	0.0209
BB	187.16	1	187.16	88.58	0.0002
Error total	10.5648	5	2.11296		
Total (corr.)	2189.21	10			

R-cuadrada = 99.5174 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.0348 por ciento

Error estándar del est. = 1.4536

Error absoluto medio = 0.819995

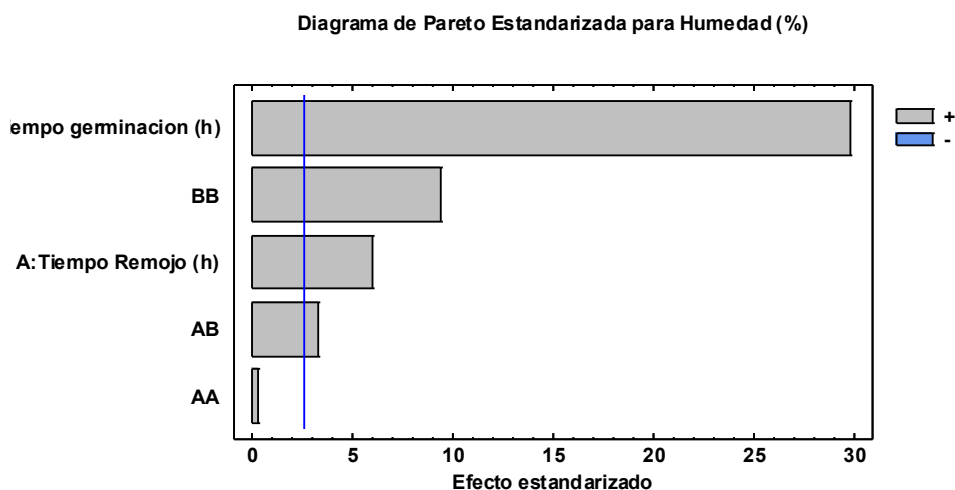
Estadístico Durbin-Watson = 2.42313 (P=0.7310)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.233646

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Humedad (%) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.5174% de la variabilidad en Humedad (%). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.0348%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.4536. El error medio absoluto (MAE) de 0.819995 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



#### Coef. de regresión para Humedad (%)

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	62.6632
A:Tiempo Remojo (h)	-1.42359
B:Tiempo germinacion (h)	-3.76504
AA	0.01068
AB	0.0755469
BB	0.0900045

#### El StatAdvisor

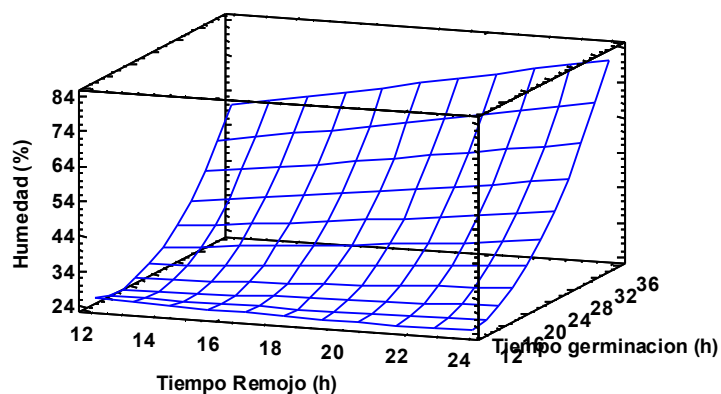
Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Humedad (\%)} = 62.6632 - 1.42359 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)} - 3.76504 \cdot \text{Tiempo germinacion (h)} + 0.01068 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)}^2 + 0.0755469 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)} \cdot \text{Tiempo germinacion (h)} + 0.0900045 \cdot \text{Tiempo germinacion (h)}^2$$

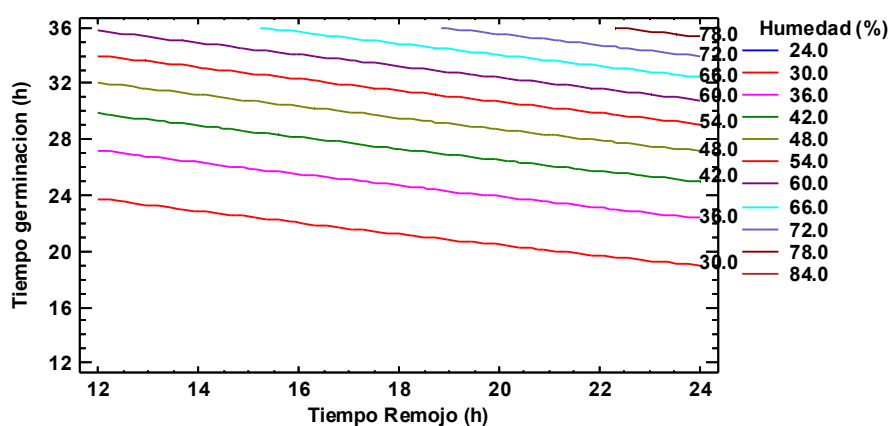
en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.



Superficie de Respuesta Estimada



Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



### Análisis de Varianza para Proteína (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo Remojo (h)	0.00392944	1	0.00392944	2.63	0.1659
B:Tiempo germinacion (h)	24.1704	1	24.1704	16164.35	0.0000
AA	0.00123416	1	0.00123416	0.83	0.4053
AB	0.001225	1	0.001225	0.82	0.4069
BB	0.0140004	1	0.0140004	9.36	0.0281
Error total	0.00747646	5	0.00149529		
Total (corr.)	24.1971	10			

R-cuadrada = 99.9691 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.9382 por ciento

Error estándar del est. = 0.038669

Error absoluto medio = 0.0187286

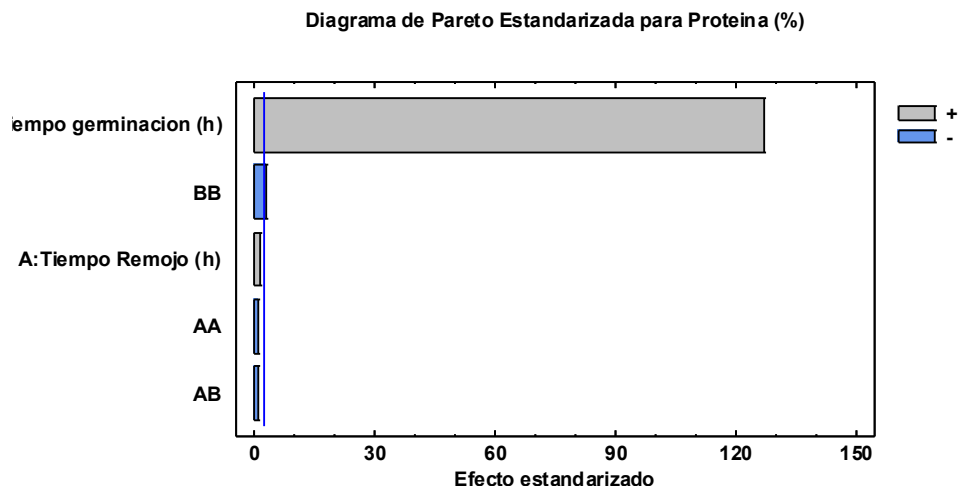
Estadístico Durbin-Watson = 3.0505 (P=0.9591)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.52602

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Proteína (%) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.9691% de la variabilidad en Proteína (%). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.9382%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.038669. El error medio absoluto (MAE) de 0.0187286 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



### Coef. de regresión para Proteína (%)

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	7.74447
A:Tiempo Remojo (h)	0.0518974
B:Tiempo germinacion (h)	0.264518
AA	-0.000923148
AB	-0.000546875
BB	-0.000778446

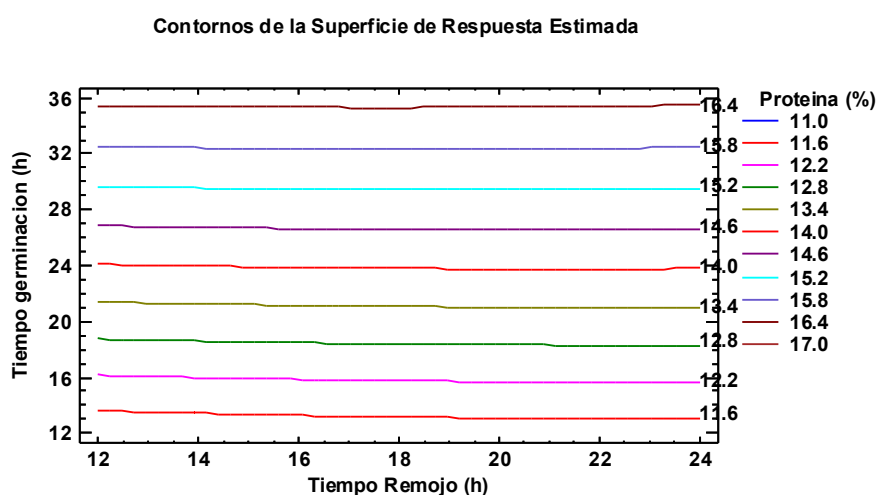
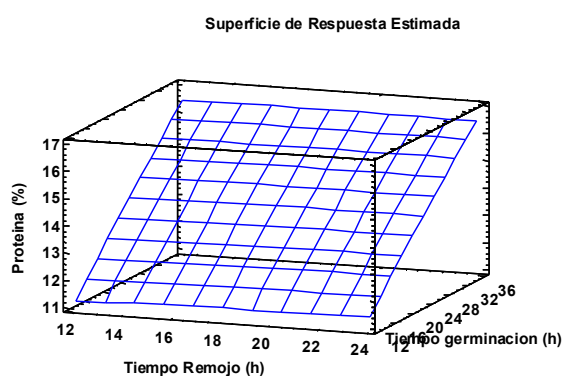
### El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Proteína (\%)} = 7.74447 + 0.0518974 * \text{Tiempo Remojo (h)} + 0.264518 * \text{Tiempo}$$

germinacion (h) - 0.000923148\*Tiempo Remojo (h)^2 - 0.000546875\*Tiempo Remojo (h)\*Tiempo germinacion (h) - 0.000778446\*Tiempo germinacion (h)^2

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.



### Análisis de Varianza para Cenizas (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo Remojo (h)	0.000207455	1	0.000207455	0.35	0.5781
B:Tiempo germinacion (h)	0.0823866	1	0.0823866	140.35	0.0001
AA	0.0000413374	1	0.0000413374	0.07	0.8013
AB	0.000025	1	0.000025	0.04	0.8446
BB	0.0000414645	1	0.0000414645	0.07	0.8010
Error total	0.0029351	5	0.00058702		
Total (corr.)	0.0856182	10			

R-cuadrada = 96.5719 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 93.1437 por ciento

Error estándar del est. = 0.0242285

Error absoluto medio = 0.0142068

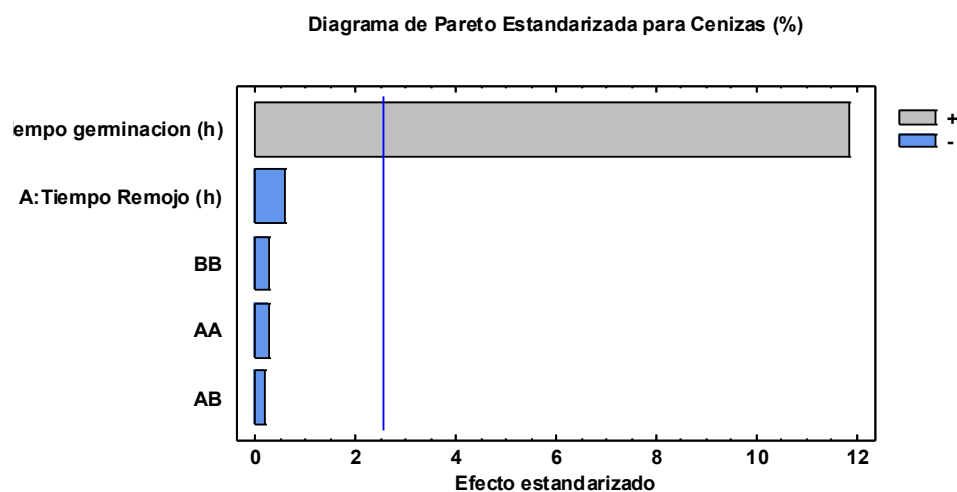
Estadístico Durbin-Watson = 2.36502 (P=0.6988)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.269457

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Cenizas (%) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 96.5719% de la variabilidad en Cenizas (%). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 93.1437%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.0242285. El error medio absoluto (MAE) de 0.0142068 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



### Coef. de regresión para Cenizas (%)

Coeficiente	Estimado
constante	2.11219
A:Tiempo Remojo (h)	0.00668446
B:Tiempo germinacion (h)	0.0161269
AA	-0.00016895
AB	-0.000078125
BB	-0.0000423639

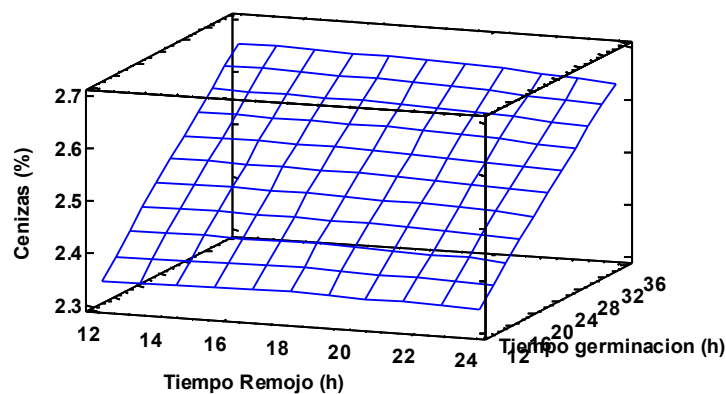
## El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

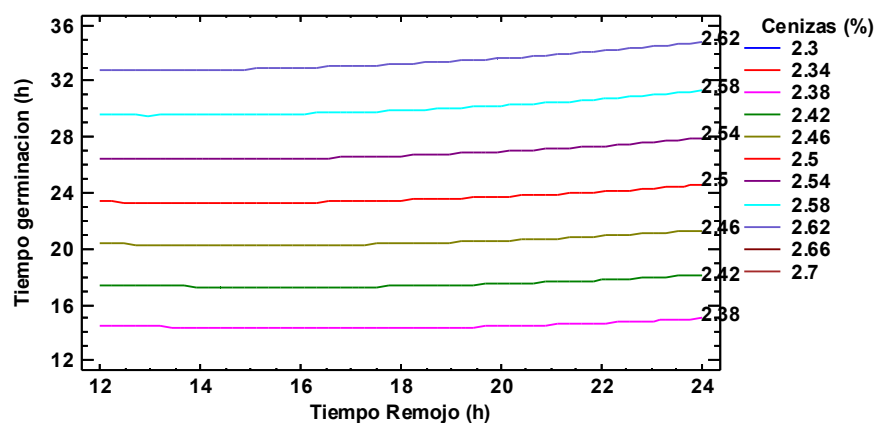
$$\text{Cenizas (\%)} = 2.11219 + 0.00668446 * \text{Tiempo Remojo (h)} + 0.0161269 * \text{Tiempo germinacion (h)} - 0.00016895 * \text{Tiempo Remojo (h)}^2 - 0.000078125 * \text{Tiempo Remojo (h)} * \text{Tiempo germinacion (h)} - 0.0000423639 * \text{Tiempo germinacion (h)}^2$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.

Superficie de Respuesta Estimada



Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



### Análisis de Varianza para Fibra total (%)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo Remojo (h)	0.00299758	1	0.00299758	3.84	0.1072
B:Tiempo germinacion (h)	5.10167	1	5.10167	6542.53	0.0000
AA	0.00000398581	1	0.00000398581	0.01	0.9458
AB	0.003025	1	0.003025	3.88	0.1060
BB	0.00189705	1	0.00189705	2.43	0.1796
Error total	0.00389885	5	0.00077977		
Total (corr.)	5.11362	10			

R-cuadrada = 99.9238 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.8475 porciento

Error estándar del est. = 0.0279244

Error absoluto medio = 0.015911

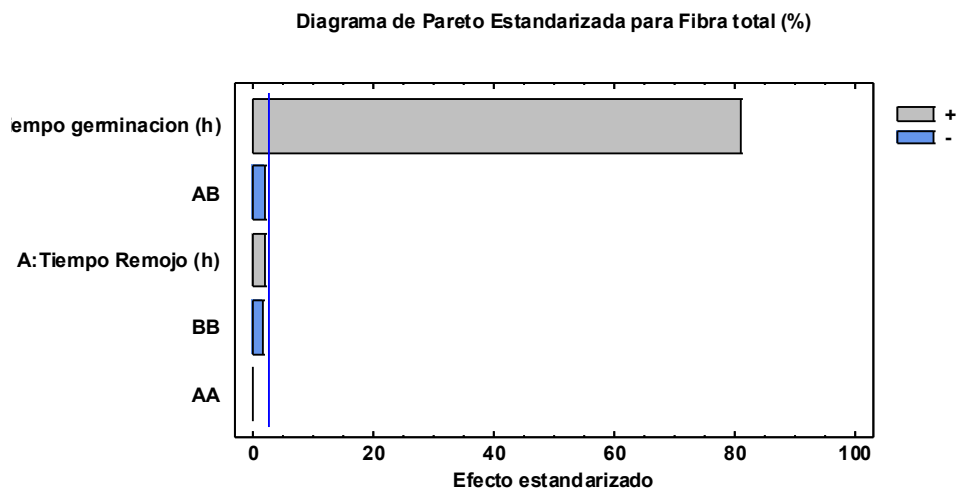
Estadístico Durbin-Watson = 1.24769 (P=0.0960)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.183981

#### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Fibra total (%) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.9238% de la variabilidad en Fibra total (%). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.8475%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.0279244. El error medio absoluto (MAE) de 0.015911 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



#### Coef. de regresión para Fibra total (%)

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	3.6702
A:Tiempo Remojo (h)	0.0273516
B:Tiempo germinacion (h)	0.12906
AA	-0.0000524619
AB	-0.000859375
BB	-0.000286548

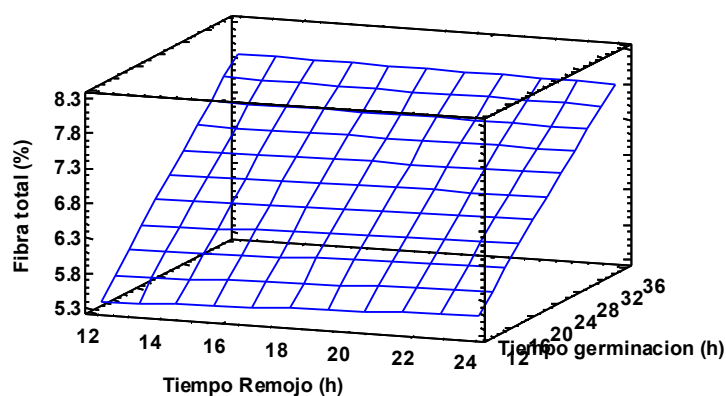
#### El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

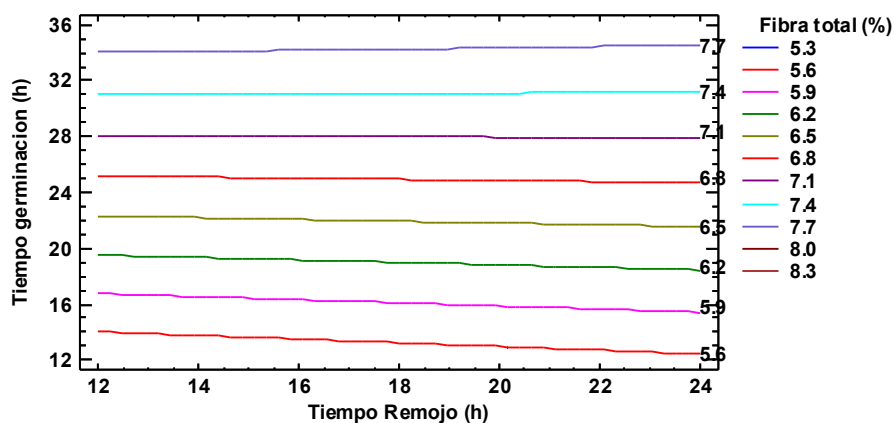
$$\text{Fibra total (\%)} = 3.6702 + 0.0273516 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)} + 0.12906 \cdot \text{Tiempo germinacion (h)} - 0.0000524619 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)}^2 - 0.000859375 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)} \cdot \text{Tiempo germinacion (h)} - 0.000286548 \cdot \text{Tiempo germinacion (h)}^2$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.

Superficie de Respuesta Estimada



Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



#### Análisis de Varianza para Polifenoles Totales (mgGAE/100g)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo Remojo (h)	610.307	1	610.307	582.63	0.0000
B:Tiempo germinacion (h)	6810.06	1	6810.06	6501.27	0.0000
AA	0.0409401	1	0.0409401	0.04	0.8511
AB	3.0625	1	3.0625	2.92	0.1480
BB	3.0543	1	3.0543	2.92	0.1484
Error total	5.23749	5	1.0475		
Total (corr.)	7431.83	10			

R-cuadrada = 99.9295 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.8591 porciento

Error estándar del est. = 1.02347

Error absoluto medio = 0.609822

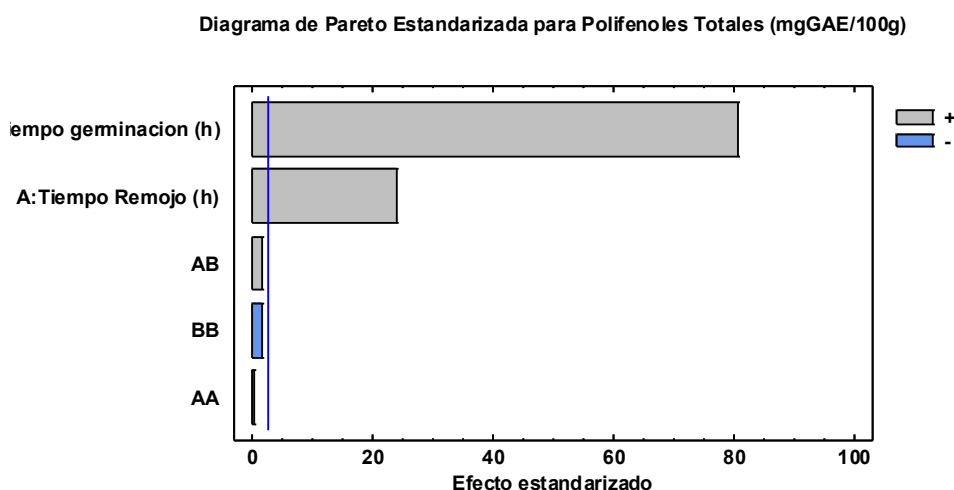


Estadístico Durbin-Watson = 2.64764 (P=0.8397)  
 Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.435354

#### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Polifenoles Totales (mgGAE/100g) en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.9295% de la variabilidad en Polifenoles Totales (mgGAE/100g). El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.8591%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.02347. El error medio absoluto (MAE) de 0.609822 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.



#### Coef. de regresión para Polifenoles Totales (mgGAE/100g)

Coeficiente	Estimado
constante	-48.0364
A:Tiempo Remojo (h)	1.71813
B:Tiempo germinacion (h)	3.70734
AA	-0.00531692
AB	0.0273437
BB	-0.0114978

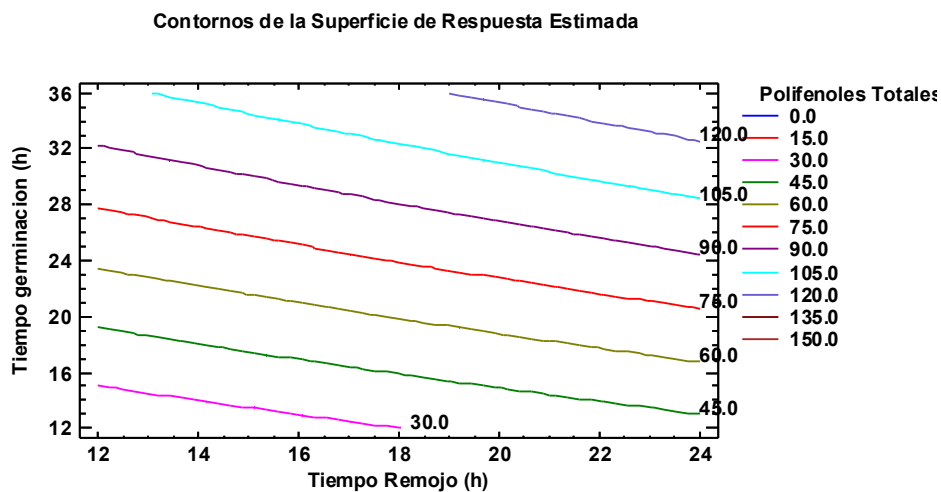
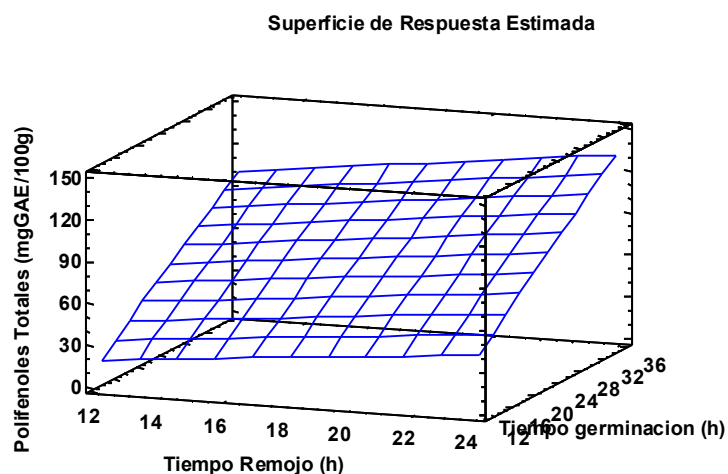
#### El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Polifenoles Totales (mgGAE/100g)} = -48.0364 + 1.71813 \cdot \text{Tiempo Remojo (h)} +$$

$$3.70734 * \text{Tiempo germinacion (h)} - 0.00531692 * \text{Tiempo Remojo (h)}^2 + 0.0273437 * \text{Tiempo Remojo (h)} * \text{Tiempo germinacion (h)} - 0.0114978 * \text{Tiempo germinacion (h)}^2$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.



Anexo 2  
Análisis Estadístico Reología: Farinografía

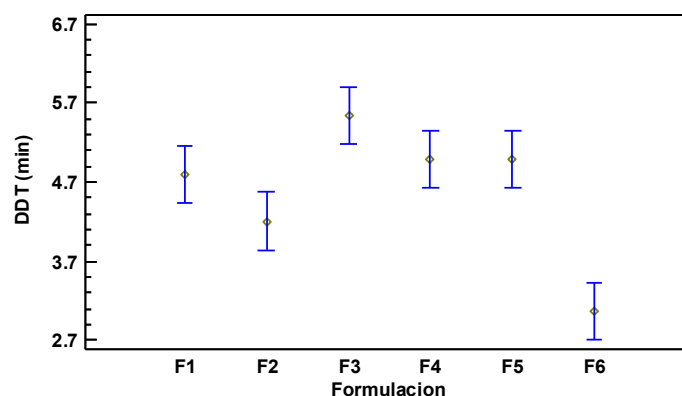
**Tabla ANOVA para DDT (min) por Formulación**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	11.2575	5	2.25151	32.36	0.0000
Intra grupos	0.834867	12	0.0695722		
Total (Corr.)	12.0924	17			

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de DDT (min) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 32.3621, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de DDT (min) entre un nivel de Formulación y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Medias y 95.0% de Tukey HSD



**Pruebas de Múltiple Rangos para DDT (min) por Formulación**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
F6	3	3.06667	X
F2	3	4.20667	X
F1	3	4.79333	XX
F4	3	4.99	XX
F5	3	4.99333	XX
F3	3	5.55	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
F1 - F2		0.586667	0.723487
F1 - F3	*	-0.756667	0.723487
F1 - F4		-0.196667	0.723487
F1 - F5		-0.2	0.723487
F1 - F6	*	1.72667	0.723487
F2 - F3	*	-1.34333	0.723487
F2 - F4	*	-0.783333	0.723487
F2 - F5	*	-0.786667	0.723487
F2 - F6	*	1.14	0.723487
F3 - F4		0.56	0.723487
F3 - F5		0.556667	0.723487
F3 - F6	*	2.48333	0.723487
F4 - F5		-0.00333333	0.723487
F4 - F6	*	1.92333	0.723487
F5 - F6	*	1.92667	0.723487

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 9 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

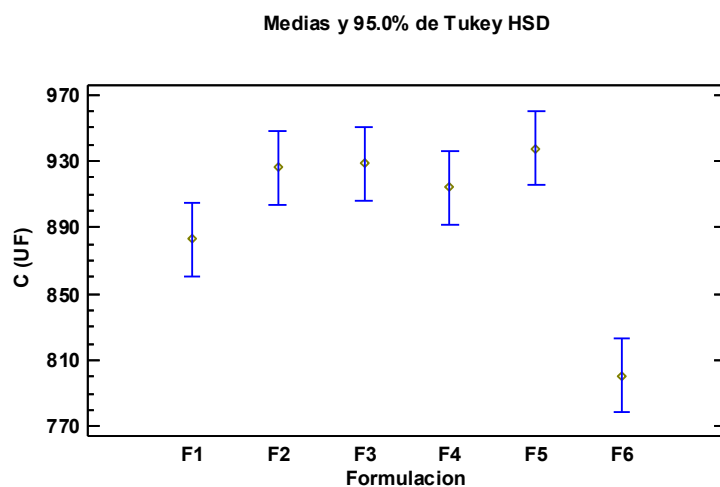
### Tabla ANOVA para C (UF) por Formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	39703.8	5	7940.76	30.30	0.0000
Intra grupos	3145.33	12	262.111		
Total (Corr.)	42849.1	17			

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de C (UF) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 30.2954, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de C (UF) entre un nivel de Formulación y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son

significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.



### Pruebas de Múltiple Rangos para C (UF) por Formulación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F6	3	800.667	X
F1	3	882.667	X
F4	3	914.0	XX
F2	3	926.333	XX
F3	3	928.333	X
F5	3	937.333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
F1 - F2		-43.6667	44.4074
F1 - F3	*	-45.6667	44.4074
F1 - F4		-31.3333	44.4074
F1 - F5	*	-54.6667	44.4074
F1 - F6	*	82.0	44.4074
F2 - F3		-2.0	44.4074
F2 - F4		12.3333	44.4074
F2 - F5		-11.0	44.4074
F2 - F6	*	125.667	44.4074
F3 - F4		14.3333	44.4074
F3 - F5		-9.0	44.4074
F3 - F6	*	127.667	44.4074
F4 - F5		-23.3333	44.4074
F4 - F6	*	113.333	44.4074
F5 - F6	*	136.667	44.4074

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 7 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

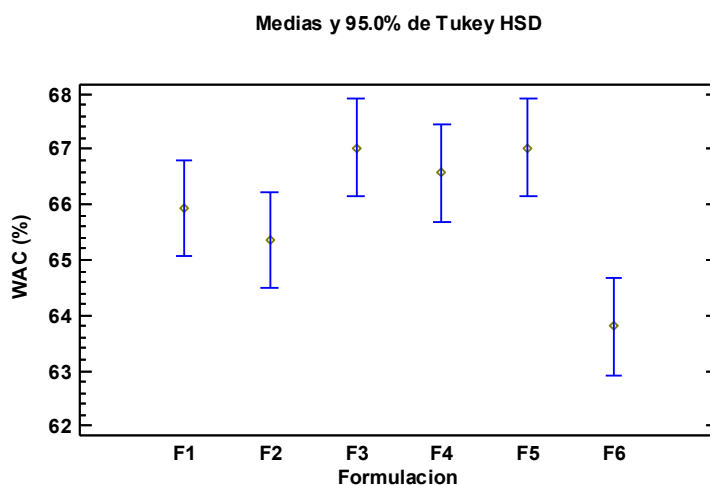
**Tabla ANOVA para WAC (%) por Formulación**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	23.0711	5	4.61422	11.36	0.0003
Intra grupos	4.87333	12	0.406111		
Total (Corr.)	27.9444	17			

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de WAC (%) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 11.362, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de WAC (%) entre un nivel de Formulación y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Absorción de agua corregida por humedad harina (%)



## Pruebas de Múltiple Rangos para WAC (%) por Formulación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
F6	3	63.8	X
F2	3	65.3667	XX
F1	3	65.9333	X
F4	3	66.5667	X
F3	3	67.0333	X
F5	3	67.0333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
F1 - F2		0.566667	1.74798
F1 - F3		-1.1	1.74798
F1 - F4		-0.633333	1.74798
F1 - F5		-1.1	1.74798
F1 - F6	*	2.13333	1.74798
F2 - F3		-1.66667	1.74798
F2 - F4		-1.2	1.74798
F2 - F5		-1.66667	1.74798
F2 - F6		1.56667	1.74798
F3 - F4		0.466667	1.74798
F3 - F5		0	1.74798
F3 - F6	*	3.23333	1.74798
F4 - F5		-0.466667	1.74798
F4 - F6	*	2.76667	1.74798
F5 - F6	*	3.23333	1.74798

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

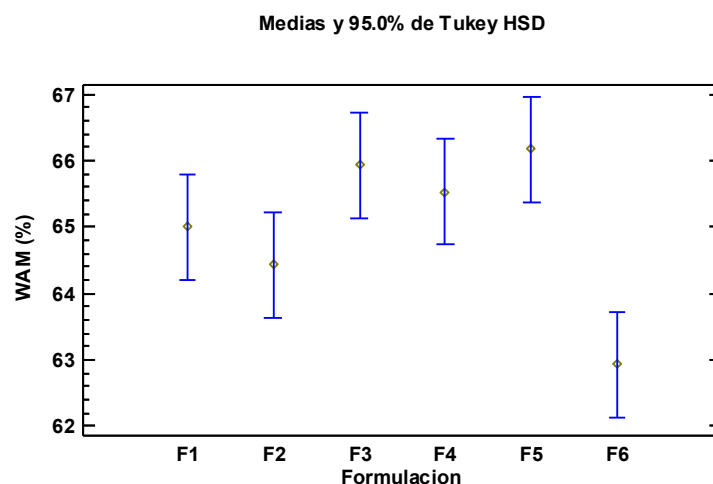
Esta tabla aplica un procedimiento de comparación multiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 4 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Tabla ANOVA para WAM (%) por Formulación**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	21.3267	5	4.26533	12.50	0.0002
Intra grupos	4.09333	12	0.341111		
Total (Corr.)	25.42	17			

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de WAM (%) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 12.5042, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de WAM (%) entre un nivel de Formulación y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.



**Pruebas de Múltiple Rangos para WAM (%) por Formulación**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD			
<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
F6	3	62.9333	X
F2	3	64.4333	XX
F1	3	65.0	XX
F4	3	65.5333	XX
F3	3	65.9333	XX
F5	3	66.1667	X



<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
F1 - F2		0.566667	1.60199
F1 - F3		-0.933333	1.60199
F1 - F4		-0.533333	1.60199
F1 - F5		-1.16667	1.60199
F1 - F6	*	2.06667	1.60199
F2 - F3		-1.5	1.60199
F2 - F4		-1.1	1.60199
F2 - F5	*	-1.73333	1.60199
F2 - F6		1.5	1.60199
F3 - F4		0.4	1.60199
F3 - F5		-0.233333	1.60199
F3 - F6	*	3.0	1.60199
F4 - F5		-0.633333	1.60199
F4 - F6	*	2.6	1.60199
F5 - F6	*	3.23333	1.60199

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

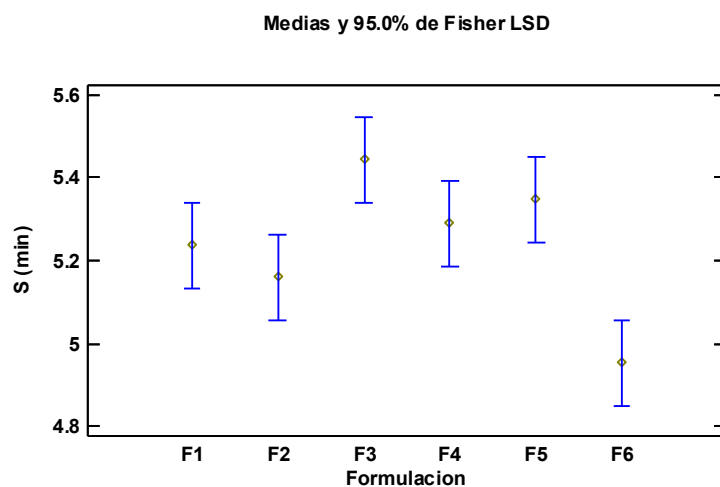
### Tabla ANOVA para S (min) por Formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.431383	5	0.0862767	6.51	0.0038
Intra grupos	0.159067	12	0.0132556		
Total (Corr.)	0.59045	17			

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de S (min) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 6.50872, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de S (min) entre un nivel de Formulación y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son

significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.



### Pruebas de Múltiple Rangos para S (min) por Formulación

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
F6	3	4.95333	X
F2	3	5.16	X
F1	3	5.23667	X
F4	3	5.29	XX
F5	3	5.34667	XX
F3	3	5.44333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
F1 - F2		0.0766667	0.204821
F1 - F3	*	-0.206667	0.204821
F1 - F4		-0.0533333	0.204821
F1 - F5		-0.11	0.204821
F1 - F6	*	0.283333	0.204821
F2 - F3	*	-0.283333	0.204821
F2 - F4		-0.13	0.204821
F2 - F5		-0.186667	0.204821
F2 - F6	*	0.206667	0.204821
F3 - F4		0.153333	0.204821
F3 - F5		0.0966667	0.204821
F3 - F6	*	0.49	0.204821
F4 - F5		-0.0566667	0.204821
F4 - F6	*	0.336667	0.204821
F5 - F6	*	0.393333	0.204821

\* indica una diferencia significativa.

**El StatAdvisor**

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 7 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

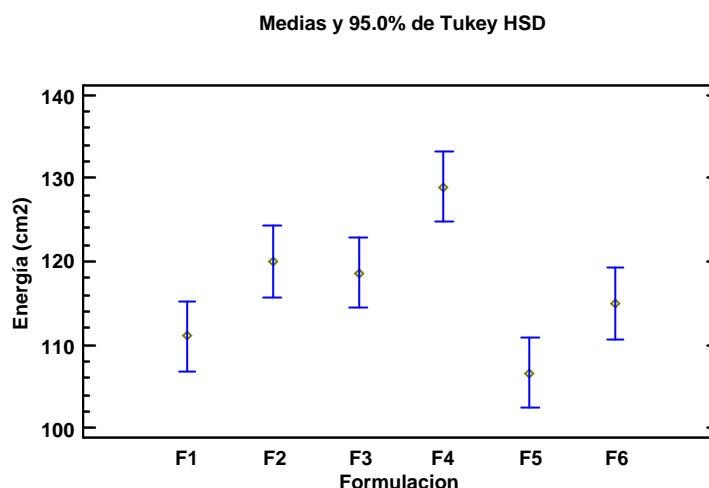
Anexo 3  
Análisis Estadístico Reología Extensografía

Tabla ANOVA para Energía (cm2) por Formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	906.278	5	181.256	18.86	0.0000
Intra grupos	115.333	12	9.61111		
Total (Corr.)	1021.61	17			

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Energía (cm2) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 18.859, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Energía (cm2) entre un nivel de Formulación y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.



### Pruebas de Múltiple Rangos para Energía (cm2) por Formulación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
F5	3	106.667	X
F1	3	111.0	XX
F6	3	115.0	XXX
F3	3	118.667	XX
F2	3	120.0	X
F4	3	129.0	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
F1 - F2	*	-9.0	8.50354
F1 - F3		-7.66667	8.50354
F1 - F4	*	-18.0	8.50354
F1 - F5		4.33333	8.50354
F1 - F6		-4.0	8.50354
F2 - F3		1.33333	8.50354
F2 - F4	*	-9.0	8.50354
F2 - F5	*	13.3333	8.50354
F2 - F6		5.0	8.50354
F3 - F4	*	-10.3333	8.50354
F3 - F5	*	12.0	8.50354
F3 - F6		3.66667	8.50354
F4 - F5	*	22.3333	8.50354
F4 - F6	*	14.0	8.50354
F5 - F6		-8.33333	8.50354

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

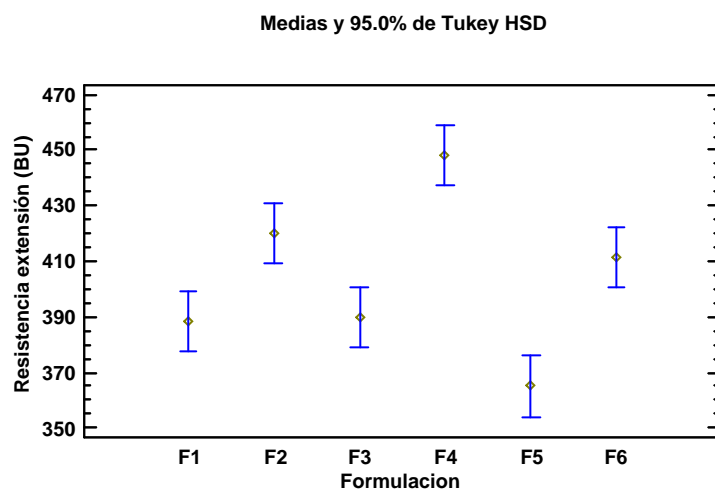
Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 8 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

### Tabla ANOVA para Resistencia extensión (BU) por Formulación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	12727.8	5	2545.56	40.73	0.0000
Intra grupos	750.0	12	62.5		
Total (Corr.)	13477.8	17			

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Resistencia extensión (BU) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 40.7289, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Resistencia extensión (BU) entre un nivel de Formulación y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.



### Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia extensión (BU) por Formulación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
F5	3	365.0	X
F1	3	388.333	X
F3	3	390.0	XX
F6	3	411.667	XX
F2	3	420.0	X
F4	3	448.333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
F1 - F2	*	-31.6667	21.6847
F1 - F3		-1.66667	21.6847
F1 - F4	*	-60.0	21.6847
F1 - F5	*	23.3333	21.6847
F1 - F6	*	-23.3333	21.6847
F2 - F3	*	30.0	21.6847
F2 - F4	*	-28.3333	21.6847
F2 - F5	*	55.0	21.6847
F2 - F6		8.33333	21.6847
F3 - F4	*	-58.3333	21.6847
F3 - F5	*	25.0	21.6847
F3 - F6		-21.6667	21.6847
F4 - F5	*	83.3333	21.6847
F4 - F6	*	36.6667	21.6847
F5 - F6	*	-46.6667	21.6847

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 12 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 5 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

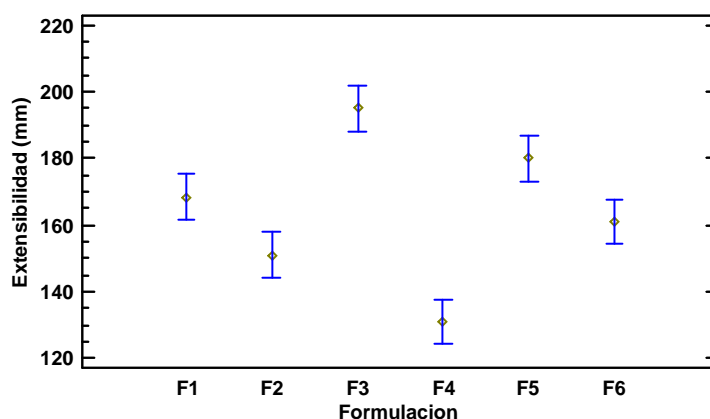
**Tabla ANOVA para Extensibilidad (mm) por Formulación**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	7505.61	5	1501.12	61.13	0.0000
Intra grupos	294.667	12	24.5556		
Total (Corr.)	7800.28	17			

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Extensibilidad (mm) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 61.1317, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Extensibilidad (mm) entre un nivel de Formulación y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**



## Pruebas de Múltiple Rangos para Extensibilidad (mm) por Formulación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
F4	3	131.0	X
F2	3	151.0	X
F6	3	161.0	XX
F1	3	168.333	XX
F5	3	180.0	X
F3	3	195.0	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
F1 - F2	*	17.3333	13.5921
F1 - F3	*	-26.6667	13.5921
F1 - F4	*	37.3333	13.5921
F1 - F5		-11.6667	13.5921
F1 - F6		7.33333	13.5921
F2 - F3	*	-44.0	13.5921
F2 - F4	*	20.0	13.5921
F2 - F5	*	-29.0	13.5921
F2 - F6		-10.0	13.5921
F3 - F4	*	64.0	13.5921
F3 - F5	*	15.0	13.5921
F3 - F6	*	34.0	13.5921
F4 - F5	*	-49.0	13.5921
F4 - F6	*	-30.0	13.5921
F5 - F6	*	19.0	13.5921

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 12 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 5 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.



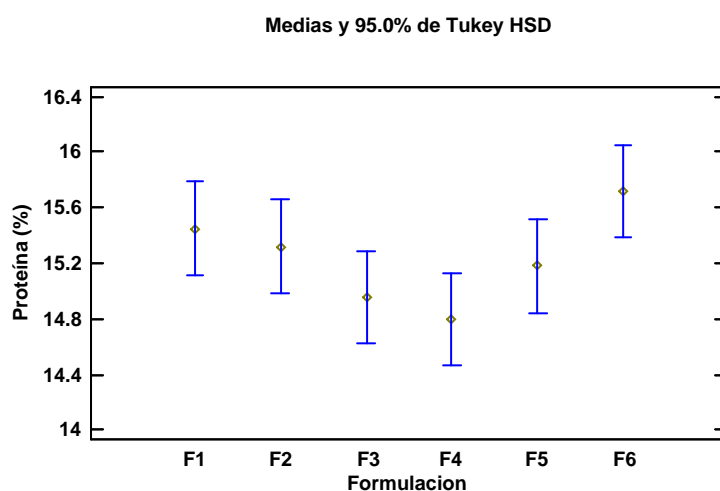
Anexo 4  
Análisis Estadístico Composición Proximal Mezclas

**Tabla ANOVA para Proteína (%) por Formulación**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.68271	5	0.336542	5.59	0.0069
Intra grupos	0.7224	12	0.0602		
Total (Corr.)	2.40511	17			

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de Proteína (%) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 5.5904, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Proteína (%) entre un nivel de Formulación y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.



**Pruebas de Múltiple Rangos para Proteína (%) por Formulación**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
F4	3	14.7967	X
F3	3	14.9567	X
F5	3	15.1833	XX
F2	3	15.32	XX
F1	3	15.45	XX
F6	3	15.72	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
F1 - F2		0.13	0.672994
F1 - F3		0.493333	0.672994
F1 - F4		0.653333	0.672994
F1 - F5		0.266667	0.672994
F1 - F6		-0.27	0.672994
F2 - F3		0.363333	0.672994
F2 - F4		0.523333	0.672994
F2 - F5		0.136667	0.672994
F2 - F6		-0.4	0.672994
F3 - F4		0.16	0.672994
F3 - F5		-0.226667	0.672994
F3 - F6	*	-0.763333	0.672994
F4 - F5		-0.386667	0.672994
F4 - F6	*	-0.923333	0.672994
F5 - F6		-0.536667	0.672994

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

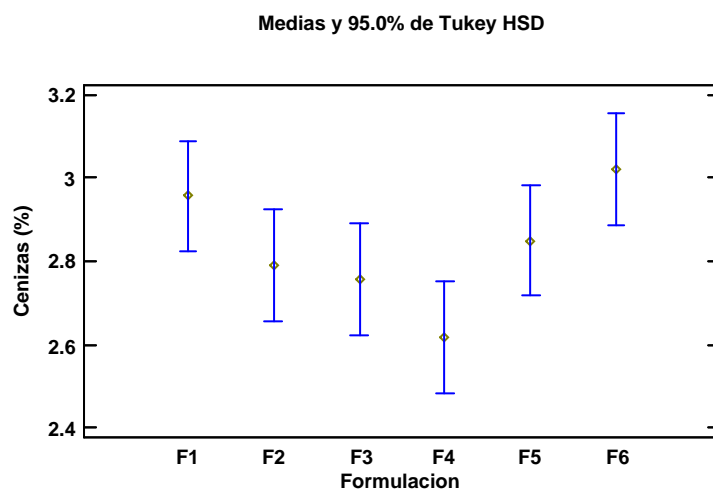
Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Tabla ANOVA para Cenizas (%) por Formulación**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.31505	5	0.06301	6.68	0.0034
Intra grupos	0.1132	12	0.00943333		
Total (Corr.)	0.42825	17			

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Cenizas (%) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 6.67951, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Cenizas (%) entre un nivel de Formulación y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.



### Pruebas de Múltiple Rangos para Cenizas (%) por Formulación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
F4	3	2.61667	X
F3	3	2.75667	XX
F2	3	2.79	XX
F5	3	2.85	XX
F1	3	2.95667	X
F6	3	3.02	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
F1 - F2		0.166667	0.266407
F1 - F3		0.2	0.266407
F1 - F4	*	0.34	0.266407
F1 - F5		0.106667	0.266407
F1 - F6		-0.0633333	0.266407
F2 - F3		0.0333333	0.266407
F2 - F4		0.173333	0.266407
F2 - F5		-0.06	0.266407
F2 - F6		-0.23	0.266407
F3 - F4		0.14	0.266407
F3 - F5		-0.0933333	0.266407
F3 - F6		-0.263333	0.266407
F4 - F5		-0.233333	0.266407
F4 - F6	*	-0.403333	0.266407
F5 - F6		-0.17	0.266407

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles

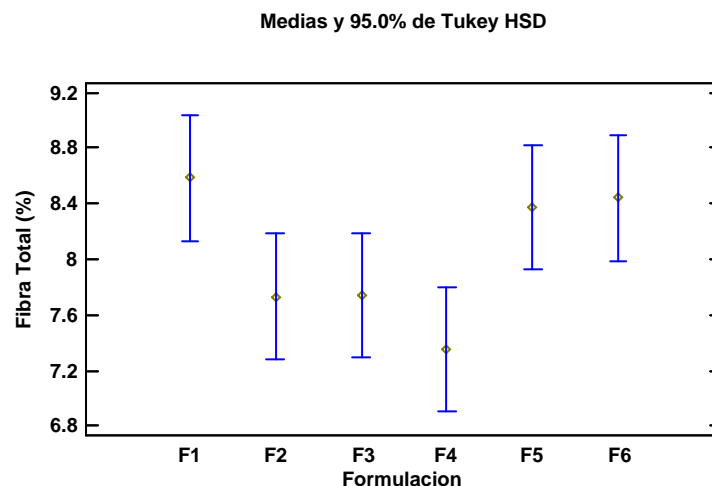
medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Tabla ANOVA para Fibra Total (%) por Formulación**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	3.68123	5	0.736246	6.92	0.0029
Intra grupos	1.27593	12	0.106328		
Total (Corr.)	4.95716	17			

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Fibra Total (%) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 6.9243, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Fibra Total (%) entre un nivel de Formulación y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.



## Pruebas de Múltiple Rangos para Fibra Total (%) por Formulación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
F4	3	7.34667	X
F2	3	7.73333	XX
F3	3	7.74667	XX
F5	3	8.37333	X
F6	3	8.44	X
F1	3	8.58333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
F1 - F2		0.85	0.894409
F1 - F3		0.836667	0.894409
F1 - F4	*	1.23667	0.894409
F1 - F5		0.21	0.894409
F1 - F6		0.143333	0.894409
F2 - F3		-0.0133333	0.894409
F2 - F4		0.386667	0.894409
F2 - F5		-0.64	0.894409
F2 - F6		-0.706667	0.894409
F3 - F4		0.4	0.894409
F3 - F5		-0.626667	0.894409
F3 - F6		-0.693333	0.894409
F4 - F5	*	-1.02667	0.894409
F4 - F6	*	-1.09333	0.894409
F5 - F6		-0.0666667	0.894409

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

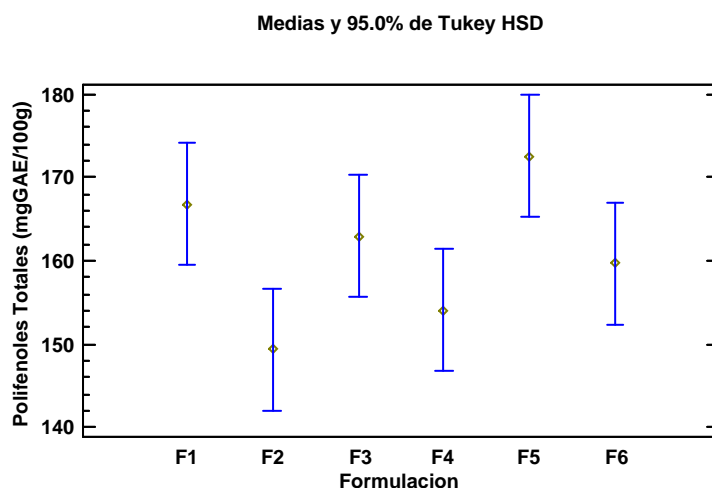
Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Tabla ANOVA para Polifenoles Totales (mgGAE/100g) por Formulación**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1068.93	5	213.786	7.53	0.0021
Intra grupos	340.86	12	28.405		
Total (Corr.)	1409.79	17			

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de Polifenoles Totales (mgGAE/100g) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 7.52635, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Polifenoles Totales (mgGAE/100g) entre un nivel de Formulación y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

**Pruebas de Múltiple Rangos para Polifenoles Totales (mgGAE/100g) por Formulación**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
F2	3	149.333	X
F4	3	154.1	XX
F6	3	159.733	XXX
F3	3	162.9	XXX
F1	3	166.8	XX
F5	3	172.567	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
F1 - F2	*	17.4667	14.6187
F1 - F3		3.9	14.6187
F1 - F4		12.7	14.6187
F1 - F5		-5.76667	14.6187
F1 - F6		7.06667	14.6187
F2 - F3		-13.5667	14.6187
F2 - F4		-4.76667	14.6187
F2 - F5	*	-23.2333	14.6187
F2 - F6		-10.4	14.6187
F3 - F4		8.8	14.6187
F3 - F5		-9.66667	14.6187
F3 - F6		3.16667	14.6187
F4 - F5	*	-18.4667	14.6187
F4 - F6		-5.63333	14.6187
F5 - F6		12.8333	14.6187

\* indica una diferencia significativa.

### **El StatAdvisor**

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.



## Anexo 5 Germinación

### Germinación de Kiwicha



### Germinación de Cañihua



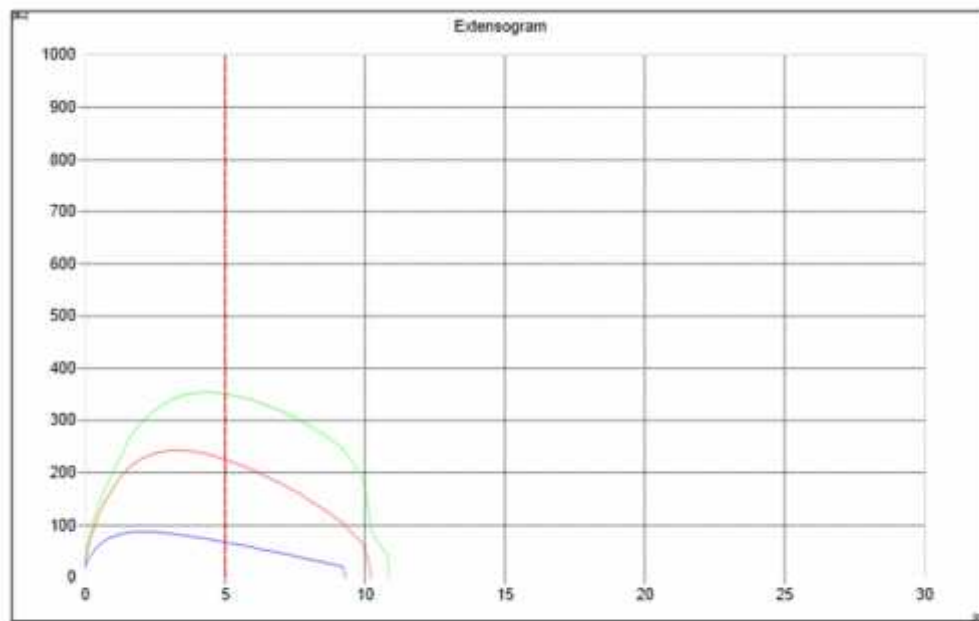
### Germinación de Quinua



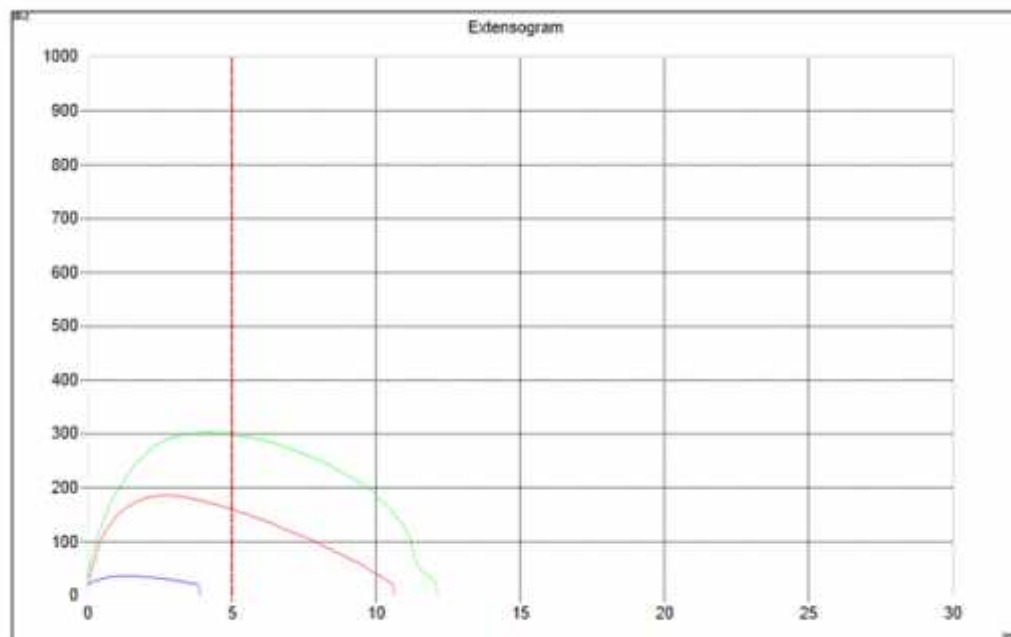


## Anexo 6

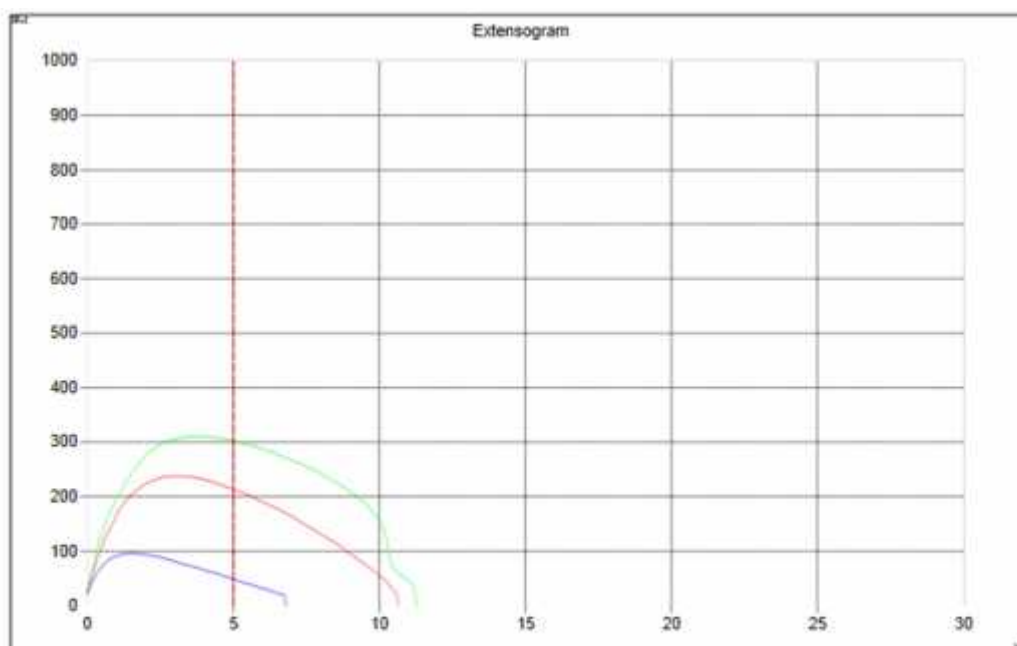
### Análisis Extensografico



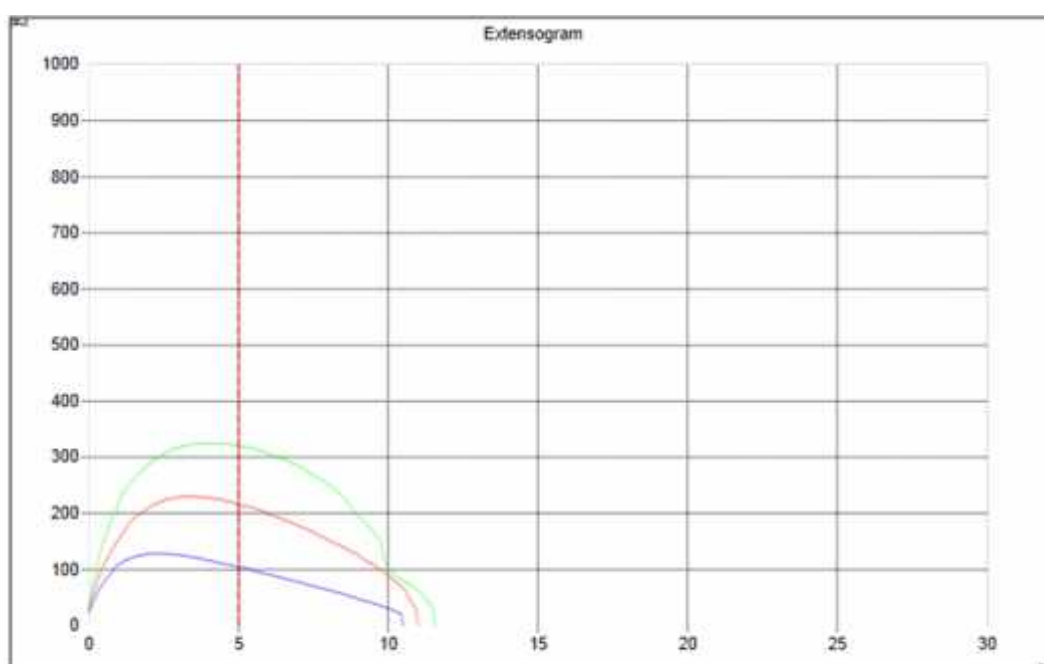
Test: C:\PATY\T1.EXD



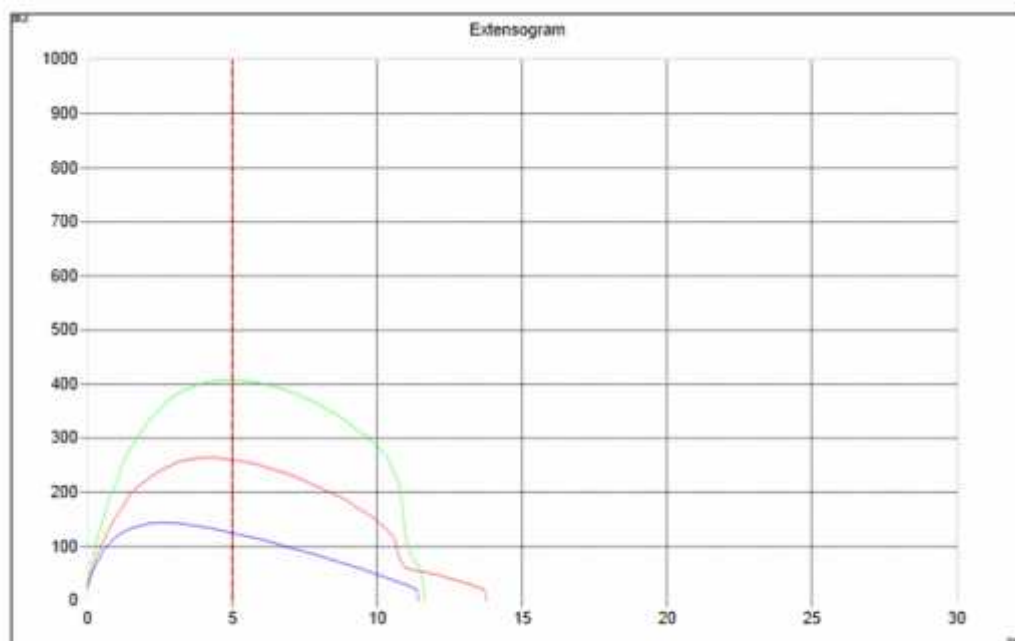
Test: C:\PATY\T2.EXD



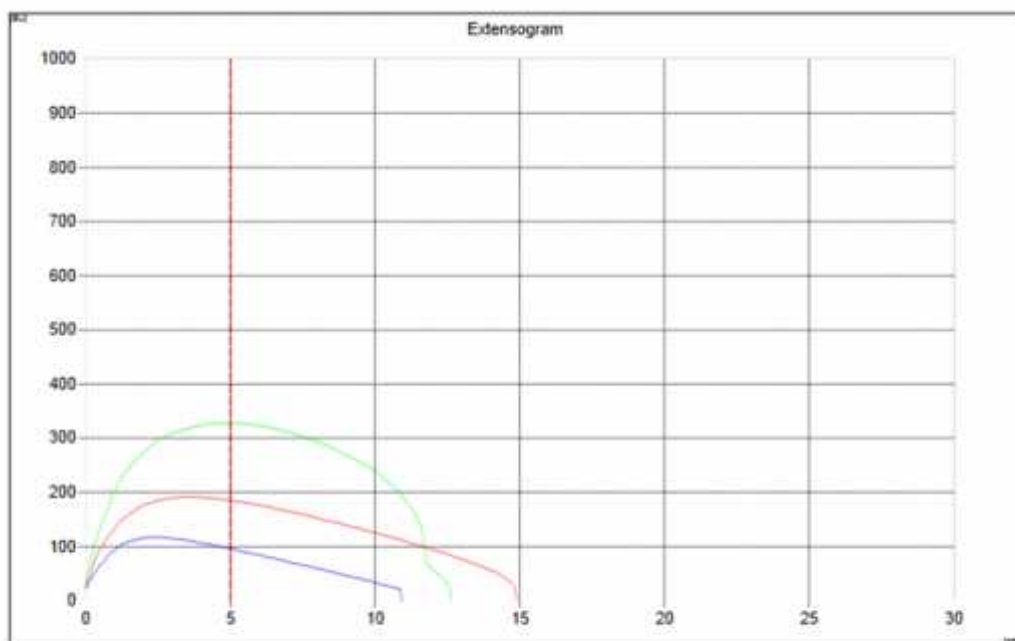
Test: C:\PATY\T3.EXD



Test: C:\PATY\I5.EXD



Test: C:\PATY\I6.EXD

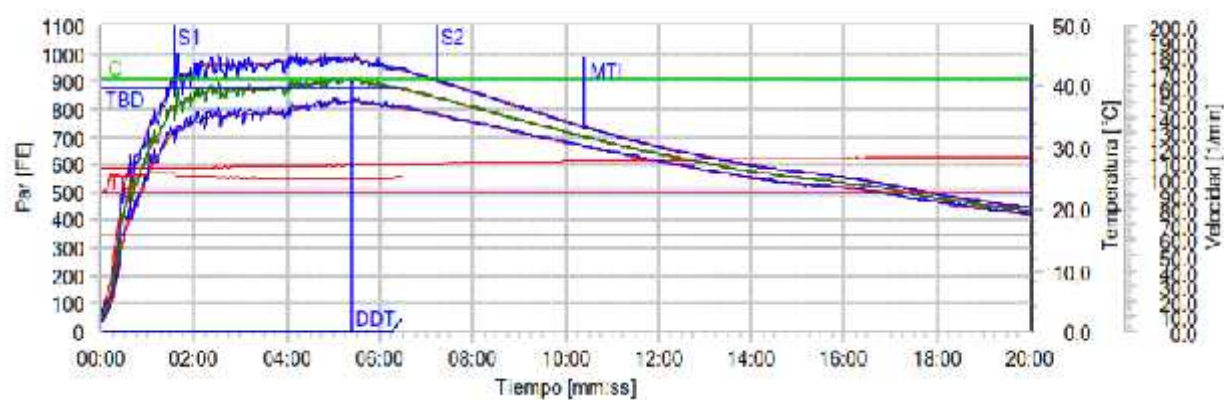


Test: C:\PATY\I7.EXD

## Anexo 7 Resultados Farinografia

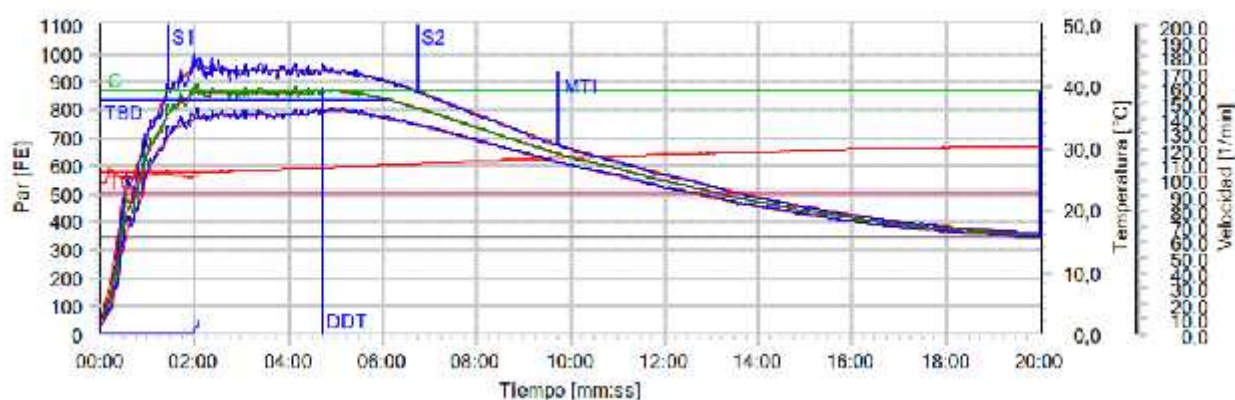
Comentarios:

T1



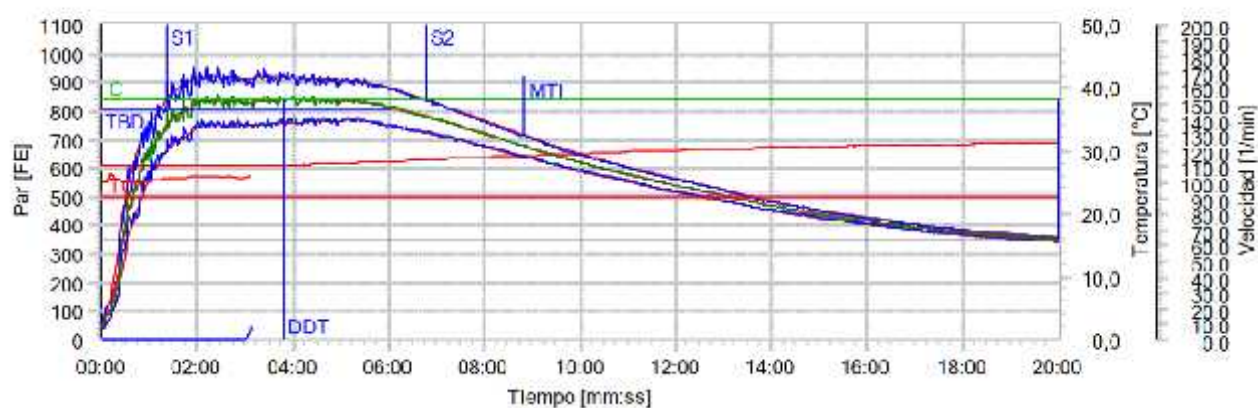
Comentarios:

T2



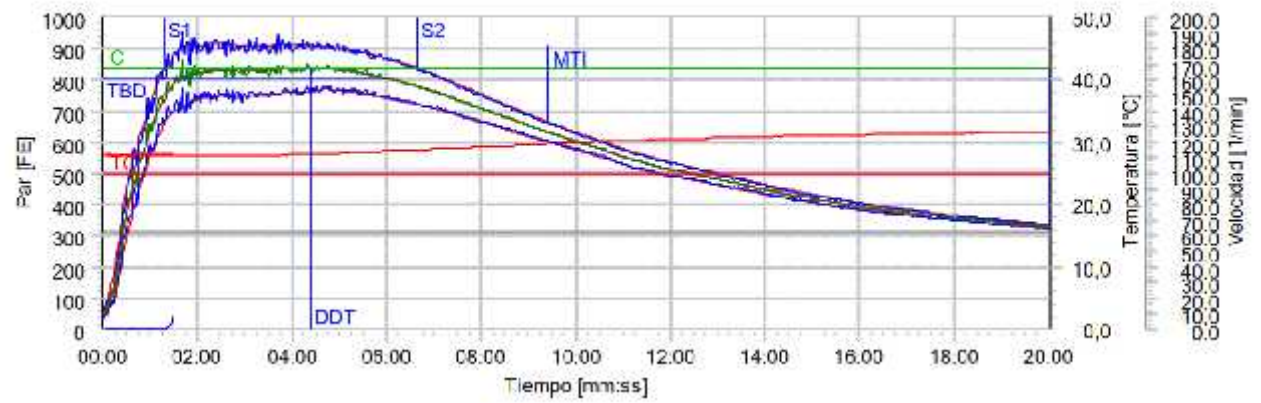
Comentarios:

T3



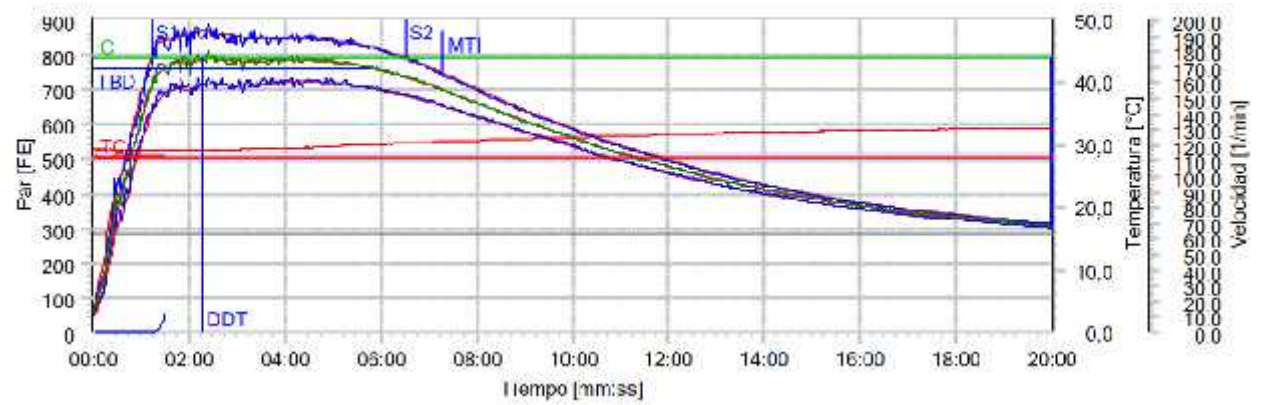
Comentarios:

T5



Comentarios:

T6



Comentarios:

T7

