

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES  
TERMOFÍSICAS (CONDUCTIVIDAD Y DIFUSIVIDAD  
TÉRMICA) EN CINCO VARIEDADES DE PAPAS  
NATIVAS (*Solanum tuberosum*).**

Presentado por

**MAURO RODAS GUIZADO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ANDAHUAYLAS - APURIMAC - PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AGROINDUSTRIAL**



Presentado por  
**MAURO RODAS GUIZADO**

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES  
TERMOFÍSICAS (CONDUCTIVIDAD Y DIFUSIVIDAD  
TÉRMICA) EN CINCO VARIEDADES DE PAPAS  
NATIVAS (*Solanum tuberosum*).**

**Asesor:**

Ing. MSc. Thomas Ancco Vizcarra

**Co-asesor:**

Ing. MSc. David Juan Ramos Huallpartupa

**ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ**

**2019**



Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo



FACULTAD DE INGENIERIA

## APROBACIÓN DEL ASESOR

Quién suscribe:

Ing. MSc. THOMAS ANCCO VIZCARRA, por la presente:

**CERTIFICA,**

Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial, MAURO RODAS GUIZADO ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: **“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMOFÍSICAS (CONDUCTIVIDAD Y DIFUSIVIDAD TÉRMICA) EN CINCO VARIEDADES DE PAPAS NATIVAS (*Solanum tuberosum*)”**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Talavera, 13 de junio del 2019.

Ing. MSc. THOMAS ANCCO VIZCARRA  
**Asesor**

Br. MAURO RODAS GUIZADO  
**Tesista**



Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo



FACULTAD DE INGENIERIA

## APROBACIÓN DEL CO-ASESOR

### Quién suscribe:

Ing. MSc. DAVID JUAN RAMOS HUALLPARTUPA, por la presente:

### CERTIFICA,

Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial, MAURO RODAS GUIZADO ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: **“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMOFÍSICAS (CONDUCTIVIDAD Y DIFUSIVIDAD TÉRMICA) EN CINCO VARIEDADES DE PAPAS NATIVAS (*Solanum tuberosum*)”**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Talavera, 13 de junio del 2019.

Ing. MSc. DAVID JUAN RAMOS HUALLPARTUPA  
**Co-Asesor**

Br. MAURO RODAS GUIZADO  
**Tesista**



Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo



## FACULTAD DE INGENIERIA

### APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

LA TESIS: **DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMOFÍSICAS (CONDUCTIVIDAD Y DIFUSIVIDAD TERMICA) EN CINCO VARIEDADES DE PAPAS NATIVAS (*Solanum tuberosum*)**; para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, ha sido evaluada por el Jurado Dictaminador conformado por:

**PRESIDENTE:** Ing. FREDY TAIPE PARDO

**PRIMER MIEMBRO:** Ing. JUVENAL RIVAS LEGUÍA

**SEGUNDO MIEMBRO:** Ing. Mg. ROSA HUARACA APARCO

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 13 del mes de junio de 2018

Andahuaylas, 13 de junio de 2019

---

Ing. FREDY TAIPE PARDO  
PRESIDENTE DEL JURADO DICTAMINADOR

---

Ing. JUVENAL RIVAS LEGUÍA  
PRIMER MIEMBRO DEL JURADO DICTAMINADOR

---

Ing. Mg. ROSA HUARACA APARCO  
SEGUNDO MIEMBRO DEL JURADO DICTAMINADOR



FACULTAD DE INGENIERIA

**ACTA DE SUSTENTACION  
DE TESIS**

En la Av. 28 de julio N° 1103 del Local Académico SL02 (Santa Rosa) en el Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas ubicado en el distrito de Talavera de la Reyna de la Provincia de Andahuaylas, siendo las 10:00 horas del día 13 de junio del año 2019, se reunieron los docentes: Ing. Fredy Taipe Pardo, Ing. Juvenal Rivas Leguía, Mg. Rosa Huaraca Aparco, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMOFÍSICAS (CONDUCTIVIDAD Y DIFUSIVIDAD TÉRMICA) EN CINCO VARIEDADES DE PAPAS NATIVAS (*SOLANUM TUBEROSUM*)", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **MAURO RODAS GUIZADO**, el asesor MSc. Thomas Ancco Vizcarra y el Co-Asesor MSc. David Juan Ramos Huallpartupa con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la tesis, el Jurado Evaluador **ACORDÓ:** APROBADO por UNANIMIDAD al Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **MAURO RODAS GUIZADO**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
17	Diecisiete	Muy Bueno

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

Ing. Fredy Taipe Pardo  
Presidente del Jurado Evaluador

Ing. Juvenal Rivas Leguía  
Primer Miembro del Jurado Evaluador

Mg. Rosa Huaraca Aparco  
Segundo Miembro del Jurado Evaluador

## DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía, por hacer posible la culminación de mis estudios y logro de mis metas profesionales.

A mis queridos padres, Rosa y Mauro, por su amor, comprensión y apoyo incondicional que nunca perdieron las esperanzas y brindarme sus sabios consejos que marcaron desde el comienzo de mi vida universitaria y darme la oportunidad de crecer y formarme profesionalmente con perseverancia y entrega.

A mis hermanos (as): Efraín, Angélica, Julián, Nely, Abel, Froilan, Alex por su confianza y aliento permanente.

A mi familia, por su apoyo al compartir momentos de calma y estrés, celebrar mis logros y darme ánimo en situaciones difíciles.

A mi Alma Mater la UNAJMA, Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial que me enseñó a caminar en la vida profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por guiarme en el camino correcto y hacer de mí una persona con calidad humana.

A mis padres y hermanos, por estar a mi lado en mis alegrías y tristezas, por su ayuda incondicional, por confiar y creer en mí.

A mi asesor, Ing. Mg. Thomas Ancco Vizcarra y Co-asesor Ing. Mg. David Juan Ramos Huallpartupa, por su tolerancia y buena voluntad.

A los ingenieros: Ing. Fredy Taipe Pardo, Ing. Juvenal Rivas Leguía y Ing. Mg. Rosa Huaraca Aparco, por su apoyo, orientación y recomendaciones valiosas brindadas para el desarrollo de esta Tesis.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por sus lecciones de vida y académicas durante los años de mi formación profesional.

A todos los compañeros y amigos por haberme brindado su amistad y apoyo incondicional y por todas las experiencias compartidas a lo largo de los años recorridos en nuestra formación profesional.

A los agricultores andinos, auténticos conservadores de la biodiversidad agrícola, que día a día vienen redescubriendo el tesoro olvidado que son las papas nativas de los Andes.

## ÍNDICE GENERAL

	Pag.
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xi
ABREBRIATURAS Y SIMBOLOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRAC.....	xiv
CHUMASQA.....	xv
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....	3
2.6. Composición química y usos de papa fresca .....	9
2.7. Propiedades termofísicas.....	10
2.7.1. Densidad.....	10
a. Densidad del solido .....	10
b. Densidad aparente .....	11
c. Densidad verdadera .....	12
d. Densidad del material (sustancia).....	12
e. Densidad de partícula .....	12
f. Densidad global.....	12
g. Densidad y temperatura.....	12
2.7.2. Calor especifico.....	14
a. Predicción del calor especifico.....	15
b. Factores que afectan al calor específico .....	15
2.7.3. Conductividad térmica .....	16
a. Predicción de la conductividad térmica.....	17
b. Valores representativos de conductividad térmica de componentes de los alimentos. .....	18
2.7.4. Difusividad térmica .....	19
2.7.5. Conducción de calor en estado no estable .....	21
CAPITULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
3.1. Lugar de ejecución .....	22
3.2. Materia prima.....	22

3.4. Metodología.....	24
3.4.1. Diagrama de bloques del proceso.....	24
3.4.2. Análisis proximal de las materias primas .....	25
3.4.3. Determinación de las propiedades termofísicas .....	26
3.4.3.1. Determinación de conductividad térmica.....	26
3.4.3.2. Determinación de difusividad térmica.....	26
3.5. Diseño experimental.....	27
3.5.1. Matriz para diseño factorial 4x5 .....	27
3.5.2. Análisis estadístico.....	29
3.5.2.1. Hipótesis.....	29
CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	31
4.1. Análisis químico proximal de la papa nativa.....	31
4.2. Densidad y calor específico en función a la humedad de la papa. ....	31
4.3. Conductividad térmica.....	33
4.4. Difusividad térmica. ....	37
CONCLUSIONES.....	41
RECOMENDACIONES .....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	43
ANEXOS.....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
<b>Tabla 1.</b> Especies de <i>Solanum tuberosum</i> L. cultivadas en el Perú.....	7
<b>Tabla 2.</b> Nombre común de papas nativas en el Perú. ....	8
<b>Tabla 3.</b> Aporte nutricional de papa fresca para consumo humano. ....	9
<b>Tabla 4.</b> Composición proximal de la papa por cada 100 g de materia húmeda. ....	10
<b>Tabla 5.</b> Densidad de sólidos para algunos componentes mayoritarios de alimentos. ....	13
<b>Tabla 6.</b> Densidades a granel de algunos productos alimentarios. ....	14
<b>Tabla 7.</b> Presentamos una serie de fórmulas para determinar el calor específico de varios tipos de materiales en función de la temperatura. ....	15
<b>Tabla 8.</b> Conductividad térmica (W/m °K) de los componentes de los alimentos como función de la temperatura en °C. ....	18
<b>Tabla 9.</b> Conductividad térmica de algunos alimentos.....	18
<b>Tabla 10.</b> Valores representativos de conductividad térmica de los componentes de los alimentos. ....	18
<b>Tabla 11.</b> Difusividad térmica de frutas y otros alimentos. ....	20
<b>Tabla 12.</b> Lista de materiales a emplear en la investigación. ....	23
<b>Tabla 13.</b> Lista de instrumentos y equipos empleados en la investigación. ....	23
<b>Tabla 14.</b> Arreglo experimental para la recolección de datos experimentales. ....	27
<b>Tabla 15.</b> Anova para el diseño factorial 4x5. ....	30
<b>Tabla 16.</b> Análisis químico proximal de 5 variedades de papa nativa en estudio. ....	31
<b>Tabla 17.</b> Densidad y calor específico según la temperatura y variedad de papa nativa. ....	32
<b>Tabla 18.</b> Conductividad térmica en cinco variedades de papas nativas.....	33
<b>Tabla 19.</b> Conductividad térmica en cinco variedades de papas nativas.....	34
<b>Tabla 20.</b> Prueba LSD de conductividad térmica según temperatura. ....	34
<b>Tabla 21.</b> Prueba LSD de conductividad térmica según variedad.....	35
<b>Tabla 22.</b> Resultados de difusividad térmica.....	37
<b>Tabla 23.</b> Difusividad térmica en cinco variedades de papas nativas. ....	38
<b>Tabla 24.</b> Prueba comparación de media LSD de difusividad térmica según temperatura. ....	38
<b>Tabla 25.</b> Prueba LSD de Difusividad térmica según Variedad.....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Diagrama de bloques para la determinación de las propiedades termofísicas (conductividad y difusividad térmica) de cinco variedades papas nativas. ....	24
<b>Figura 2.</b> Diseño experimental.....	28
<b>Figura 3.</b> Conductividad térmica según temperatura.....	35
<b>Figura 4.</b> Conductividad térmica según la variedad de papa nativa.....	36
<b>Figura 5.</b> Difusividad térmica según variedad de papas nativas.....	39

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1.</b> Matriz de consistencia.....	49
<b>ANEXO 2.</b> Arreglo experimental para la recolección de datos de conductividad y difusividad.....	50
<b>ANEXO 3.</b> Cuadro de medias por mínimos cuadrados para conductividad térmica con intervalos de confianza del 95,0 %. .....	51
<b>ANEXO 4.</b> Pruebas de múltiples rangos para conductividad térmica por temperatura.....	52
<b>ANEXO 5.</b> Cuadro de medias por mínimos cuadrados para difusividad térmica con intervalos de confianza del 95,0 %. .....	52
<b>ANEXO 6.</b> Pruebas de múltiples rangos para difusividad térmica por temperatura.....	53
<b>ANEXO 7.</b> Variedades de papas nativas.....	54
<b>ANEXO 8.</b> Recolección de datos .....	55

## ABREBRIATURAS Y SIMBOLOS

<b>K</b>	Conductividad térmica (W/m K)
<b>A</b>	Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s)
<b>C<sub>p</sub></b>	Calor específico
<b>A</b>	Área de corte transversal normal a la dirección del flujo de calor. (m <sup>2</sup> y pie <sup>2</sup> )
<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados.
<b>S</b>	Segundos.
<b>P</b>	Densidad.
<b>q<sub>x</sub></b>	Velocidad de transferencia de calor.
<b>X</b>	Distancia (metros, pies <sup>2</sup> ).
<b>ERO</b>	Especies reactivas de oxígeno.
<b>q<sub>x</sub>/A</b>	Flujo específico de calor (W/m <sup>2</sup> ).
<b>G</b>	Gramos.
<b>dT/dx</b>	Gradiente de temperatura.
<b>T</b>	Temperatura.
<b>r<sub>1</sub></b>	Radio interior.
<b>r<sub>2</sub></b>	Radio exterior.
<b>M</b>	Masa.
<b>Kg</b>	Kilogramo.
<b>S.I.</b>	Sin identificar
<b>LSD</b>	Diferencia mínima significativa
<b>A.O.A.C.</b>	Asociación de Químicos Analíticos Oficiales
<b>LS</b>	Límite significativa
<b>CHO</b>	Carbohidratos
<b>%</b>	Porcentaje

## RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo por objetivo determinar las propiedades termofísicas (conductividad y difusividad térmica) a 30, 40, 50 y 60 °C de cinco variedades de papas nativas (Luqui morada, Duraznillo, Murwa, Huachuco, Qayma marcela), provenientes de la asociación Sumaq papa de Motoy del distrito de Ancco – Huallo provincia de Chincheros región Apurímac con madures fisiológica de cosecha. El análisis químico proximal se determinó según la A.O.A.C., asimismo se adecuó a las ecuaciones empíricas de Choi y Okos, para la determinación de conductividad y difusividad térmica. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza con un arreglo factorial de 5x4 con tres repeticiones, se realizaron pruebas de (LSD) Fisher con 95 % de nivel de confianza. Determinándose que Luqui morada presentó mayor porcentaje de humedad (79.69 %), mientras que Huachuco tuvo mayor porcentaje de carbohidratos (CHO) (23.96 %), 0.94 % de grasa, 2.08 % de fibra y 0.95 % de ceniza y Murwa presentó mayor porcentaje de proteínas (2.85 %). Concluyéndose que Luqui Morada tiene mayor conductividad térmica (0.54 – 0.57 W/m K) y menor difusividad ( $1.30 \times 10^{-7}$ - $1.33 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s) frente a las demás variedades. Estos resultados sirven como índices de control de calidad de materia prima durante su transformación en productos elaborados.

**Palabras claves:** propiedades termofísicas, conductividad, difusividad térmica, variedad.

## ABSTRAC

The objective of the research work was to determine the thermophysical properties (conductivity and thermal diffusivity) at 30, 40, 50 and 60 °C of five native potato varieties (Luqui morada, Duraznillo, Murwa, Huachuco, Qayma marcela), from the association Sumaq potato of Motoy of the district of Uripa (Ancco Huallo) with physiological maturity of harvest. The proximal chemical analysis was determined according to the A.O.A.C., also adapted to the empirical equations of Choi and Okos for the determination of conductivity and thermal diffusivity. The data were subjected to analysis of variance with a factorial arrangement of 5x4 with three repetitions, Fisher (LSD) tests with 95% confidence level were performed. It was determined that Luqui morada presented a greater percentage of humidity (79.69 %), while Huachuco had a higher percentage of carbohydrates (CHO) (23.96 %), 0.94 % of fat, 2.08 % of fiber and 0.95 % of ash and Murwa presented a higher percentage of proteins (2.85 %). Concluding that Luqui Morada has higher thermal conductivity (0.54 - 0.57 W / m K) and lower diffusivity ( $1.30 \times 10^{-7}$ - $1.33 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup> / s) compared to the other varieties. These results serve as quality control indexes of raw material during its transformation into processed products.

**Keywords:** thermophysical properties, conductivity, thermal diffusivity, variety.

## CHUMASQA

Kay kuskisqa llamkayqa rurasqa karqa pichqa kaq ñawpa papakunapa (Luqi morada, Duraznillu, Murwa, Huachuku, Qayma marcela) imaynatas chirita, rupayta chaskin, hinaspa kaywan allin kawsay mikunaman tikrakun chay yachanapaqmi (conductividad y difusividad térmica nisqanta), kay papakunam karqa Asociación Sumaq Papa Motoy Ilaqtamanta, Anccohuayllu uchuy suyu, Chincheros hatun Ilaqtaman qatipakuq, Apurímac suyumanta apamusqa, allin puqusqa allasqa. Maskapaq chaqllisinchi asuykuy yachanapaq A.O.A.C nisqaman hapipakurqa; hinallataq chiqapyachirqa kay ecuaciones empíricas de Choi y Okos nisqaman, imaynatas chirita, utaq rupayta chaskin, hinaspa kaywan allin kawsay mikunaman rikchakun chay yachanapaq. Kay yachasqakuna quqarisqaqa taripachikurqa 5x4 nisqawan, kimsakama kutipaspa, chaynallataq maskapanapaq chay nanalisis waryansa (LSD) Fisher con 95% chiqaprinkama ruraraq. Chaypim yacharqa Luqi moradapa ancha yakusapa kasqanta (79.69%), Huachuku achka carbohidratuyuq kasqanta (CHO) (23.96%), 0,94% wirayuq kasqanta, 2.08% qaytuchayuq (fibra), hinallataq 0,95% uchpayuq kasqanta; Murwapañataq aswan ancha proteína sapa rikurisqanta (2.85%). Tukunapaq nisun, Luqi morada papam aswan chirita, rupayta chaskin (0.54 - 0.57 W/m K) ichaqa kaywan tumpallantam ( $1.30 \cdot 10^{-7}$  -  $1.33 \cdot 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$ ) wakin papakunamantaqa allin kawsay mikunaman rikchakun. Kay yachay tarisqakunaqa kanqa imaymana chayraq pallasqa kawsaykunawan huk mikunakunata ruraptin imaynatas allin kayman tikrakun chay yachanapaqmi.

**Ñawpaq simikuna:** Chiri, rupay chaskiq, apaq, allin kawsayman rikchakuq, achka kaqkuna.

## CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

La calidad de los productos agrícolas hace referencia a una serie de características que determinan su grado de aceptación por parte del consumidor, relacionadas fundamentalmente con su sanidad general y vida comercial.

La papa nativa (*Solanum tuberosum*), oriunda de los andes peruanos, ha llegado a nuestros días con sus diversas formas y múltiples colores gracias al cuidado, dedicación del agricultor alto andino, con sus cientos de variedades, así como los conocimientos y técnicas ancestrales asociados al cultivo y el manejo del paisaje agrícola.

En la industrialización de estos tubérculos, los problemas que tienen los productores e industriales, respecto a la utilización integral de los productos agropecuarios, es que dejan de lado el conocimiento de los procesos de transformación y el ahorro de energía que demandan, debido al poco conocimiento de algunas propiedades involucradas en los tratamientos térmicos, provocando así pérdidas económicas al productor por el mal uso de energía.

Las propiedades termofísicas en los alimentos son parámetros muy importantes en la industria alimentaria y se utilizan en diversas operaciones unitarias relacionados con diversos fenómenos como en flujo de fluidos, transmisión de calor y materia, operaciones mecánicas entre sólidos y fluidos y en otros fenómenos importantes en los procesos alimentarios (Aguado *et al*, 1999). Pueden ser estimadas a partir de los valores publicados por materias similares, la eficiencia del proceso y el diseño de los equipos utilizados para realizar el proceso, depende de las magnitudes más precisas de estas propiedades.

La conductividad térmica ( $k$ ) es una medida de la velocidad a la cual el calor es conducido en un material, es un coeficiente que cuantifica la velocidad de transferencia de calor en estado estable a lo largo de la dirección de un gradiente de temperatura, gobernada por la ley de Fourier de conducción de calor. La difusividad térmica ( $\alpha$ ) es la relación de la conductividad térmica con la capacidad calórica de un material; este parámetro cuantifica la habilidad de un material para almacenar energía térmica durante un proceso de transferencia de calor. La difusividad térmica también se puede definir como la velocidad a la cual la energía térmica se difunde por conducción a través del material, es la propiedad térmica controlante durante el proceso de calentamiento conductivo transitorio (Huang *et al.*, 2009). El calor específico de un material es la cantidad de calor necesaria para aumentar su temperatura en una unidad por unidad de

masa, sin cambiar de estado. El modelo matemático más utilizado para conocer las propiedades termofísicas, son las ecuaciones empíricas desarrollado por Choi y Okos (1986) basado en la temperatura, en un rango de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$ , y la composición que tiene el alimento de humedad, proteína, grasa, fibra, carbohidratos y cenizas.

La transferencia de calor es un proceso donde la energía transita de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperaturas entre éstos. El coeficiente de transferencia de calor ( $h$ ) es una constante de proporcionalidad entre el flujo de calor y la diferencia de temperaturas entre la superficie de la muestra y el fluido en tanto, se define como la tasa de calor que puede ser transmitido por convección en la interacción entre la superficie del producto y el fluido, a través de un área superficial unitaria y un gradiente de temperatura unitario y se expresa en unidades internacionales de  $\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Alvis *et al.*, 2009). En donde que el agua es el componente predominante en la mayoría de los alimentos, que influencia perceptiblemente las características termofísicas de alimentos.

Cada tipo de alimento tiene un tiempo específico de cocción, lo cual depende de la velocidad de transmisión de calor, el grado de hidratación, porosidad, espesor y composición. Gracias al calor, en la cocción se consigue la destrucción de toxinas e inhibición de agentes causales de enfermedades que se encuentran en los alimentos crudos, contribuyendo a la coagulación de las proteínas para su mayor disposición y digestión en el cuerpo.

En esta medida, el proceso de tratamiento térmico es de vital importancia, ya que puede reducir el costo de energía utilizada. Sin embargo, a la fecha hay pocos datos disponibles sobre la influencia del proceso de cocción por ebullición en las cualidades de los alimentos, por lo que una cocción adecuada de la papa nativa implica conocer aún más el proceso y un control exacto sobre la calidad del producto final. No existen datos relacionados a la determinación de las propiedades termofísicas de papas nativas, por lo que existe la necesidad del estudio de las propiedades termofísicas (difusividad y conductividad) en cinco variedades de papas nativas (Luqui Morada, Qayma Marcella, Duraznillo, Murwa y Huachuco). Por lo que se planteó como objetivos específicos:

- Determinar y comparar la difusividad térmica en cinco variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*).
- Determinar y comparar la conductividad térmica en cinco variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*).

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

Los estudios realizados a la actualidad mencionan que la difusividad térmica es una propiedad importante para la simulación de procesos en donde la transmisión de calor se efectúa en estado transitorio, asimismo hacen notar que el significado físico de la difusividad térmica consiste en determinar lo rápido que el calor se propaga o difunde a través de un material, es decir la rapidez con la que se propaga la temperatura cuando hay calentamiento o enfriamiento (Alvarado, 2001).

Para manejar sistemáticamente la transferencia de calor es necesario conocer las propiedades termofísicas de los alimentos, entre las cuales se tienen la capacidad calorífica, la conductividad y difusividad térmica, que son datos básicos utilizados en el diseño y simulación de procesos de transferencia de calor en la ingeniería de alimentos (enfriamiento, calentamiento, secado, congelamiento, etc.). Debido a la larga diversidad de alimentos con diferencias en composición, textura, variedad, y otros, se necesitan de técnicas rápidas y exactas para lograr medir estas propiedades termofísicas. En general, la composición, la densidad másica y la temperatura son los factores o condiciones de proceso que afectan principalmente estas propiedades térmicas. (Muñoz, 2002).

Las propiedades termales de los productos vegetales son atribuidas principalmente al valor de la difusividad termal, la conductividad termal, así como el calor específico, todas las variables en función al contenido de nutrientes considerados como sólidos totales presentes en las diferentes variedades de papa, por lo que es importante conocer las propiedades termales, esto con la finalidad de realizar operaciones y procesos de tratamiento térmico en las diferentes variedades de papa y cortes. (Ramos, 2014)

Moraga (2008), en su trabajo de investigación titulado; Determinación del calor específico de Murta (*Ugni molinae Turcz*) y Arándano (*Vaccinium corymbosum L.*) en un rango de temperatura entre 20 °C y 80 °C por el Método de la Calorimetría Diferencial de Barrido, menciona que el calor específico de Murta, presentó de  $3,798 \pm 0,133$  kJ/kg.K con una humedad de 76,24 %, asimismo Arándano arrojó un valor promedio en el mismo rango de temperatura de  $3,820 \pm 0,118$  kJ/kg K con una humedad de 76,65 %. Reporta que el calor específico de la Murta en función de la temperatura en un rango de temperaturas entre  $20^{\circ}\text{C} < T < 80^{\circ}\text{C}$  puede ser calculado con una ecuación cuadrática  $C_p = 3,4632 + 5,6698 \times 10^{-3} \times T + 1,8333 \times 10^{-5} \times T^2$  para el ecotipo de Murta 19 -1 y  $C_p = 3,5299 + 4,6984 \times 10^{-3} \times T + 1,9682 \times 10^{-5} \times T^2$  para el ecotipo de Murta 27-1. Dado que el calor específico de los ecotipos fluctúa con respecto al contenido de humedad, se

calculó para el rango de temperatura analizado un valor promedio del calor específico de  $3,798 \pm 0,133$  kJ/kg.K para el ecotipo 19-1 con un contenido de humedad del 76,24 % y el valor promedio de  $3,820 \pm 0,118$  kJ/kg.K para el ecotipo 27-1 con un contenido de humedad del 76,65 %.

Coaricona (2008), en su trabajo de investigación titulado; Simulación del comportamiento de la difusividad térmica del masato (masa de yuca fermentada diluida), en función al porcentaje de humedad. Determinó la difusividad térmica del masato en un rango de humedades de 74,36 a 95 %, para ello se diseñó un equipo en base a la bibliografía. El masato presentó valores de difusividad térmica que van de  $1,31 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s a 74,36 % de humedad hasta  $1,43 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s, aumentando con la humedad.

Se han determinado estudios de determinaciones de difusividad térmica en pulpa de Noni, (García, 2009), pasta de murta, (Muños, 2002), en papa (Ramos, 2014), harina de chachafruto (Quintero, 2012), donde han demostrado que estos valores cambian según el material y vegetal estudiado, asimismo han demostrados que cambian en función al contenido de humedad, forma, porosidad, y también han estimado difusividad y conductividad a diferentes rangos de temperatura para ser aplicados o empleados en procesos tecnológicos de industrialización de alimentos.

Para simular la difusión del calor en un cuerpo, se pueden utilizar las soluciones exactas o también llamadas analíticas; siempre y cuando se mantengan constantes las propiedades del alimento y la forma geométrica sea simple (Çengel, 2007).

Recientes investigaciones han demostrado que la utilización de los métodos numéricos como el de diferencias finitas, simulan correctamente la transferencia de calor, hasta incluso si se incorpora información como el cambio de las propiedades térmicas de los alimentos, estructura y condiciones superficiales del proceso (Bisceglia *et al.* 2013; Perusello *et al.*, 2011, Sakin-Yilmazer *et al.*, 2012; Feyissa, 2011; Goñi y Salvadori, 2011; Loss *et al.*, 2011; Andreasen, 2009; Betta *et al.*, 2009; Lespinard *et al.*, 2009; Delgado y Sun, 2003; Mohamed, 2003; Ansari, 1999; Wang y Brennan, 1995).

## **2.2. La papa (*Solanum tuberosum*)**

La papa se cultiva en los Andes desde hace más de 7000 años (Horton, 1992). El origen de la papa (*Solanum tuberosum*) se centra en la parte norte del lago Titicaca al sur del Perú.

Horton, (1992), menciona que el cultivo de la papa una vez domesticado, se extendió por toda la región andina, y al momento de la conquista española -principios

del siglo XVI se cultivaban cientos de variedades en las regiones altas de lo que actualmente son Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú.

Si bien la papa es originaria de los altos Andes de América del Sur, en los dos últimos siglos la mayor parte ha sido cultivada en Europa, por esta razón, mucha gente piensa en la papa como un cultivo europeo y asume que las tendencias mundiales de producción y uso de la papa acompañan a las tendencias europeas, lo cual no es así. (Horton, 1992).

Actualmente, la sub especie *Solanum tuberosum* es el cuarto cultivo de mayor importancia en el mundo después del arroz, el trigo y el maíz (Centro Internacional de la Papa, 2006).

La papa blanca es una de las variedades más importantes en el mundo ya que es un importante cultivo alimentario. Desde su introducción a Europa desde América del Sur en el siglo XVI, su capacidad de adaptación y la capacidad para producir buenas cosechas han convertido, a la papa, en un alimento. (más de 130 países) (Gould, 1999).

Según la FAO, el mayor productor de papa en el mundo es Asia y Europa, seguido por América Latina (Faostat, 2015).

Se estima que existan más de tres mil variedades de papas nativas en el Perú, siendo las principales variedades de papas cultivadas: la Blanca, Amarilla, Colorada, Canchán, Yungay, Perricholi, Peruanita, Amarilis, entre otras (Maldonado *et al.*, 2008).

### **2.3. Producción de papa nativa en el Perú**

En el Perú, su valor económico representa el 8% del PBI agropecuario, están involucrados más de 600 000 agricultores de 19 departamentos del país. En los últimos años el consumo de papa ha aumentado notablemente, el 2001 se consumían un promedio de 54 kg/per cápita, actualmente se consumen 87 kg/per cápita, cifras aún bajas en comparación con otros países donde se consumen entre 180 y 200 kg por persona al año. Es la actividad que genera más ingresos para las comunidades alto Andinas, y cuando esta es ineficiente se originan problemas como la migración y el sobre repoblamiento de las ciudades, las cuales quiebran el orden económico y social. Sin embargo, se observan grandes posibilidades de mejora en la producción, sobre todo de papa nativa, que se ha convertido en un boom gastronómico de gran demanda debido a su sabor agradable y no poseer pesticidas. El rendimiento promedio obtenido en el año 2010 fue de 13.2 toneladas por hectárea, llegando a obtener una producción de 3, 814 miles de toneladas con alrededor de 290 mil hectáreas dedicadas a este cultivo. Los departamentos con mayor producción de papa son Puno, Huánuco, La

Libertad, Junín, Cajamarca, Cusco, Arequipa, Lima, Apurímac, Ayacucho, Ancash, Pasco e Ica lugares donde todavía se llevan a cabo prácticas ancestrales como el ayni, donde las comunidades campesinas aúnan esfuerzos en pos de una buena cosecha. (Santos, 2011).

#### **2.4. Descripción botánica**

La papa es una planta herbácea, vivaz, dicotiledónea, provista de un sistema aéreo y otro subterráneo de naturaleza rizomatosa del cual se originan los tubérculos (Realpe, 2010). La clasificación de la papa ocupa la siguiente posición taxonómica. (Cronquist, 1986).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: Solanum Especie: *Solanum tuberosum*

##### **2.4.1. Especies cultivadas**

- *Solanum tuberosum*: Plantas de crecimiento vigoroso, de 0.4 a 1.2 m de altura, con estolones blancos o pigmentados de 0.1 a 1.5 m de longitud, los tubérculos varían en forma, desde redondeadas, algo aplanadas, piriformes, filiformes, vermiformes, incluso palmatiformes. Las colocaciones externas del tubérculo varían también intensamente, pudiendo presentarse desde colores puros uniformes, blanco amarillo, marrón, rojo, rosado, violeta, azul violáceo, hasta combinación de dos colores bien definidos, incluso alguno presenta halos alrededor de los ojos con jaspes pigmentados irregularmente. Dentro de esta especie se reconoce dos subespecies:
- *Subespecie tuberosum*: crece en días largos y cortos y en los trópicos de bajas altitudes, su número cromosómico es:  $2n = 4x = 48$  por tanto es un tetraploide.
- *Subespecie andigenum*: considerada la subespecie ancestral de *S. tuberosum*, posiblemente originado del cruce entre *S. stenotomum* y *S. sparsipilum*. Tiene una amplia variabilidad, su número cromosómico es:  $2n = 4x = 48$  por tanto es un tetraploide. (Egúsqiza, 2000).

**Tabla 1.** Especies de *Solanum tuberosum* L. cultivadas en el Perú.

Diploides	<i>S. stenotomun.</i>
	<i>S. goniocalyx.</i>
	<i>S. phureja.</i>
	<i>S. x ajanhuiri.</i>
Triploides	<i>S. x chaucha.</i>
	<i>S. x juzepczukii.</i>
Tetraploides	<i>S. tuberosum sub. Sp. Andigena</i>
	<i>S. tuberosum sub. Sp. Tuberosum.</i>
Pentaploides:	<i>S. x curtilobum.</i>

**Fuente:** Egusquiza, 2000.

## 2.5. Variedades de papas nativas.

Las distintas variedades se pueden diferenciar por el color de la epidermis y de la pulpa, la resistencia a enfermedades, el ciclo del cultivo y los requerimientos nutritivos, entre otras características de relevancia productiva. Rasgos irrelevantes para la producción, pero que sirven para identificar cultivares, son el color de las flores, la rugosidad de la epidermis y la profundidad de los ojos (Realpe, 2010). Cada zona del país produce distintas variedades de papa (Tabla 1) que pueden ser clasificadas en dos grupos: nativas y mejoradas. Las primeras corresponden a cultivares locales que han sido sometidos a un proceso de selección empírica no solo a través de ciento, sino miles de años por parte de los agricultores y presión de la naturaleza por ejemplo el clima, plagas y enfermedades. (Pumisacho *et al.*, 2002).

El Perú es el país con mayor diversidad de papas en el mundo, al contar con 8 especies nativas domesticadas y más de 3,000 variedades, de las 5,000 que existen en Latinoamérica. También posee 91 de las 200 especies silvestres del continente, y que generalmente no son comestibles por su sabor amargo y alta toxicidad; sin embargo, son las que han dado origen a las variedades domesticadas que hoy se consumen en el planeta. (Santos, 2011).

**Tabla 2.** Nombre común de papas nativas en el Perú.

<b>Nombre común</b>	<b>Especie</b>	<b>sub especie</b>	<b>Almacenamiento</b>	<b>Rango de adaptación</b>
Puka Qala	<i>Solanum</i>			3.300 -4.200
Maqta	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm.
Puka Wakapa	<i>Solanum</i>		Mayor a 3 - 5	3.400-4.100
Qallun	<i>tuberosum</i>	Andigena	meses	msnm
	<i>Solanum</i>			3.300 -4.200
Ankapa Sillun	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm.
	<i>Solanum</i>			3.300 -4.200
Qillu Ipillu	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm.
	<i>Solanum</i>			3.300 -4.000
Markina	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm
	<i>Solanum</i>			3.300 -4.200
Challwa	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm.
	<i>Solanum</i>			3.300 -4.000
Chiqchi Wali	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm
	<i>Solanum</i>			3.300 -4.000
Casa Blanca	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm
	<i>Solanum</i>			3.500 -4.200
Qala Wawa	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm
Yuraq Suytu	<i>Solanum</i>			3.300 -4.000
Wayru	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm
	<i>Solanum</i>			3.300 -4.200
Payapa Ankun	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm.
	<i>Solanum</i>			3.300 -4.200
Yuraq Ipillu	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm.
Yana Qala	<i>Solanum</i>			3.500 -4.200
Suytu	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm
	<i>Solanum</i>			3.400 -4.000
Witqi Suytu	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm
Ojos de	<i>Solanum</i>			3.400 -4.000
Caimán	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm
	<i>Solanum</i>			3.000 -4.000
Yutupa Runtun	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm
	<i>Solanum</i>			3.300 -4.000
Azul Wayta	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm
	<i>Solanum</i>			3.800 -4.200
Yana Manwa	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm.
Kichka	<i>Solanum</i>			3.300 -4.000
Matanka	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm.
	<i>Solanum</i>			3.400 -4.100
Duraznillo	<i>tuberosum</i>	Andigena	Mayor a 5 meses	msnm

**Fuente:** (Arratea *et al.*, 2017).

## 2.6. Composición química y usos de papa fresca

Según Gould (1999), la composición y la cantidad de nutrientes almacenados dependen de la temporada de crecimiento, temperatura y la humedad, el suelo y los nutrientes en el suelo, y la composición genética del cultivar o variedad. La composición es de especial importancia y trascendencia para el procesamiento de la papa.

Gould (1999), menciona que un análisis proximal de papa Blanca, se puede encontrar que el 80% en peso de los hidratos de carbono son almidones y se componen de amilopectina (75- 95%) y amilosa (21-25%). La proteína de la papa se compone de todos los aminoácidos esenciales. Las papas son, también, una excelente fuente de vitamina C y otros nutrientes.

La amplia gama de nutrientes indica que muchas variables pueden afectar la composición, como las condiciones climáticas, suelos, época del año de cosecha, etc. Todos estos factores pueden explicar por qué los tubérculos son muy diferentes.

**Tabla 3.** Aporte nutricional de papa fresca para consumo humano.

<b>Componente</b>	<b>FAO</b>
Calorias (Kcal)	87
Agua (g)	77
Carbohidratos (g)	21.13
Proteína (g)	1.87
Fibra (g)	1.8
Lípidos (g)	0.1
Potasio (mg)	379
Fosforo (mg)	44
Vitamina C (mg)	13
Calcio (mg)	5
Niacina (mg)	1.44
Hierro (mg)	0.31
Tiamina(mg)	0.11
Riboflamina (mg)	0.02

Fuente: FAO ([fao.org/es/agricultura/produ/papa.html](http://fao.org/es/agricultura/produ/papa.html))

**Tabla 4.** Composición proximal de la papa por cada 100 g de materia húmeda.

<b>Componente</b>	<b>Papa Blanca</b>	<b>Papa Yungay</b>
Agua (g)	74.50	77.00
Proteína (g)	2.10	1.63
Grasa (g)	0.10	0.08
Carbohidratos (g)	22.3	19.83
Fibra (g)	0.60	0.57
Ceniza (g)	1.00	0.90

**Fuente:** Collazos *et al.*, (1996) y Reyes-García *et al.*, (2009).

## **2.7. Propiedades termofísicas**

### **2.7.1. Densidad**

El concepto de densidad en los líquidos es fácilmente comprensible, pero los sólidos en forma particulada, tales como guisante o polvos, tiene una densidad global, así como la densidad propia del sólido que debe considerarse, los gases y los vapores, al contrario que sólidos y líquidos, se considera que son comprensibles; algunos alimentos tales como nata montada o helados incorporan aire durante su preparación, que puede ser medido a partir del incremento del volumen. (Lewis, 2010), La calidad de los materiales alimentarios se puede evaluar midiendo sus densidades. Los datos de densidades de alimentos se necesitarán en los procesos de separación, tales como centrifugación y sedimentación, y en el transporte neumático e hidráulico de polvos y particulados. Además, se necesita medir la densidad del líquido para determinar la necesidad de potencia de bombeo, (Sahin *et al.*, 2009).

La densidad de una sustancia es igual a la masa de la sustancia dividida entre el volumen que ocupa (Lewis, 2010), en el sistema internacional de unidades se expresa en (kg/m<sup>3</sup>). (Alvarado *et al.*, 2001)

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Donde:

$\rho$ : densidad

$m$ : masa (kg)

$v$ : volumen (m<sup>3</sup>).

#### **a. Densidad del sólido**

El término densidad de los sólidos o de las partículas se refiere a la densidad de una unidad individual. Esta unidad puede o no contener poros internos. La

densidad de los sólidos se define como la masa de las partículas dividida entre el volumen de las partículas, y tendrá en cuenta la presencia de tales poros. (Lewis, 2010)

La mayoría de frutas y hortalizas contienen entre un 75% y un 95% de agua, por lo tanto, muchas densidades de alimentos deberían estar próximas al valor de la densidad del agua, es decir, 1000 siempre que no contengan demasiado aire. (Lewis, 2010) En teoría, si la composición del alimento es conocida, la densidad puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$\rho_s = \frac{1}{\frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} + \frac{m_3}{\rho_3} + \dots + \frac{m_n}{\rho_n}} \quad (2)$$

Donde:

$\rho_s$ : Densidad del alimento.

$m_1$  y  $m_n$  : Fracciones individuales.

$\rho_1$  y  $\rho_n$ : Densidades de los componentes. (Lewis, 2010)

#### **b. Densidad aparente**

Cuando se mezclan, transportan, almacenan y envasan productos granulados, por ejemplo, guisantes y harina, es importante conocer las propiedades del material en su conjunto. Cuando tres sólidos están colocados en un recipiente, el volumen total ocupado contendrá una sustancial proporción de aire. La porosidad ( $\epsilon$ ) del material envasado es aquella fracción del volumen de aire y el volumen total.

La porosidad resultará afectada por la geometría, tamaño y propiedades superficiales del producto, además, si el envase se agita para apelmazar su contenido, el volumen total y la porosidad del producto disminuirá hasta que eventualmente el sistema alcanza un volumen de equilibrio. La densidad del producto en conjunto bajo estas condiciones, se conoce generalmente como densidad aparente. La densidad aparente del producto dependerá por lo tanto de una serie de factores como son la densidad de sus componentes, la geometría, el tamaño las propiedades de la superficie y el método de medida. (Lewis, 2010)

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen global}} \quad (3)$$

**c. Densidad verdadera**

Es la densidad de una sustancia pura o de un material compuesto calculado a partir de las densidades de sus componentes considerando conservación de masa y volumen. Si se conocen las densidades y las fracciones volumétricas o másicas de los constituyentes la densidad se puede determinar a partir de, (Sahin *et al.*, 2009)

$$\rho_T = \sum_{i=0}^n X_i^v \rho_i = \frac{1}{\sum_{i=0}^n X_i^w} \quad (4)$$

Donde:

$\rho_i$ : Densidad del componente i-ésimo (kg/m<sup>3</sup>),

$X_i^v$ : Fracción volumétrica del componente i-ésimo,

$X_i^w$ : Fracción másica del componente i-ésimo,

$n$ : Número de componentes.

**d. Densidad del material (sustancia)**

Es la densidad de un material medido cuando el material ha sido roto en trozos lo suficientemente pequeños para asegurar que no quedan poros (Sahin *et al.*,2009).

**e. Densidad de partícula**

Es la densidad de una partícula que no ha sido modificada estructuralmente. Incluye el volumen de todos los poros cerrados, pero no los que están conectados externamente. Se puede calcular dividiendo el peso de la muestra por el volumen de la partícula determinado con un picnómetro de gases (Sahin *et al.*,2009).

**f. Densidad global**

Es la densidad de un material cuando está envasado o apilado a granel. La densidad global de sólidos particulados se mide permitiendo que la muestra se derrame dentro de un recipiente de dimensiones conocidas. Se debe tener especial cuidado puesto que el método de llenado y las dimensiones del recipiente pueden afectar la medición. (Sahin *et al.*,2009)

**g. Densidad y temperatura**

La densidad de los materiales alimenticios depende de la temperatura. Choi y Okos (1986), han presentado la dependencia con la temperatura de las densidades de los principales componentes del alimento (agua pura, hidratos de carbono (CHO), proteínas, grasa, ceniza y hielo).

$$\rho_{\text{agua}} = 997,18 + 0,0031439T - 0,0037574 * 10^{-3}T^2 \quad (5)$$

$$\rho_{\text{CHO}} = 1.599,1 - 0,31046T \quad (6)$$

$$\rho_{\text{proteina}} = 1.330 - 0,5184T \quad (7)$$

$$\rho_{\text{grasa}} = 925,59 - 0,41757T \quad (8)$$

$$\rho_{\text{ceniza}} = 2423,8 - 0.28063T \quad (9)$$

$$\rho_{\text{Hielo}} = 961,89 - 0,13071T \quad (10)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

T: Temperatura en (°C) que varían entre -40 y 150°C.

Algunos valores típicos de la densidad se muestran en la tabla 05.

**Tabla 5.** Densidad de sólidos para algunos componentes mayoritarios de alimentos.

Productos	Densidad a granel (kg/m <sup>3</sup> )
Arroz, cascara	320
Arroz, limpio	770
Azúcar, granulado	800
Cacahuele con cascara	480-720
Cacao, grano	1.073
Café, grano tostado	368
Café, grano verde	673
Café, posos	400
Coco desmenuzado	320-352
Colza	770
Guisante seco	800
Leche entera seca	320
Maíz, descascarillado	720
Maíz, espiga	448
Mostaza, semilla	720
Soja, grano entero	800
Trigo	770

Fuente: Peleg (1983).

**Tabla 6.** Densidades a granel de algunos productos alimentarios.

<b>Ingrediente</b>	<b>Densidad kg/m<sup>3</sup></b>
Glucosa	1.56
Sacarosa	1.59
Almidón	1.5
Celulosa	1.270 - 1.610
Proteína (globular)	1.4
Grasa	900 – 950
Sal	2.16
Ácido cítrico	1.54
Agua	1

**Fuente:** Singh *et al.*, (1998)

### 2.7.2. Calor específico

El calor específico es una parte esencial del análisis térmico de procesado de alimentos y del equipamiento usado en el calentamiento y enfriamiento de los mismos. En este tipo de materiales, esta propiedad es función de los componentes que constituyen el producto alimentario, su contenido en agua, la temperatura y la presión. El calor específico aumenta al incrementar el contenido en humedad del producto. En la mayoría de las aplicaciones al procesado de alimentos, utilizamos el calor específico a presión constante  $c_p$ , ya que la presión se mantiene generalmente constante excepto en los procesos a alta presión.

Para aquellos procesos en los que tiene lugar un cambio de estado, como congelación o descongelación, se usa un calor específico aparente. Este valor aparente incorpora el calor involucrado en el cambio de estado además del calor sensible. (Singh *et al.*,1998)

Es posible calcular mediante la siguiente expresión:

$$c_p = \frac{Q}{m(\Delta T)} \quad (11)$$

Donde:

$c_p$ : Calor específico (kJ/kg°C)

Q: Calor ganado o perdido (kJ)

m: Masa (Kg)

$\Delta T$ : Cambio de temperatura del material (°C).

**a. Predicción del calor específico**

Para estimar el calor específico de productos alimentarios, (Heldman,1990) propuso la siguiente ecuación utilizando las fracciones másicas de sus constituyentes (agua, proteína, grasa, carbohidrato y ceniza)

$$C_p = 4,180X_{\text{agua}}^m + 1.547X_{\text{proteína}}^m + 1,672X_{\text{grasa}}^m + 1,42X_{\text{CHO}}^m + 0.836X_{\text{Ceniza}}^m \quad (12)$$

Choi y Okos (1986) surgieron la siguiente ecuación para productos que contienen n componentes:

$$C_p = \sum_{i=1}^n X_i^m C_{P_i} \quad (13)$$

Donde:

$X_i^m$ : Fracción másica del componente i

$C_{P_i}$ : Calor específico del componente i (J/kg K)

**Tabla 7.** Presentamos una serie de fórmulas para determinar el calor específico de varios tipos de materiales en función de la temperatura.

Componente	Ecuación	Rango
Agua	$C_a=4.01817-5.3062 \times 10^{-3}T+9.9516 \times 10^{-4}T^2$	(Para -40 a 0°C)
Agua	$C_a=4.1762-9.0864 \times 10^{-5}T+5.4731 \times 10^{-6}T^2$	(Para 0 a 150°C)
Proteína	$C_p=2.0082+1.2089 \times 10^{-3}T-1.3129 \times 10^{-6}T^2$	(Para -40 a 150°C)
Grasa	$C_{gr}=1.9842+1.4733 \times 10^{-3}T-4.8008 \times 10^{-6}T^2$	(Para -40 a 150°C)
Carbohidratos	$C_{CHO}=1.5488+5.9625 \times 10^{-3}T-5.9399 \times 10^{-6}T^2$	(Para -40 a 150°C)
Fibra	$C_f=1.8459+1.8306 \times 10^{-3}T-4.6509 \times 10^{-6}T^2$	(Para -40 a 150°C)
Ceniza	$C_{ce}=1.0926+1.8896 \times 10^{-3}T-3.6817 \times 10^{-6}T^2$	(Para -40 a 150°C)
Hielo	$C_h=2.0623+6.0769 \times 10^{-3}T$	-----

Fuente: Choi y Okos, (1986)

**b. Factores que afectan al calor específico**

Los alimentos son predominantemente líquidos y sólidos; según la definición del calor específico es dependiente de la temperatura; sin embargo, para cálculos de ingeniería, estas variaciones son mínimas en especial en los estados físicos indicados, y se utilizan valor promedio de calor específico para el intervalo de temperaturas de interés (Alvarado, 2001). Sin embargo, debido a que los calores específicos de los sólidos y de los líquidos, no dependen mucho de la presión, excepto para presiones extremadamente elevados y debido a que los cambios de

presión en los problemas de transmisión de calor de los materiales agrícolas son usualmente pequeños, se considera el calor específico a presión constante (Mohsenin, 1980).

El calor específico de los productos alimentarios depende mucho de su composición. Conociendo el calor específico de cada componente de una mezcla usualmente es suficiente para predecir el calor específico de la mezcla. (Sweat, 1995).

### 2.7.3. Conductividad térmica

La conductividad térmica de un material mide la capacidad de conducir calor. En el Sistema Internacional (SI) tiene unidades de W/m K. (Alvarado, 2001; Sahin *et al.*, 2009).

En los sólidos porosos tales como los alimentos, la conductividad térmica depende mayoritariamente de la composición, aunque también de muchos factores que afectan el paso del flujo de calor a través del material, tal como de la fracción de huecos, de la forma del tamaño y la disposición de los espacios vacíos, del fluido contenido en los poros y de la homogeneidad (Sweat, 1995). La conductividad térmica de los alimentos que tienen estructuras fibrosas tales como la carne cambia con respecto a la dirección. La conductividad térmica aumenta con el contenido de humedad. Las conductividades térmicas de los materiales alimentarios varían entre el valor de la conductividad del agua ( $K_{\text{agua}}=0.614 \frac{\text{W}}{\text{m}}^{\circ}\text{C}$  a  $27^{\circ}\text{C}$ ) y el valor para el aire ( $K_{\text{aire}}=0.026 \frac{\text{W}}{\text{m}}^{\circ}\text{C}$  a  $27^{\circ}\text{C}$ ), que son los componentes conductivos mayor y menor en los alimentos, respectivamente. (Alvarado, 2001). La conductividad térmica de un material mide la capacidad de conducir calor. Matemáticamente es la constante de proporcionalidad de la Ley de Fourier para la conducción de calor en estado estacionario.

$$q = -kA \frac{dT}{dz} \quad (14)$$

Donde:

q: Cantidad de flujo de calor (W/m°C)

A: Área por unidad de tiempo (m<sup>2</sup>)

$\frac{dT}{dz}$ : Gradiente de temperatura a lo largo de la longitud (Z)

K: Conductividad térmica

En el S.I. sus unidades son W/m\*°K. (Serpil y Servet, 2009).

**a. Predicción de la conductividad térmica**

La conductividad térmica efectiva de un material alimentario elaborado con “n” componentes se puede calcular utilizando las fracciones volumétricas ( $X_i^V$ ) y las conductividades térmicas ( $K_i$ ) de cada componente (i) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$k = \sum_{i=0}^n k_i X_i^V \quad (15)$$

Donde:

$$X_i^V = \frac{X_i^W / \rho_i}{\sum_{i=0}^n (X_i^W / \rho_i)} \quad (16)$$

$X_i^V$ : Fracción volumétrica del componente i.

$X_i^W$ : Fracción másica del componente i.

$\rho_i$ : Densidad del componente i (kg/m<sup>3</sup>)

Las conductividades térmicas de agua pura, hidratos de carbono (CHO), proteínas, grasas, cenizas y hielo a diferentes temperaturas se puede expresar empíricamente de la siguiente manera: Donde las conductividades térmicas (k) se dan en W/m°C; la temperatura (T) en °C y en estas ecuaciones varía entre 0 y 90°C.

**Tabla 8.** Conductividad térmica (W/m °K) de los componentes de los alimentos como función de la temperatura en °C.

Componentes	Ecuación
Agua	$K_a=0.57109 + 1.7625 \times 10^{-3}T - 6.7036 \times 10^{-6}T^2$
Proteína	$K_p=0.1788 + 1.1958 \times 10^{-3}T - 2.7178 \times 10^{-6}T^2$
Grasa	$K_{gr}=0.18071 - 2.7604 \times 10^{-3}T - 1.7749 \times 10^{-7}T^2$
Carbohidratos	$K_{CHO}=0.20141 + 1.3874 \times 10^{-3}T - 4.3312 \times 10^{-6}T^2$
Ceniza	$K_{ce}=0.32961 + 1.4011 \times 10^{-3}T - 2.9069 \times 10^{-6}T^2$
Hielo	$K_h=2.2196 - 6.2489 \times 10^{-3}T - 1.0154 \times 10^{-4}T^2$

Fuente: Choi y Oikos, (1986)

**Tabla 9.** Conductividad térmica de algunos alimentos.

Alimento	Conductividad térmica k (W/m K)
Pepino	0.600
Remolacha	0.600
Zanahoria	0.605
Cebolla	0.580
Nabo	0.563
Aguacate	0.430
Papa	0.554

Fuente: Sweat, (1995)

**b. Valores representativos de conductividad térmica de componentes de los alimentos.**

Los valores se encuentran en la tabla 10.

**Tabla 10.** Valores representativos de conductividad térmica de los componentes de los alimentos.

Componente	K (W/m K) a 25°C
Agua	0.62
Proteína	0.21
Grasa	0.23
Ceniza	0.36
Carbohidratos	0.17
Aire	0.025

Fuente: (Sahin *et al.*, 2011)

#### 2.7.4. Difusividad térmica

La difusividad térmica ( $\alpha$ ) es una propiedad física asociada con el caudal de calor en estado no estacionario. Es una propiedad derivada. En el sistema internacional (SI) la unidad de la difusividad es de  $m^2/s$ . Mide la capacidad de un material para conducir energía térmica relativa a su capacidad de almacenar energía. Los materiales con una difusividad térmica grande responden rápidamente a los cambios en su medioambiente térmico mientras que los materiales de difusividad térmica baja responderán más lentamente, necesitando más tiempo para alcanzar una nueva condición de equilibrio. Es decir, la razón de tiempos de calentamiento de dos materiales del mismo espesor será inversamente proporcional a sus respectivas difusividades:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \quad (17)$$

Luego, la difusividad térmica se puede determinar si el tiempo de calentamiento a través de un espesor dado de un material se compara con el tiempo de calentamiento de un material de difusividad térmica conocida y del mismo espesor, (Sahin y Sumnu 2009).

La difusividad térmica es la relación entre la conductividad térmica y el calor específico del producto multiplicado por su densidad. (Alvarado y aguilerá 2001; Lewis, 2010)

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (18)$$

Donde:

$\alpha$ : Difusividad térmica ( $m^2/s$ )

k: Conductividad térmica ( $W/m^{\circ}C$ )

$\rho$ : Densidad ( $kg/m^3$ )

$c_p$ : Calor específico ( $kJ/kg^{\circ}C$ ).

Para un volumen dado de material, el calor necesario para aumentar la temperatura depende de su capacidad de calor o calor específico (caloría por gramo por grado Kelvin) y de la densidad (gramo por centímetro cúbico). Cuando el producto de la capacidad de calor y la densidad es alto, la difusividad térmica será baja, aunque la conductividad térmica sea relativamente alta. Por consiguiente, tanto la difusividad térmica como la conductividad térmica son parámetros importantes para predecir la transferencia térmica a través de un material (Anusavice, 2004).

Cuando la transferencia de calor ocurre por conducción más que por convección, la difusividad térmica resulta importante. La difusividad térmica está relacionada con la conductividad térmica, densidad y calor específico del producto y determinan la tasa de propagación de calor a través del alimento (Mohsenin, 1980).

Además, según Dutta (1998), la difusividad térmica aumenta con el incremento del contenido de agua y disminuye con el incremento de temperatura.

Según Peleg (1993) los valores de la difusividad térmica para alimentos se encuentran en el rango de  $1$  a  $2 \times 10^{-7}$   $m^2/s$  y es directamente proporcional a la temperatura. Según su importancia y necesidad, plantean los valores de difusividad térmica en algunos alimentos, los cuales pueden orientar para su uso y se detalla en la tabla 11.

**Tabla 11.** Difusividad térmica de frutas y otros alimentos.

Producto	Contenido de agua %	Temperatura (°C)	Difusividad térmica ( $m^2/s$ )
Manzana	85	0 – 30	$1.37 \times 10^{-7}$
Pasta de manzana	37	65	$1.12 \times 10^{-7}$
	80	5	$1.22 \times 10^{-7}$
	80	65	$1.40 \times 10^{-7}$
Plátano	76	5	$1.18 \times 10^{-7}$
	76	65	$1.42 \times 10^{-7}$
Uva	72	S.I.	$1.09 \times 10^{-7}$
	88	S.I.	$1.37 \times 10^{-7}$
Limón	S.I.	40	$1.37 \times 10^{-7}$
Durazno	S.I.	27	$1.37 \times 10^{-7}$
Puré de papas	78	65	$1.45 \times 10^{-7}$
Frambuesa	92	5	$1.27 \times 10^{-7}$
Remolacha	S.I.	60	$1.26 \times 10^{-7}$
Pasta de tomate	S.I.	26	$1.48 \times 10^{-7}$
Agua	100	30	$1.48 \times 10^{-7}$

Fuente: (Singh *et al.*, 1998.)

### 2.7.5. Conducción de calor en estado no estable

En general la temperatura de un cuerpo varía con el tiempo, así como con la posición. En coordenadas rectangulares, esta variación se expresa como  $T(x, y, z, t)$ , en donde  $(x, y, z)$  indica la variación en las direcciones  $x$ ,  $y$ , y  $z$ , respectivamente, y  $t$  indica variación con el tiempo. La transferencia de calor transitorio conocido también como régimen no estable, es aquel donde tanto la velocidad de transferencia del calor y la temperatura en cualquier punto del sistema cambia con el tiempo. Este tipo de transferencia de calor se encuentran comúnmente en el diseño de ingeniería los cuales generalmente están colocados dentro de dos categorías: los procesos que alcanzan finalmente condiciones de estado estable y los procesos que operan durante un tiempo relativamente corto en un medio ambiente cuya temperatura cambia constantemente. (Cengel, 2007).

En la industria alimentaria este tipo de transferencia de calor es importante ya que nos permite estimar o predecir la velocidad con la cual cambia la temperatura de los alimentos, con respecto al tiempo durante un calentamiento o enfriamiento como por ejemplo en la esterilización de conservas o durante el almacenamiento de productos alimenticios. (Cengel, 2007). En todos estos ejemplos la temperatura de la superficie tiende a cambiar más rápidamente que la temperatura del centro del objeto. Por tanto, no tiene sentido hablar de la temperatura del objeto, se puede hablar de la temperatura de una posición específica dentro del cuerpo en un momento determinado. Los factores que determinan la velocidad de cambio de la temperatura son:

- La temperatura del medio de calentamiento
- La conductividad térmica del alimento
- El calor específico del alimento.

La solución de los problemas de conducción en estado transitorio es, en general, más difícil que la de los problemas de conducción en estado estable. Se busca la solución estableciendo la ecuación diferencial que define el problema y las condiciones de frontera. Además, deberá conocerse la distribución inicial de temperatura del medio conductor. Si se encuentra la solución de la ecuación diferencial parcial que satisface las condiciones iniciales y de frontera, se establecerá la variación de la distribución de temperaturas con respecto al tiempo y podrá evaluarse el flujo de energía en un tiempo específico. (Cengel, 2007). Al calentar o enfriar un medio conductor, la rapidez de transferencia de calor depende, tanto de la resistencia interna como de la superficial; los casos límite se representan por medio de una resistencia interna despreciable o por medio de una resistencia superficial despreciable. Se estudiarán ambos casos, así como el más general, en el cual ambas resistencias son importantes.

## **CAPITULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. Lugar de ejecución**

La investigación se desarrolló en los laboratorios de física y procesos agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA) de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA), ubicada en el barrio de Santa Rosa del distrito de Talavera, Av. 28 de Julio N° 1103, provincia de Andahuaylas, Región Apurímac.

### **3.2. Materia prima**

Se empleó papas nativas, de las variedades de Duraznillo, Huachuco, Luqui Morada, Murwa y Qayma Marcela las cuales fueron recolectadas entre los meses de abril y junio del 2017, de la asociación Sumaq papa de Motoy, distrito de Ancco Huallo, ubicado a Latitud Sur 13° 31' 51" y Longitud Oeste 73° 40' 39". La cuota de altitud varía entre: altitud mínima de 3,209 a 3,250 m.s.n.m. de la provincia de Chincheros, Región de Apurímac.

#### **3.2.1. Universo y/o población**

Están representadas de cinco variedades de papas nativa cultivadas (*Solanum tuberosum*) de la asociación Sumaq papa de Motoy del distrito de Ancco Huallo, provincia de Chincheros, Región Apurímac.

#### **3.2.2. Muestra**

Se realizó a juicio del investigador de las cinco variedades de papas nativa (*Solanum tuberosum*), utilizándose 15 kg por variedad.

### 3.3. Materiales, instrumentos y equipos

#### 3.3.1. Materiales

Tabla 12. Lista de materiales a emplear en la investigación.

Cantidad	Descripción	Marca
3	Recipientes de plástico de 2 litros	El rey
2	Cuchillo, con mango de madera.	Facusa
5	Tamices	s/m
2	Varilla de vidrio	Fortuna
2	Espátula de acero inoxidable mango de madera	s/m
2	Pizetas	s/m
5	Probetas de 100ml	Kyntel
4	Vasos precipitados de 500ml	Fortuna
1	Cubeta de hielo	s/m
1	Rayadora	s/m
5	Pipetas de 5 ml	Fortuna
2	Pro pipetas	D&N
5	Matraz Erlenmeyer de 100ml	Giardino
5	Materiales aislantes (corcho, teflón, cinta aisladora)	s/m

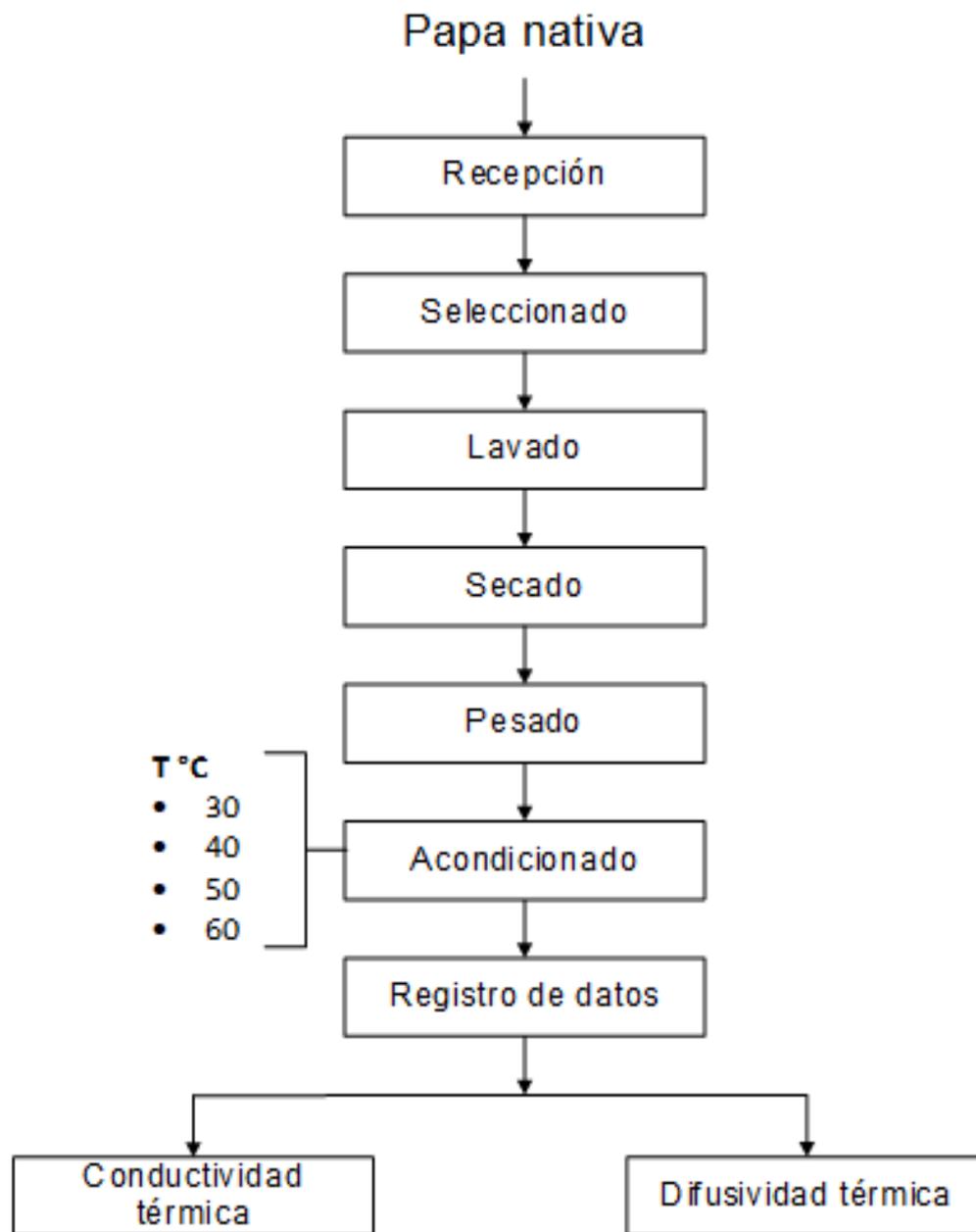
#### 3.3.2. Instrumentos y equipos

Tabla 13. Lista de instrumentos y equipos empleados en la investigación.

Cantidad	Descripción	Marca
2	Cilindros de cobre de: Ø exterior de 5.04 cm, Ø interior de 5.01 cm, Longitud de 20.5 cm, espesor es de 2 milímetros (mm)	s/m
1	Equipo para determinar la conductividad térmica (Arduino)	s/m
2	Equipo para determinar la difusividad térmica (Arduino)	s/m
1	Vernier	Schubert
1	Balanza digital de precisión Cap. 100g. Sensibilidad 0.01g	ABS 200-4
1	Balanza electrónica digital Cap. máxima de 30 Kg y mínima de 200 g.	E-ACCUPA
1	Mufla	Memmert
1	Extractor Kjeldahl	Duram
1	Extractor shoxlet	Duram
1	Termocuplas de (-60 a 200 °C), modelo 307P	CIE

### 3.4. Metodología

#### 3.4.1. Diagrama de bloques del proceso.



**Figura 1.** Diagrama de bloques para la determinación de las propiedades termofísicas (conductividad y difusividad térmica) de cinco variedades papas nativas.

- **Recepción:** Se tomaron muestras de 15 kg de papas nativas de cada variedad con tamaños uniformes para cada análisis.
- **Selección:** Se seleccionó las papas nativas con tamaños uniformes en óptimas condiciones y se desechó las papas que presentaron golpes, podredumbres.
- **Lavado:** Las papas son inmersos en agua potable para eliminar las materias extrañas que pudieron estar adheridas a la superficie de la papa.
- **Secado:** Se realizó a temperatura ambiente.
- **Rallado:** La papa se rayó con la ayuda del rayador domestica para obtener tamaños homogéneos y facilitar al llenado del cilindro.
- **Pesado:** Las papas una vez rayadas son pesados, para conocer la cantidad del producto introducido al cilindro.
- **Acondicionado:** Se adecuó a temperaturas de 30, 40, 50, 60 °C con el objetivo de obtener los datos.
- **Registro de datos:** Es el proceso donde se obtiene los datos para determinar la conductividad y difusividad térmica.

### 3.4.2. Análisis proximal de las materias primas

#### a. Humedad.

Se determinó la humedad de la muestra mediante el método gravimétrico, el cual consiste en almacenar las muestras en estufa a presión atmosférica a 105 °C por 3 horas hasta obtener un peso constante (Método AOAC – 950.46). 1994

#### b. Proteína.

Se determinó mediante el método semi-micro Kjeldhal, utilizando el factor  $N \times 6.25$  para llevar el nitrógeno a proteína total (Método AOAC – 928.08). 1994

#### c. Grasa.

Se determinó mediante el método Soxhlet, empleando diversos solventes orgánicos (hexano) (AOAC – 960.39). 1994

#### d. Fibra Bruta.

Se determinó mediante digestión ácida y alcalina de las muestras (AOAC- 962.09). 1994

#### e. Cenizas.

Se determinó por incineración de la muestra en mufla a 600°C por 6 horas (AOAC – 923.03). 1994

#### f. Carbohidratos.

Se determinó por diferencia entre los componentes encontrados. (AOAC – 923.03). 1994.

### 3.4.3. Determinación de las propiedades termofísicas

#### 3.4.3.1. Determinación de conductividad térmica

Mediante la siguiente ecuación:

$$K = \sum_{i=1}^n X_i^w K_i \quad (19)$$

Donde:

$X_i^w$ : Fracción másica del componente i-ésimo.

$K_i$ : Conductividad térmica del componente i-ésimo.

$n$ : Número de componentes. (Serpil *et al.*, 2009)

$K$ : Conductividad térmica (W/m\*°C).

Modelos matemáticos de Choi y Oikos (1986)

$$K_{\text{agua}} = 0.57109 + 1.7625 \times 10^{-3}T - 6.7036 \times 10^{-6}T^2 \quad (20)$$

$$K_{\text{CHO}} = 0.20141 + 1.3874 \times 10^{-3}T - 6.3312 \times 10^{-6}T^2 \quad (21)$$

$$K_{\text{proteína}} = 0.1788 + 1.1958 \times 10^{-3}T - 2.7178 \times 10^{-6}T^2 \quad (22)$$

$$K_{\text{grasa}} = 0.1807 - 2.7604 \times 10^{-3}T - 1.7749 \times 10^{-7}T^2 \quad (23)$$

$$K_{\text{cenizas}} = 0.32961 + 1.4011 \times 10^{-3}T - 2.9069 \times 10^{-6}T^2 \quad (24)$$

$$K_{\text{hielo}} = 2.2196 - 6.2489 \times 10^{-3}T + 1.0154 \times 10^{-4}T^2 \quad (25)$$

Donde:

$K$ : Conductividad térmica (W/m\*°C).

$T$ : Temperatura (°C): temperatura ambiente. (Serpil y Servet, 2009).

#### 3.4.3.2. Determinación de difusividad térmica

Esta propiedad también es definida como la relación entre tres propiedades diferentes, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (26)$$

Donde:

$\alpha$ : Difusividad térmica (m<sup>2</sup>/s)

$k$ : Conductividad térmica (W/m\*°C)

$\rho$ : Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

$c_p$ : Calor específico (J/Kg\*K).

### 3.5. Diseño experimental

#### 3.5.1. Matriz para diseño factorial 4x5

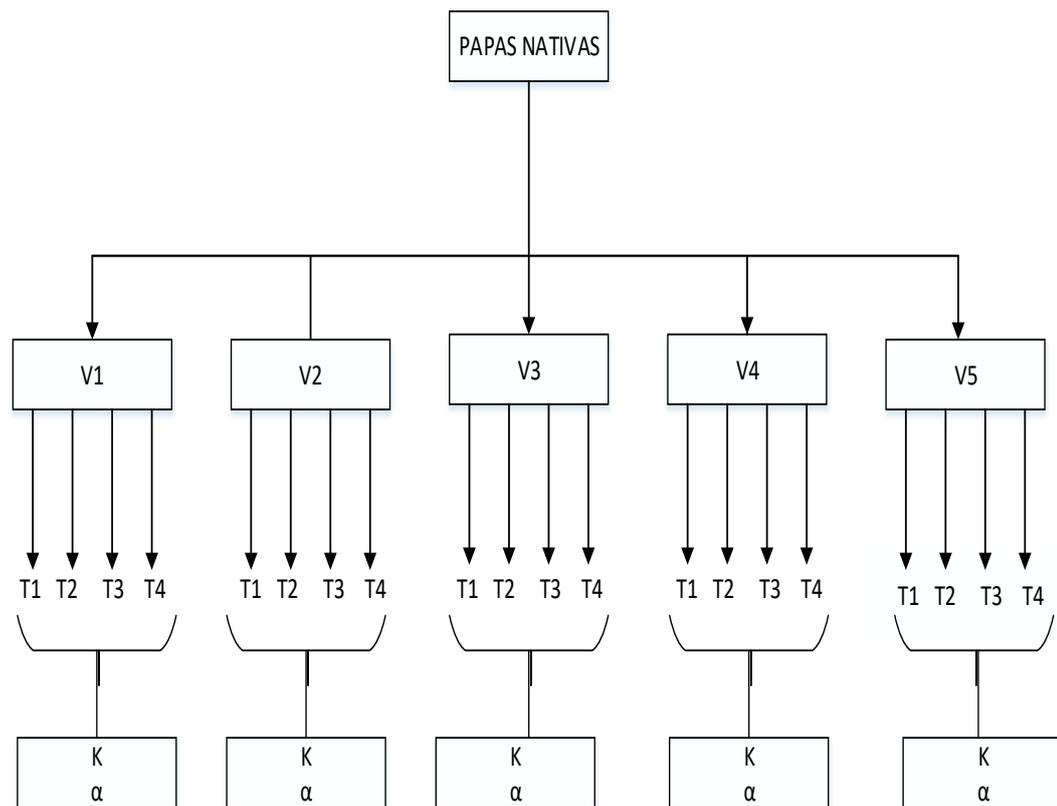
El estudio fue conducido bajo el arreglo factorial 4x5 (4 temperaturas; 5 variedades de papas nativas y 3 repeticiones), obteniéndose veinte tratamientos con sesenta observaciones, los datos fueron sometidos a un análisis de varianza al 95% de nivel de confianza, para determinar las posibles diferencias, los datos de conductividad (k) y difusividad ( $\alpha$ ), proteína, grasa, ceniza, carbohidratos, fibra y agua fueron sometidos a un análisis de comparaciones múltiples de DUNCAN. En la Tabla 14 se presenta el arreglo experimental para la recolección de datos.

**Tabla 14.** Arreglo experimental para la recolección de datos experimentales.

Factor de estudio		Variable respuesta					
		Conductividad (W/m.K)			Difusividad (m <sup>2</sup> /s)		
Temperatura °C	Variedad	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
30	Qayma Marcela						
	Duraznillo						
	Huachuco						
	Luqui Morada						
	Murwa						
40	Qayma Marcela						
	Duraznillo						
	Huachuco						
	Luqui Morada						
	Murwa						
50	Qayma Marcela						
	Duraznillo						
	Huachuco						
	Luqui Morada						
	Murwa						
60	Qayma Marcela						
	Duraznillo						
	Huachuco						
	Luqui Morada						
	Murwa						

**Fuente:** Elaboración propia.

Se presenta el siguiente diseño experimental en la Figura 2.



**Figura 2.** Diseño experimental.

Donde:

V1: Variedad uno (Qayma marcela)

V2: Variedad dos (Duraznillo)

V3: Variedad tres (Huachuco)

V4: Variedad cuatro (Luqui Morada)

V5: Variedad cinco (Murwa)

T1: Temperatura uno (30°C)

T2: Temperatura dos (40°C)

T3: Temperaturas tres (50°C)

T4: Temperatura cuatro (60°C)

K: Conductividad térmica

α: Difusividad térmica

R: son replicas en cada tratamiento

### 3.5.2. Análisis estadístico

El análisis matemático para el arreglo factorial 4x5x3 es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$
$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Difusividad, conductividad, de la  $i$  observación bajo la combinación del  $j$  valor del factor temperatura y el  $k$  valor del factor variedad.

$\mu$  = Media de común a todos los datos del experimento.

$\alpha_j$  = Efecto o impacto de  $j$  nivel de la variable de tratamiento A.

$\beta_k$  = Efecto del  $k$  valor de la variable de tratamiento B.

$(\alpha\beta)_{jk}$  = Efecto de la interacción entre el  $i$  valor de A y el  $k$  valor de B.

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental o efecto aleatorio de muestreo.

#### 3.5.2.1. Hipótesis

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_a = 0$$

$$H_A : \alpha_1 \neq 0 \text{ para alguna } i$$

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_A : \beta_1 \neq 0 \text{ para alguna } i$$

$$H_0 : (\alpha\beta)_{ij} = 0 \text{ para todo } ij$$

$$H_A : (\alpha\beta)_{ij} \neq 0 \text{ para alguna } ij$$

Estas hipótesis se prueban mediante las técnicas de análisis de varianza que para un diseño factorial A x B con n réplicas resulta de descomponer la variación total como:

$$SC_T = SC_A + SC_B + SC_{AB} + SC_E$$

Donde los respectivos grados de libertad de cada una de ellas son:

$$nab - 1 = (a - 1) + (b - 1) + (a - 1)(b - 1) + ab(n - 1)$$

El factor  $(n - 1)$  en los grados de libertad de la suma de los cuadrados de error ( $SC_E$ ) señala que se necesitan al menos dos réplicas del experimento para calcular este componente, y por ende, para construir una tabla de ANOVA. Las sumas de los cuadrados divididas entre sus correspondientes grados de libertad se llaman cuadrados

medios (CM). Al dividir estos entre el cuadrado medio del error ( $CM_E$ ) se obtienen estadísticos de prueba con distribución F.

Si el valor-p es menor al nivel de significancia  $\alpha$  prefijado, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el correspondiente efecto está activo o incluye en la variable de respuesta (Gutiérrez, 2008).

Los datos del arreglo factorial 4x5 fueron sometidos a análisis de varianzas, cuyas fuentes de variación, sumas de cuadro, grados de libertad cuadrado medio de error se presentan en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Anova para el diseño factorial 4x5.

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F<sub>0</sub></b>	<b>valor-p</b>
Efecto A	$SC_A$	$a - 1$	$CM_A$	$CM_A/CM_E$	$P(F > F_0^A)$
Efecto B	$SC_B$	$b - 1$	$CM_B$	$CM_B/CM_E$	$P(F > F_0^B)$
Efecto A x B	$SC_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$CM_{(AB)}$	$CM_{(AB)}/CM_E$	$P(F > F_0^{AB})$
Error	$SC_E$	$Ab (n - 1)$	$CM_E$		
TOTAL	$SC_T$	$abn - 1$			

## CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Análisis químico proximal de la papa nativa.

Los resultados del análisis químico proximal de las papas nativas de las variedades Luqui Morada, Duraznillo, Murwa, Huachuco, Qayma Marcela se detallan en la tabla 16.

**Tabla 16.** Análisis químico proximal de 5 variedades de papa nativa en estudio.

<b>Muestra</b>	<b>% Humedad</b>	<b>% Ceniza</b>	<b>% Proteína</b>	<b>% Grasa</b>	<b>% Fibra</b>	<b>% CHO</b>
Luqui morada	79.69	0.8	1.58	0.91	1.82	15.2
Duraznillo	72.92	0.84	2.29	0.77	1.91	21.27
Murwa	72.46	0.83	2.85	0.81	1.88	21.17
Huachuco	70.42	0.95	1.65	0.94	2.08	23.96
Qayma marcela	73.12	0.83	1.79	0.91	1.85	21.5

Se determinó el promedio de la humedad, ceniza, proteína, grasa, fibra y carbohidratos y están dentro de los reportes dados por Ochoa (2001). Fundamentalmente en los dos componentes mayores (humedad y carbohidratos), la importancia del conocimiento del análisis proximal según la variedad es la base para el cálculo de la propiedad termofísicas de conductividad térmica. También es necesario determinar la densidad, calor específico y difusividad térmica. (Pumisacho *et al.*,2002).

### 4.2. Densidad y calor específico en función a la humedad de la papa.

En la Tabla 17 se muestran los resultados de la densidad y calor específico de las cinco variedades de papas nativas a diferentes temperaturas estudiadas.

**Tabla 17.** Densidad y calor específico según la temperatura y variedad de papa nativa.

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Variedad</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Calor específico (kJ/kg. K)</b>
30	Qayma Marcela	1135.911	3.692
	Duraznillo	1136.423	3.691
	Huachuco	1148.660	3.626
	Luqui Morada	1100.410	3.878
	Murwa	1137.611	3.679
40	Qayma Marcela	1133.120	3.759
	Duraznillo	1133.624	3.758
	Huachuco	1145.861	3.692
	Luqui Morada	1097.658	3.951
	Murwa	1134.798	3.747
50	Qayma Marcela	1129.780	3.826
	Duraznillo	1130.276	3.825
	Huachuco	1142.530	3.757
	Luqui Morada	1094.308	4.022
	Murwa	1131.439	3.813
60	Qayma Marcela	1125.891	3.891
	Duraznillo	1126.379	3.89
	Huachuco	1138.667	3.821
	Luqui Morada	1090.360	4.092
	Murwa	1127.536	3.878

En la tabla 17 se muestra la densidad promedio de las cinco variedades con 73.2 % de humedad para papas nativas variedad Qayma marcela 1131.175 kg/m<sup>3</sup>, Duraznillo 1131.675 kg/m<sup>3</sup>, Huachuco 1143.929 kg/m<sup>3</sup>, Luqui Morada 1095.684 kg/m<sup>3</sup> y Murwa 1132.846 kg/m<sup>3</sup>, calculado por la ecuación empírica de Choi y Okos (1986). Los valores determinados de la densidad están dentro de los rangos determinados por: (Alvarado *et al.*,2001), quienes reportaron 1080 kg/m<sup>3</sup> a 78,5 % de humedad.

Los resultados de la determinación del calor específico a presión constante presentados en la tabla 17. Son basadas en su composición químico proximal para el cálculo se empleó por la ecuación empírica de Choi y Okos (1986). Haciéndose notar que los valores determinados son también variables, lo cual es atribuido a la cantidad de agua presente en cada variedad de papa nativa estudiada.

### 4.3. Conductividad térmica.

Los resultados para las 5 variedades de papas nativas se presentan en la Tabla 18, y para su determinación se utilizó la ecuación empírica propuesta por Choi y Okos (1986).

**Tabla 18.** Conductividad térmica en cinco variedades de papas nativas.

Temperatura (°C)	Variedad	Conductividad (W/m °C)
30	Qayma Marcela	0.5145
	Duraznillo	0.5143
	Huachuco	0.5059
	Luqui Morada	0.5398
	Murwa	0.5123
40	Qayma Marcela	0.5265
	Duraznillo	0.5263
	Huachuco	0.5178
	Luqui Morada	0.5520
	Murwa	0.5243
50	Qayma Marcela	0.5373
	Duraznillo	0.5372
	Huachuco	0.5286
	Luqui Morada	0.5629
	Murwa	0.5351
60	Qayma Marcela	0.5469
	Duraznillo	0.5469
	Huachuco	0.5382
	Luqui Morada	0.5726
	Murwa	0.5447

En la tabla 19 se presenta los resultados del análisis de varianza de la conductividad térmica. Observándose en ella, que independientemente tanto la temperatura y variedad influenciaron significativamente al 95% de nivel de confianza en el comportamiento de la conductividad térmica de las papas nativas Qayma Marcela, Duraznillo, Huachuco, Luqui Morada y Murwa, por lo que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Asimismo, se ha determinado a partir del análisis de varianza que estos dos factores no presentaron influencia alguna de forma asociada en

los valores de conductividad térmica, debido a que estos valores son similares entre si frente a los valores asociados de temperatura\*variedad al 95% de nivel de confianza.

**Tabla 19.** Conductividad térmica en cinco variedades de papas nativas.

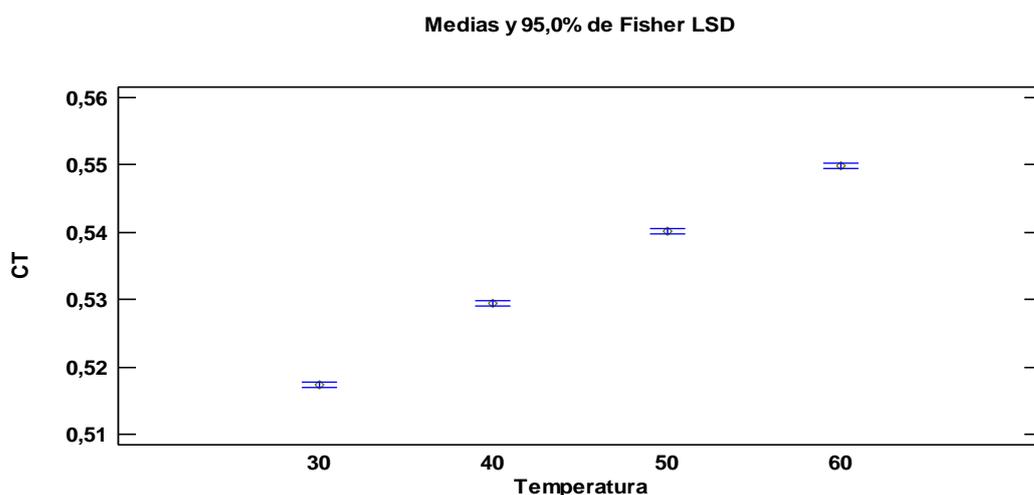
<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>EFFECTOS</b>					
<b>PRINCIPALES</b>					
A:Temperatura	0,00881828	3	0,00293943	2547,94	0,0000
B:Variedad	0,00827706	4	0,00206926	1793,67	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	2,21475E-7	12	1,84562E-8	0,02	1,0000
RESIDUOS	0,0000461459	40	0,00000115365		
TOTAL	0,0171417	59			
<b>(CORREGIDO)</b>					

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

En la tabla 20 presentamos las pruebas de comparación de medias LDS para la conductividad térmica a diferentes temperaturas al 95% de nivel de confianza, determinándose que a 60°C la conductividad térmica fue mayor en comparación a los valores a 50 °C, 40 °C, y 30 °C respectivamente. Observándose lo indicado en la Figura 3, por tanto, los valores que toma la conductividad térmica son directamente proporcionales a los incrementos de temperatura en los límites de 30°C a 60°C estudiados.

**Tabla 20.** Prueba LSD de conductividad térmica según temperatura.

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Casos</b>	<b>Media LS</b>	<b>Sigma LS</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
30	15	0,517347	0,000277326	d
40	15	0,529372	0,000277326	c
50	15	0,540202	0,000277326	b
60	15	0,549837	0,000277326	a

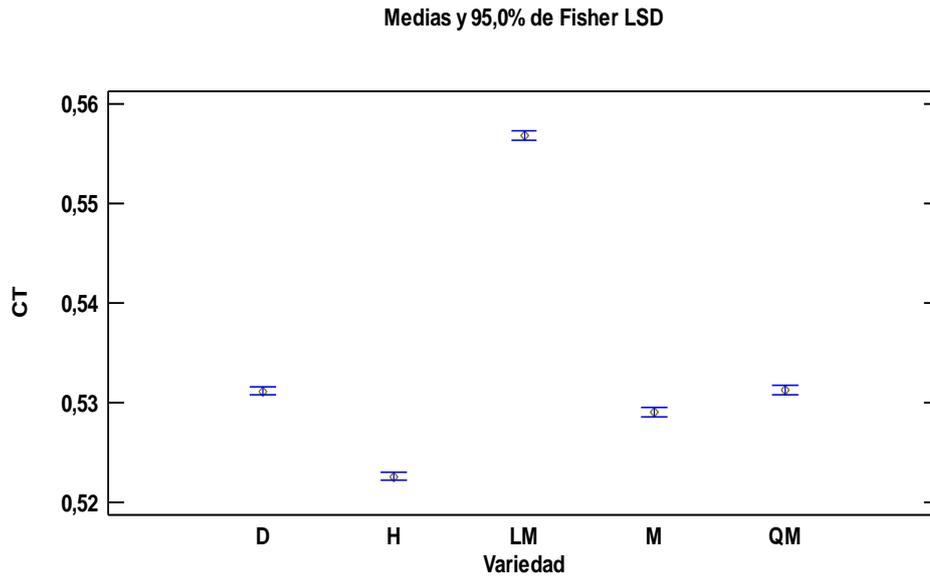


**Figura 3.** Conductividad térmica según temperatura.

En la Tabla 21 observamos que según la variedad de papa nativa la conductividad térmica presenta diferencias notorias, determinándose que Luqui morada presentó 0,557 W/m K de conductividad térmica, seguido de las variedades Qayma marcela 0,531 y Duraznillo 0,531 W/m K, las que presentaron igual conductividad térmica al 95 % de nivel de confianza, en tanto las variedades Murwa y Huachuco presentaron valores menores de conductividad térmica 0,536 y 0,523 W/m K respectivamente. Lo cual se puede observar en la Figura 4, dentro de las condiciones y variedades estudiadas.

**Tabla 21.** Prueba LSD de conductividad térmica según variedad.

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
H	12	0,523	0,00031006	d
M	12	0,529	0,00031006	c
D	12	0,531	0,00031006	b
QM	12	0,531	0,00031006	b
LM	12	0,557	0,00031006	a



**Figura 4.** Conductividad térmica según la variedad de papa nativa.

Los valores encontrados de conductividad térmica son superiores a los determinados por López-Ramos *et al.* (1993), quienes reportaron 0,47 W/m K para papa con un contenido de humedad en el rango 60 % – 70 % mientras que los valores determinados son inferiores a los determinados por (Alvarado, 2001) quien encontró el valor 0,42 W/m K en papas a una Humedad de 68%.

Las discrepancias de autores anteriores se deben a que son varios los factores que afectan la conductividad térmica, como la temperatura, estructura celular y presión. Sin embargo, el factor que más influye es el contenido de humedad. (Mafart, 1994).

Asimismo, valores determinados por Rao *et al.*, (1975) y Rice *et al.*, (1988), están dentro del rango quien ha reportado los valores de conductividad térmica de cinco variedades de papas, de 76.3% – 83.6% de humedad, los cuales oscilaron entre 0.533 a 0.571 W/m K. En tanto (Murakami, 1997) menciona que escaldar papas durante 10 minutos tuvo efectos insignificantes sobre la conductividad térmica, permaneciendo constante en un valor de 0.577 W/m K. Califano *et al.*, (1991), reportaron valores de conductividad térmica en papas entre 0.545 – 0.957 W/m K entre las temperaturas de 50 y 100°C. Sin embargo, la investigación realizada por Wang *et al.*, (1995), demuestran que la conductividad térmica no es afectada a temperaturas superiores de 70°C. Mientras que Gratzek *et al.*, (1993), manifiestan que ésta propiedad puede aumentar a temperaturas de 130°C. Por lo que se debe tener cuidado de no alterar la estructura de los almidones que las papas presentan para determinar valores de conductividad puesto que (Murakami, 1997) determinó que la conductividad térmica disminuye

significativamente durante el horneado de las papas, debido a la gelatinización de los almidones.

#### 4.4. Difusividad térmica.

Los resultados para las 5 variedades de papas nativas se presentan en la Tabla 22, y para su determinación se utilizó la ecuación empírica propuesto por Choi y Okos (1986).

**Tabla 22.** Resultados de difusividad térmica.

Temperatura	Variedad	Difusividad (m <sup>2</sup> /s)
30	Qayma marcela	1.276E-07
	Duraznillo	1.275E-07
	Huachuco	1.266E-07
	Luqui morada	1.305E-07
	Murwa	1.274E-07
40	Qayma marcela	1.288E-07
	Duraznillo	1.288E-07
	Huachuco	1.278E-07
	Luqui morada	1.315E-07
	Murwa	1.287E-07
50	Qayma marcela	1.298E-07
	Duraznillo	1.298E-07
	Huachuco	1.289E-07
	Luqui morada	1.323E-07
	Murwa	1.297E-07
60	Qayma marcela	1.306E-07
	Duraznillo	1.307E-07
	Huachuco	1.298E-07
	Luqui morada	1.330E-07
	Murwa	1.306E-07

En la Tabla 23 se presenta los resultados del análisis de varianza de la difusividad térmica. Observándose en ella, que independientemente tanto la temperatura y variedad influenciaron, asimismo los factores de variedad por temperatura son estadísticamente significativos al 95 % del nivel de confianza, por lo rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna.

**Tabla 23.** Difusividad térmica en cinco variedades de papas nativas.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS					
PRINCIPALES					
A:Temperatura	0,0076092	3	0,0025364	*****	0,0000
B:Variedad	0,0086931	4	0,00217327	*****	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,0000633	12	0,000005275	*****	0,0000
RESIDUOS	0	40	0		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0163656	59			

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

En la tabla 24 se presenta el análisis de comparaciones de medias LDS para la difusividad térmica. Se ha determinado que a temperaturas de 40 y 50 °C estadísticamente al 95 % del nivel de confianza son iguales, frente a temperaturas a 30 y 60 °C que son diferentes.

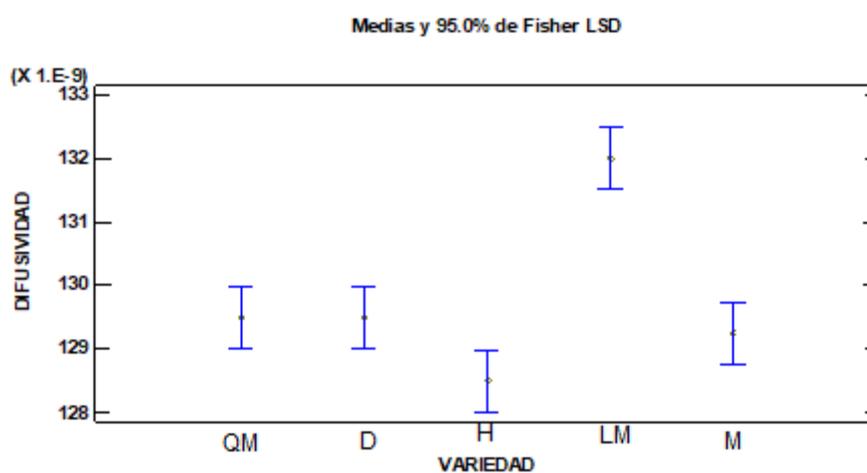
**Tabla 24.** Prueba comparación de media LSD de difusividad térmica según temperatura.

Temperatura °C	Casos	Media LDS	Sigma L'	Grupos Homogéneos
30	15	12.792	6.54E-06	a
40	15	12.912	6.54E-06	b
50	15	13.01	6.54E-06	b
60	15	13.94	6.54E-06	c

En la Tabla 25 observamos también que según la variedad de papa nativa la difusividad térmica presenta diferencias notorias, determinándose que Luqui morada presento  $1.318 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s de difusividad térmica, seguido de las variedades Qayma marcela y Duraznillo  $1.292 \cdot 10^{-7}$  y  $1.292 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s las que presentaron igual difusividad térmica al 95% de nivel de confianza, en tanto las variedades Murwa y Huachuco presentaron valores menores de difusividad térmica en el siguiente orden  $1.291 \cdot 10^{-7}$  y  $1.285 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s respectivamente y se observa en la Figura 4.

**Tabla 25.** Prueba LSD de Difusividad térmica según Variedad.

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
H	12	1.285	7.31E-06	a
M	12	1.291	7.31E-06	ab
D	12	1.292	7.31E-06	b
QM	12	1.292	7.31E-06	b
LM	12	1.318	7.31E-06	C



**Figura 5.** Difusividad térmica según variedad de papas nativas

Utilizando la composición química proximal de la ecuación empírica propuesta por Choi y Okos (1986), se determinó que los valores de difusividad térmica para las papas nativas fueron: Huachuco de  $1.283 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , Murwa de  $1.291 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , Duraznillo  $1.292 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , Qayma marcela  $1.292 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  y Luqui morada de  $1.318 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . Los valores encontrados en este trabajo, resultan ligeramente similares con los reportados en otras investigaciones.

Los valores de difusividad térmica encontrados en esta investigación, son inferiores a los reportes en otras investigaciones, como, el trabajo realizado por (Rice *et al.*, 1988), quienes estudiaron el efecto de la temperatura sobre las propiedades térmicas de la papa, sometida a calentamiento de 40 – 90°C, encontrando que la difusividad térmica aumenta con la temperatura hasta llegar a un valor máximo de  $1.34 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  a la temperatura de 70 °C, luego disminuye hasta  $1.32 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  a la temperatura de 90 °C , lo cual podría ser debido a la gelatinización del almidón, el cual puede alterar la estructura de la papa como ha sido indicado por (Rao *et al.*, 1975).

Los mismos autores indican que la difusividad térmica aumenta ligeramente con el incremento del contenido de humedad. Así mismo (Murakami,1997) estudió la variabilidad de las propiedades térmicas de las papas y las zanahorias sometidas a diferentes procesos, encontrando que la difusividad decrece después del proceso de esterilización, e incrementa durante la cocción. Reportando valores de difusividad de  $1.44 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  para papas con 77.8% de humedad.

Otras investigaciones también reportan la difusividad térmica de la papa, como; Tung *et al.* (1989), quienes reportan un valor de difusividad de  $1.39 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  a la temperatura de 60 °C y  $1.46 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  a la temperatura de 100 °C. Andrieu *et al.* (1986), reportan un valor de ( $\alpha$ ) de  $1.48 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  a la temperatura de 20 °C. Magee *et al.*, (1995), reportan valores de difusividad de  $1.30 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $1.44 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Recientes publicaciones, también reportan, la baja difusividad térmica de la papa, como en el trabajo de (Cariño *et al.*, 2013) quienes utilizan el valor de  $1.34 \cdot 10^{-77} \text{ m}^2/\text{s}$  cuando cubos de papa de 2x2x2 cm son calentados a las temperaturas de 70 y 85 °C.

## CONCLUSIONES

- La conductividad térmica (K) de las cinco variedades de papas nativas, obtenidas en los valores experimentales de esta investigación van desde 0.5143 a 0.5726 W/m K y están dentro de los parámetros citados por diferentes autores.
- Los valores de difusividad térmica ( $\alpha$ ) de las papas nativas, se incrementaron ligeramente con la temperatura. Encontrando los valores mínimos y máximos de ( $\alpha$ ) para la papa fueron de:  $1.283 \cdot 10^{-7}$  a  $1.318 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s.
- Existen diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) para los efectos principales de los factores de variedad de papa nativa y temperatura, lo que confirma que estos dos factores son dependientes, es decir que para cierto nivel de variedad hay que estudiar cual es la mejor propiedad termal, anulando así los efectos principales de los factores variedad de papa nativa y el tipo de temperatura.
- Es importante destacar que las papas nativas, supuestamente va experimentando una alteración en su estructura, a medida que el tratamiento térmico es más drástico, posiblemente con esto la tendencia que experimenta la velocidad de transferencia de calor va en aumento.

## RECOMENDACIONES

- Los métodos usados en esta investigación son recomendados para determinar la propiedad térmica de todos los productos con alto contenido de humedad, a diferentes rangos de temperatura.
- Se recomienda evaluar las propiedades térmicas de las papas nativas en rangos de temperaturas superiores al punto de ebullición, así como también determinar el efecto del porcentaje de humedad de cada producto.
- Este trabajo puede servir como base para determinar la calidad de productos en equipos y sistemas en los que las condiciones de temperatura y la velocidad de transferencia de calor son constantes.
- Determinar las propiedades térmicas de los alimentos, con instrumentos más sofisticados para aumentar la precisión de las simulaciones, como, por ejemplo, el equipo KD2 Pro (Decagon®, USA), el cual es capaz de medir conductividad térmica, resistividad, difusividad térmica y calor específico en alimentos a diferentes temperaturas.
- Experimentar con equipos de laboratorio para validar los resultados obtenidos en la determinación de las propiedades térmicas de papas nativas, evaluar en otras frutas y observar si el comportamiento es el mismo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Aguado et al., (1999).** Ingeniería de la industria alimentaria. Volumen I. Conceptos Básicos. Editorial Sintesis. España.
- Alvarado et al., (2001).** Métodos para Medir las Propiedades Físicas en la Industria de los Afrento; Eclitorial, Acribia, S.A.
- Alvis et al., (2009).** *Heat transfer coefficient during deep-fat frying.* Food Control.
- Andreasen, M. (2009).** Modelling of Heat and Mass Transfer in Food Products. COMSOL Conference, Milan.
- Ansari, F. (1999).** Finite difference solution of heat and mass transfer problems related to.
- Ansari, F. (1999).** Finite difference solution of heat and mass transfer problems related to precooling of food. *Energy Conversion & Management*, 40: 795-802.
- Anusavice, K. (2004).** La ciencia de los materiales dentales. (11ª ed.). España: Elsevier S.A.
- Arratea et al., (2017).** "Actividad antibacteriana del extracto acuoso solanum tuberosum (papa fermentada) y aceite esencial thymus vulgaris (tomillo), frente a cepa staphylococcus aureus, estudio in vitro".EE
- Betta et al., (2009).** A quick method for termal diffusivity estimation: Application to several foods. *Journal of Food Engineering*, 91, 34–41.
- Bisceglia et al., (2013).** Food Cooking Process: Numerical Simulation of the Transport Phenomena. COMSOL Conference, Rotterdam.
- Califano et al., (1991).** Thermal conductivity of potato between 50°C and 100°C. *Journal of Food Science*, 56, 586–589.
- Çengel, Y. (2007).** Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico. McGraw-Hill Interamericana. México.
- Centro Internacional de la Papa. (2006).** Catálogo de variedades de papa nativa de Huancavelica, Perú. Lima-Perú.
- Cho y Okos, M. (1986).** Effect of temperatura and composition onthe termal properties of foods. *Food Engineering and Process Applications.* Elsevier Applied Science Publisher. London. 613p.

- Coaricona, F. (2008).** Simulación del comportamiento de la difusividad térmica del masato (masa de yuca fermentada diluida), en función al porcentaje de humedad. Tingo María – Perú. UNAS.
- Contreras, A. (2001).** La papa. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. Curador Germoplasma Chileno de papas, [http://www.agrarias.cl/instituto/prod\\_sanidad\\_vegetal/webpapa/pag14.html](http://www.agrarias.cl/instituto/prod_sanidad_vegetal/webpapa/pag14.html).
- Contreras, A. (2003).** Papa. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Ograma S. A. Chile. 760 p.
- Cronquist, A. (1986).** Manual de bacteriología sistemática. (Vol.2). USA: Editorial William y Wilkins.
- Delgado *et al.*, (2003).** One-dimensional finite difference modelling of heat and mass transfer during thawing of cooked cured meat. *Journal of Food Engineering*, 57, 383–389.
- Dutta, *et al.* (1988).** Thermal properties of gran. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Department of Mechanical Engineering, Motilal Nehru Regional Engineering College. Volumen 39. Issue 4. Allahabad. India. pp 269-275.
- Egúsquiza, B. (2000).** La Papa. Producción, Transformación Comercialización. Perú: CIMAGRAF S.R.L.
- FAO** ([fao.org/es/agricultura/produ/papa.html](http://fao.org/es/agricultura/produ/papa.html))
- FAOSTAT, (2015).** Statistics Division of FAO. Disponible en: <http://faostat.fao.org>. Consultado el 21 de enero del 2015.
- Feyissa, A. (2011).** Robust Modelling of Heat and Mass Transfer in Processing of Solid Foods. Ph. D. Dissertation, Food Production Engineering, National Food Institute. University of Denmark.
- Feyissa, A. (2011).** Robust Modelling of Heat and Mass Transfer in Processing of Solid Foods. Ph. D. Dissertation, Food Production Engineering, National Food Institute. University of Denmark.
- García, V. (2009).** Determinación de la difusividad térmica en pulpa de Noni (morinda citrifolia L.), en función de la temperatura. Tingo María – Perú. UNAS.

- Gijarro Vega, C. (2008).** Propuesta gastronómica mediante la utilización de las diez principales variedades de papa nativa que se cultivan en la provincia de Cotopaxi (tesis de grado). Universidad tecnológica equinoccial, Quito.
- Goñi, S. (2011).** Multi-objective optimization of beef roasting. *Procedia Food Science*, 1, 747 – 752.
- Gould, W. (1999).** Potato Production, Processing and Technology. CTI Publication, Inc. Timonium – Maryland.
- Gratzek et al., (1993).** Solid food thermal conductivity determination at high temperatures. *Journal of Food Science*, 58, 908–913.
- Heldman et al., (1990).** Ingeniería de los procesos agroalimentarios. New York: AVI.
- Horton, D. (1992).** La papa: Producción, Comercialización y Programas. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima – Perú.
- Huang et al., (2009).** *Simultaneous determination of thermal conductivity and thermal diffusivity of food and agricultural materials using a transient plane-source method.* *Journal of Food Engineering*.
- Lara et al., (2008).** Influencia de tres métodos de cocción en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de bastones de papa prefrita congelados. Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos. Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile. Facultad Tecnológica.
- Lespinard et al., (2009).** Experimental determination and modelling of size variation, heat transfer and quality indexes during mushroom blanching. *Journal of Food Engineering*, 92, 8–17.
- Lewis, M. (2010).** Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. España: Acribia
- López-Ramos et al., (1993).** Propiedades térmicas de frutos y vegetales tropicales, 33. 271-283.
- Loss et al., (2011).** Finite difference solutions for heat transfer during drying of cubic papaya particles. *Procedia Food Science*, 1: 753–761.
- Mafart, P. (1994).** Ingeniería industrial alimentaria volumen III, Ed. ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España.

- Maldonado et al., (2008).** Estudio de la adopción de variedades de papa en zonas pobres del Perú. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú.
- Mohamed, I. (2003).** Computer simulation of food sterilization using an alternating direction implicit finite difference method. *Journal of Food Engineering*, 60: 301–306.
- Mohsenin, N. (1980).** *Thermal Properties of Food and Agricultural materials*. Gordon and Breach Science publishers, INC. N.Y. USA. 407 p.
- Moraga J. (2008).** Determinación del calor específico de murta (*Ugni molinae Turcz*) y Arándano (*Vaccinium corymbosum L.*) en un Rango de Temperatura entre 20 °C y 80 °C por el Método de la Calorimetría Diferencial de Barrido. 06 p.
- Muños, J. (2002).** Determinación de la difusividad térmica en pasta de murta (*Ugni molinae Turcz*), en función de la temperatura.
- Murakami, E. (1997).** The thermal properties of potatoes and carrots as affected by thermal processing. *Journal of Food Process Engineering*, 20, 415–432.
- Ochoa, N. (2001).** Las papas de Sudamérica. Instituto Francés de Estudios Andinos- IFEA. Lima.
- Peleg, M. (1983).** *Physical Properties of Food*. AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut. pp13 -16.
- Perussello et al., (2011).** Combined modeling of thermal properties and freezing process by convection applied to green beans. *Applied Thermal Engineering*, (31): 2894–2901.
- Pumisacho -Sherwood. (2002).** El cultivo de la papa en el Ecuador, INIAP, CIP, Ecuador, pp. 21-161.
- Quinteros, V. (2012).** “Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto”.
- Ramos, D. (2014).** Determinación de las propiedades térmicas en tres variedades de papa nativa con cortes de tamaños diferentes. Tacna. Perú.
- Rao et al., (1975).** Thermal conductivity and thermal diffusivity of process variety squash and white potatoes. *Transactions of the ASAE*, 18, 1188–1192.

- Realpe J. (2010).** Evaluación de la eficiencia de fungicidas protectantes y sistémicos para el control de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en el cultivo de papa en san pedro de huaca provincia del Carchi, Tesis, Universidad Técnica del Norte. Ibarra – Ecuador.
- Reinoso *et al.*, (2005).** Las papas nativas en el Ecuador: estudios cualitativos sobre oferta y demanda. Revista del Centro Internacional de la Papa., 1-23.
- Rice *et al.*, (1988).** Effect of temperature on thermal properties of ‘record’ potatoes. International Journal of Food Science and Technology, 23, 281.
- Sahin *et al.*, (2009).** Propiedades físicas de los alimentos. España: Acribia.
- Santos, M. (2011).** La papa nuestra de cada día. Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Lima – Perú.
- Serpiel *et al.*, (2009).** Propiedad física de los alimentos, ed. ACRIBIA, Zaragoza – España.
- Singh, P. (1982).** Introducción a la ingeniería de los alimentos, Segunda Edición, Editorial Acribia S.A. Zaragoza España.
- Wang *et al.*, (1995).** A Mathematical Model of Simultaneous Heat and Moisture Transfer during Drying of Potato. Journal of Food Engineering, 24: 47-60.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1. Matriz de consistencia.**

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
¿Cuál es el comportamiento de las propiedades termofísicas en las cinco variedades de papas nativas en función a la temperatura 30, 40, 50 y 60°C?	Determinar las propiedades termofísicas por medidas de temperatura en cinco variedades de papas nativas ( <i>Solanum tuberosum</i> ).	Las propiedades termofísicas determinadas por medidas de temperatura difieren según la variedad de papa nativa.	Temperatura	30	°C
				40	°C
				50	°C
				60	°C
			Variedad	Qayma marcela	variedad
				Duraznillo	variedad
				Huachuco	variedad
				Luqui modara	variedad
				Murwa	variedad
¿Cuál es la conductividad térmica según la variedad de papas nativas a temperaturas de 30, 40, 50 y 60°C?	Determinar y comparar la difusividad térmica en cinco variedades de papas nativas ( <i>Solanum tuberosum</i> ).	La difusividad térmica se ve influenciada por la variedad y temperatura.	Difusividad	Temperatura de la papa	°C
¿Cuál es la difusividad térmica según la variedad de papas nativas a temperaturas de 30, 40, 50 y 60°C?	Determinar y comparar la conductividad térmica en cinco variedades de papas nativas ( <i>Solanum tuberosum</i> ).	La conductividad térmica se ve influenciada por la variedad y temperatura.	Conductividad	Temperatura de la papa	°C
				Potencia consumida	W

**ANEXO 2.** Arreglo experimental para la recolección de datos de conductividad y difusividad.

Temperatura (°C)	Variedad	Conductividad (W/m.K)			Difusividad (m <sup>2</sup> /s)		
		1	2	3	1	2	3
30	Qayma Marcela	0.5148	0.5139	0.5148	1.28E-07	1.28E-07	1.28E-07
	Duraznillo	0.5142	0.5145	0.5142	1.28E-07	1.28E-07	1.28E-07
	Huachuco	0.5047	0.5065	0.5064	1.27E-07	1.27E-07	1.27E-07
	Luqui Morada	0.5398	0.5397	0.5400	1.31E-07	1.31E-07	1.31E-07
	Murwa	0.5122	0.5143	0.5103	1.27E-07	1.27E-07	1.27E-07
40	Qayma Marcela	0.5268	0.5258	0.5267	1.29E-07	1.29E-07	1.29E-07
	Duraznillo	0.5262	0.5266	0.5262	1.29E-07	1.29E-07	1.29E-07
	Huachuco	0.5166	0.5184	0.5184	1.28E-07	1.28E-07	1.28E-07
	Luqui Morada	0.5519	0.5519	0.5521	1.32E-07	1.32E-07	1.32E-07
	Murwa	0.5242	0.5264	0.5222	1.29E-07	1.29E-07	1.29E-07
50	Qayma Marcela	0.5376	0.5366	0.5375	1.30E-07	1.30E-07	1.30E-07
	Duraznillo	0.5370	0.5375	0.5371	1.30E-07	1.30E-07	1.30E-07
	Huachuco	0.5274	0.5292	0.5291	1.29E-07	1.29E-07	1.29E-07
	Luqui Morada	0.5628	0.5628	0.5631	1.32E-07	1.32E-07	1.32E-07
	Murwa	0.5350	0.5372	0.5330	1.30E-07	1.30E-07	1.30E-07
60	Qayma Marcela	0.5473	0.5462	0.5471	1.31E-07	1.31E-07	1.31E-07
	Duraznillo	0.5467	0.5471	0.5467	1.31E-07	1.31E-07	1.31E-07
	Huachuco	0.5370	0.5388	0.5387	1.30E-07	1.30E-07	1.30E-07
	Luqui Morada	0.5725	0.5725	0.5728	1.33E-07	1.33E-07	1.33E-07
	Murwa	0.5447	0.5469	0.5426	1.31E-07	1.31E-07	1.31E-07

**ANEXO 3.** Cuadro de medias por mínimos cuadrados para conductividad térmica con intervalos de confianza del 95,0%.

			Error	Límite	Límite
Nivel	Casos	Media	Est.	Inferior	Superior
MEDIA GLOBAL	60	0,53419			
Temperatura					
30	15	0,517347	0,000277326	0,516786	0,517907
40	15	0,529372	0,000277326	0,528812	0,529933
50	15	0,540202	0,000277326	0,539642	0,540763
60	15	0,549837	0,000277326	0,549277	0,550398
Variedad					
D	12	0,531171	0,00031006	0,530544	0,531797
H	12	0,522605	0,00031006	0,521978	0,523231
LM	12	0,556815	0,00031006	0,556188	0,557441
M	12	0,529091	0,00031006	0,528465	0,529718
QM	12	0,531266	0,00031006	0,53064	0,531893
Temperatura por Variedad					
30,D	3	0,514288	0,00062012	0,513034	0,515541
30,H	3	0,505869	0,00062012	0,504615	0,507122
30,LM	3	0,539826	0,00062012	0,538573	0,54108
30,M	3	0,512266	0,00062012	0,511013	0,513519
30,QM	3	0,514485	0,00062012	0,513232	0,515738
40,D	3	0,526337	0,00062012	0,525084	0,527591
40,H	3	0,517814	0,00062012	0,51656	0,519067
40,LM	3	0,551968	0,00062012	0,550715	0,553222
40,M	3	0,524274	0,00062012	0,523021	0,525528
40,QM	3	0,526467	0,00062012	0,525214	0,527721
50,D	3	0,537196	0,00062012	0,535942	0,538449
50,H	3	0,528577	0,00062012	0,527324	0,52983
50,LM	3	0,562886	0,00062012	0,561632	0,564139
50,M	3	0,535095	0,00062012	0,533842	0,536349
50,QM	3	0,537258	0,00062012	0,536004	0,538511
60,D	3	0,546863	0,00062012	0,545609	0,548116
60,H	3	0,538159	0,00062012	0,536906	0,539412
60,LM	3	0,572578	0,00062012	0,571325	0,573832
60,M	3	0,54473	0,00062012	0,543476	0,545983
60,QM	3	0,546856	0,00062012	0,545603	0,548109

**ANEXO 4.** Pruebas de múltiples rangos para conductividad térmica por temperatura.

Temperatura (°C)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
30	15	0,517347	0,000277326	X
40	15	0,529372	0,000277326	X
50	15	0,540202	0,000277326	X
60	15	0,549837	0,000277326	X

Contraste	Sig	Diferencia	+/- Límites
30 - 40	*	-0,0120254	0,00105137
30 - 50	*	-0,0228555	0,00105137
30 - 60	*	-0,0324903	0,00105137
40 - 50	*	-0,0108301	0,00105137
40 - 60	*	-0,020465	0,00105137
50 - 60	*	-0,00963484	0,00105137

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 5.** Cuadro de medias por mínimos cuadrados para difusividad térmica con intervalos de confianza del 95,0%.

			Error	Límite	Límite
Nivel	Casos	Media	Est.	Inferior	Superior
MEDIA GLOBAL	60	1,2952			
Temperatura					
30	15	1,2792	6,53552E-11	1,2792	1,2792
40	15	1,2912	6,53552E-11	1,2912	1,2912
50	15	1,301	6,53552E-11	1,301	1,301
60	15	1,3094	6,53552E-11	1,3094	1,3094
Variedad					
D	12	1,292	7,30693E-11	1,292	1,292
H	12	1,28275	7,30693E-11	1,28275	1,28275
LM	12	1,31825	7,30693E-11	1,31825	1,31825
M	12	1,291	7,30693E-11	1,291	1,291
QM	12	1,292	7,30693E-11	1,292	1,292
Temperatura por Variedad					
30,D	3	1,275	1,46139E-10	1,275	1,275
30,H	3	1,266	1,46139E-10	1,266	1,266
30,LM	3	1,305	1,46139E-10	1,305	1,305
30,M	3	1,274	1,46139E-10	1,274	1,274
30,QM	3	1,276	1,46139E-10	1,276	1,276
40,D	3	1,288	1,46139E-10	1,288	1,288
40,H	3	1,278	1,46139E-10	1,278	1,278
40,LM	3	1,315	1,46139E-10	1,315	1,315
40,M	3	1,287	1,46139E-10	1,287	1,287
40,QM	3	1,288	1,46139E-10	1,288	1,288

50,D	3	1,298	1,46139E-10	1,298	1,298
50,H	3	1,289	1,46139E-10	1,289	1,289
50,LM	3	1,323	1,46139E-10	1,323	1,323
50,M	3	1,297	1,46139E-10	1,297	1,297
50,QM	3	1,298	1,46139E-10	1,298	1,298
60,D	3	1,307	1,46139E-10	1,307	1,307
60,H	3	1,298	1,46139E-10	1,298	1,298
60,LM	3	1,33	1,46139E-10	1,33	1,33
60,M	3	1,306	1,46139E-10	1,306	1,306
60,QM	3	1,306	1,46139E-10	1,306	1,306

**ANEXO 6.** Pruebas de múltiples rangos para difusividad térmica por temperatura.

Temperatura (°C)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
30	15	1,2792	6,53552E-11	X
40	15	1,2912	6,53552E-11	X
50	15	1,301	6,53552E-11	X
60	15	1,3094	6,53552E-11	X

Contraste	Sig	Diferencia	+/- Límites
30 - 40	*	-0,012	1,86801E-10
30 - 50	*	-0,0218	1,86801E-10
30 - 60	*	-0,0302	1,86801E-10
40 - 50	*	-0,0098	1,86801E-10
40 - 60	*	-0,0182	1,86801E-10
50 - 60	*	-0,0084	1,86801E-10

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 7.** Variedades de papas nativas.



Duraznillo



Luqui morada



Qayma Marcela



Huachuco



Murwa

## ANEXO 8. Recolección de datos

