



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
CARRERA INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Tema: Determinación de propiedades térmicas de oca (*Oxalis tuberosa*), jícama (*Smallanthus sonchifolius*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y camote (*Ipomoea batatas*).

Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previa la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Trabajo de Titulación parte del Proyecto de investigación “Desarrollo de un prototipo de mezcla farinácea libre de gluten para pastelería, utilizando cultivos andinos tradicionales”, financiado por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato según resolución 0193-CU-P-2018, coordinado por Ing. M.Sc. Diego Manolo Salazar Garcés.

Autora: Kathia Mishel Conrado Mora

Tutora: Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

Ambato – Ecuador

Noviembre 2018

APROBACIÓN DE LA TUTORA

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

CERTIFICA:

Que el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, ha sido prolijamente revisado y por lo tanto autorizo la presentación de éste debido a que responde a las normas establecidas en el reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 17 de octubre del 2018



Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

C.I. 1804067088

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Conrado Mora Kathia Mishel, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Kathia Mishel Conrado Mora

C.I. 0504153446

AUTORA

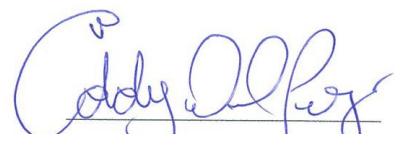
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Docentes Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



Presidente de Tribunal de Grado



Dr. Freddy Geovanny Del Pozo León

C.I. 180244627-6



Mg. Santiago Stalin Guerra Salcedo

C.I. 171936871-2

Ambato, 09 de noviembre del 2018

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto de investigación o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi proyecto, con fines de difusión pública; además, apruebo la reproducción de este proyecto dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Kathia Mishel Conrado Mora

C.I. 0504153446

AUTORA

DEDICATORIA

*A Dios, a mis padres Nelson y Rosa, y a mis dos segundas madres Alicia y Gladys,
por ser mi apoyo y fortaleza durante todo este proceso y enseñarme a luchar para
conseguir cada una de mis metas y sueños.*

AGRADECIMIENTOS

A Ing. Liliana Acurio, por su apoyo y por guiarme con sus conocimientos en el desarrollo del trabajo de titulación.

A Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, por haber sido mi segundo hogar durante mi vida universitaria.

A los docentes que contribuyeron en el desarrollo de este trabajo: Dra. Mirari Arancibia y Lic. Yoel Hernández, y un agradecimiento especial a Iván Ocaña.

A mi familia en general, en especial a mi prima Dayana por ser como mi hermana, por estar conmigo en las buenas y malas, por ser mi apoyo incondicional.

A la persona que me acompañó durante todo este camino universitario, me animó y motivó a no rendirme, K.O.C.

A mis compañeros de locuras, mis amigos de siempre y los que han llegado a alegrar mis días: Kelly Priscila, Cyntia Magally, Jessenia Magaly, María Fernanda, Diana Carolina, Andrés Paúl, Jorge Luis, Ángel Leonel, Diego Roberto y Alexander David, con quienes he vivido los mejores momentos y estarán siempre en mi corazón.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TUTORA	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE AUTOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICES DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA

1.1. Tema	3
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos	6
2.2. Hipótesis	8
2.2.1. Hipótesis nula (Ho)	8
2.2.2. Hipótesis alternativa (Hi)	9
2.3. Señalamiento de variables	9
2.3.1. Variable independiente	9
2.3.2. Variable dependiente	9

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales	10
-----------------------	----

3.1.1. Materia prima.....	10
3.2.2. Equipos y utensilios	10
3.2. Métodos.....	10
3.2.1. Determinación de calor específico.....	10
3.2.2. Determinación de conductividad térmica	11
3.2.3. Determinación de difusividad térmica	12
3.2.4. Correlación entre las propiedades térmicas y la temperatura	13
3.2.5. Determinación de propiedades térmicas por Calorimetría Diferencial de Barrido	14

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Calor específico.....	15
4.2. Conductividad térmica	16
4.3. Difusividad térmica.....	18
4.4. Correlaciones entre propiedades térmicas y temperatura.....	19
4.4.1. Correlación entre calor específico y temperatura	19
4.4.2. Correlación entre difusividad y temperatura	20
4.5. Determinación de propiedades térmicas mediante Calorimetría Diferencial de Barrido.....	20
4.6. Verificación de la hipótesis.....	23

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	24
5.2. Recomendaciones.....	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un calorímetro para determinar calor específico por el método de las mezclas	11
Figura 2. Dispositivo para la determinación de conductividad térmica por el método de la sonda	12
Figura 3. Esquema del cilindro de acero para medir difusividad térmica.....	13
Figura 4. Termogramas de los cuatro tubérculos en estudio.....	21
Figura 5. Termograma de jícama	22

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de almidón de los tubérculos andinos	6
Tabla 2. Composición química de los tubérculos andinos por cada 100g de muestra	7
Tabla 3. Calor específico (kJ/kg×°C)	16
Tabla 4. Conductividad térmica (W/m°C).....	17
Tabla 5. Difusividad térmica (m ² /s) experimental y bibliográfico.....	19
Tabla 6. Ecuaciones de correlación entre calor específico y temperatura	20
Tabla 7. Ecuaciones de correlación entre difusividad térmica y temperatura.....	20
Tabla 8. Calor específico obtenido con DSC	21
Tabla 9. Temperaturas y entalpías.....	22
Tabla 10. Valores de calor específico (kJ/kg×°C) obtenidos experimentalmente.....	37
Tabla 11. Valores de conductividad térmica (W/m×°C) obtenidos experimentalmente	38
Tabla 12. Valores obtenidos de difusividad térmica (m ² /s) obtenidos experimentalmente.....	39
Tabla 13. Calor específico (kJ/kg×°C) calculado con Choi y Okos para tubérculos enteros.....	40
Tabla 14. Calor específico (kJ/kg×°C) calculado con Choi y Okos para tubérculos en extracto	40
Tabla 15. Conductividad térmica (W/m°C) calculado con Choi y Okos para tubérculos enteros	41
Tabla 16. Conductividad térmica (W/m°C) calculado con Choi y Okos para tubérculos en extracto	41
Tabla 17. Difusividad térmica (m ² /s) calculado con Choi y Okos para tubérculos enteros.....	42
Tabla 18. Difusividad térmica (m ² /s) calculado con Choi y Okos para tubérculos en extracto	42
Tabla 19. Datos promedio de termogramas obtenidos por DSC.....	43
Tabla 20. Análisis de varianza para calor específico	44
Tabla 21. Análisis de varianza para conductividad térmica.....	44
Tabla 22. Análisis de varianza para difusividad térmica	44

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Determinación de calor específico	11
Ecuación 2. Determinación de conductividad térmica.....	12
Ecuación 3. Determinación de difusividad térmica	13
Ecuación 4. Calor específico por DSC.....	14

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Datos experimentales y referenciales	37
ANEXO B. Anovas	44
ANEXO C. Fotografías	45

RESUMEN

Se determinaron las propiedades térmicas: calor específico, conductividad y difusividad térmicas de cuatro tubérculos ecuatorianos: oca (*Oxalis tuberosa*), jícama (*Smallanthus sonchifolius*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y camote (*Ipomoea batatas*), tanto en tubérculo entero como en extracto. Para cada propiedad térmica se utilizaron metodologías comprobadas por diferentes autores, y en el caso del calor específico se corroboraron los resultados mediante Calorimetría Diferencial de Barrido.

En todas las propiedades térmicas estudiadas se obtuvieron valores superiores en jícama e inferiores en camote. Se observó una relación directa de las propiedades con la composición y en todos los casos se obtuvieron valores superiores al trabajar con el extracto del tubérculo, concluyendo que en estado líquido se produce una mejor transferencia de calor. Finalmente, al correlacionar el calor específico y la difusividad térmica con la temperatura se observa que existe una relación directamente proporcional.

Palabras claves: oca, jícama, mashua, camote, propiedades térmicas, tubérculos andinos.

ABSTRACT

Thermal properties (specific heat, thermal conductivity and thermal diffusivity) of four Ecuadorian tubers (oca, jicama, mashua and sweet potato) were determined, in whole tuber and extract. For each thermal property methodologies tested by different authors were used, and in the case of specific heat the results were corroborated by Differential Scanning Calorimetry.

Higher values were obtained in jicama and lower in sweet potato in all the thermal properties studied. A direct relation of the properties with the composition was observed and higher values were obtained working with the tuber extract because the liquid state has better heat transfer. Finally, there is a directly proportional relationship between specific heat and the thermal diffusivity with the temperature.

Keywords: oca, jicama, mashua, camote, thermal properties, Andean tubers

INTRODUCCIÓN

Los tubérculos como papa, oca, zanahoria blanca, mashua, jícama y camote son la base fundamental de la alimentación de la población Andina debido a su alto aporte de hidratos de carbono. Las áreas de producción de dichos tubérculos en los Andes son dispersas y se extienden principalmente a lo largo de Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia (Tapia y Fries, 2007). Y, aunque la papa es el tubérculo más sembrado en la región (66.000 hectáreas), cultivos como mashua, achira, jícama, camote y oca abarcan actualmente 165.000 hectáreas aproximadamente (Condori et al., 2014). La tendencia actual demuestra que una gran parte de la producción de tubérculos andinos es destinada a la venta (Barrera et al., 2003; Valdivia et al., 2016).

Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), es un tubérculo que posee propiedades insecticidas, bactericidas y actúa favorablemente sobre el sistema inmunológico (Aruquipa et al., 2016a; Chirinos et al., 2007; Jiménez et al., 2015). Según Aruquipa et al. (2016b), 100 g de mashua fresca aportan 52 kcal al organismo y presenta la siguiente composición: agua 87,4 g; proteína 1,5 g; grasa 0,7 g y fibra 0,9 g.

Oca (*Oxalis tuberosum*), es también un tubérculo importante cosechado en los Andes ecuatorianos entre 2800 y 4100 msnm (Jiménez et al., 2015) y es una excelente fuente de carbohidratos, calcio, hierro y aminoácidos esenciales (Barrera et al., 2003). La producción de oca es de 387 toneladas anuales durante la temporada de cosecha de enero a mayo (Cruz et al., 2016) y se usa como alimento, medicina o forraje.

La jícama (*Smallanthus sonchifolius*), se cultiva entre los 900 y 2750 msnm a 14-20°C. Es una raíz de sabor dulce con una alta cantidad de agua (85 a 90%) y los carbohidratos representan el 90% de la materia seca (Jiménez et al., 2015). Posee una cantidad significativa de potasio y compuestos fenólicos (Takenaka et al., 2003).

El camote (*Ipomoea batatas*), es un tubérculo con valor nutritivo más alto que la papa, debido a que es una fuente importante de fibra, antioxidantes, vitaminas y minerales. Entre los componentes que contribuyen con la actividad antioxidante se encuentran el ácido ascórbico, carotenoides y antocianinas (Oki et al., 2002; Rumbaoa et al., 2009). Su valor nutricional por cada 100 g es 74 g de agua; 2 g de grasa; 1,2 g de proteína y 21,5 g carbohidratos (Linares et al., 2008).

A fin de caracterizar los tubérculos antes mencionados, se determinarán sus propiedades térmicas, las principales propiedades térmicas de los alimentos son: calor específico, conductividad térmica y difusividad térmica, propiedades que dependen principalmente de la composición, temperatura y densidad de los alimentos (Alvarado, 2013).

El calor específico se puede definir como la cantidad de calor ganada o perdida por unidad de masa del producto, que se requiere para cambiar un grado la temperatura. Esta propiedad es importante para el análisis térmico en el procesado de alimentos (Paul Singh y Heldman, 1998).

Por otra parte, la conductividad térmica es la cantidad de calor conducido por unidad de tiempo tomando en cuenta el espesor del material. Esta propiedad es considerada en procesos donde hay intercambio de energía y masa; por ejemplo, en el blanqueo, pasteurización, esterilización, refrigeración, secado, entre otros. Según Wilhelm et al. (2004), la conductividad térmica de la mayoría de materiales alimenticios está en un rango de aproximadamente 0,2 y 0,5 W/m×K.

Por último, la difusividad térmica de un alimento es una de las propiedades más importantes en procesos donde ocurre transferencia de calor en función del tiempo. Su concepto hace referencia a la capacidad de un material para conducir calor o almacenar energía (Alvarado, 2013). De acuerdo con Perussello et al. (2014), los valores de difusividad térmica en productos alimenticios oscilan entre 1×10^{-7} y 2×10^{-7} m²/s. Para interpretar mejor la difusividad térmica, hay que tomar en cuenta que la conductividad térmica proporciona la tasa de flujo de calor, pero por sí sola no decide el cambio de temperatura. La conductividad térmica es un indicador de la facilidad del flujo de calor, mientras que la difusividad térmica es un indicador de la facilidad de cambio de temperatura en un proceso transitorio (Datta, 2002).

Finalmente, Giraldo-Gómez et al. (2010), mencionan que en extractos las propiedades termo-físicas se ven influenciadas por la temperatura y principalmente por la humedad.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1.Tema

Determinación de propiedades térmicas de oca (*Oxalis tuberosa*), jícama (*Smallanthus sonchifolius*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y camote (*Ipomoea batatas*).

1.2.Justificación

En Ecuador, en esta última década, han nacido los conceptos de “Sumak Kawsay” y “Matriz Productiva”, con los que el gobierno busca mejorar la calidad de vida de la población e incentivar el emprendimiento de las familias dedicadas a la agricultura. La idea principal es apoyar la evolución de ser simples productores agrícolas para convertirse en comerciantes mayoristas de sus propios cultivos. Dentro de esta evolución, el estado promueve especialmente el rescate de raíces y tubérculos andinos cultivados en la región interandina del país (Senplades, 2013). Parte del proceso es mejorar la organización campesina, desarrollar proyectos de inversión para tecnificar el cultivo y crear productos que se puedan vender con valor agregado.

Dentro de los tubérculos a ser rescatados se encuentran la oca (*Oxalis tuberosum*), jícama (*Smallanthus sonchifolius*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y camote (*Ipomoea batatas*). Estos cuatro tubérculos según periódicos locales y estudios realizados son los más consumidos en el país, debido a la revalorización de la gastronomía ecuatoriana con productos propios como: purés, con jugos cítricos, cremas, postres y bizcochos (Bonete et al., 2016; Clavijo y Pérez, 2014; El Comercio, 2017).

De cara al desarrollo de productos con valor agregado, es importante conocer las características que estos tubérculos andinos poseen, ya sean físico químicas, nutricionales y/o térmicas. El calor específico, la conductividad y la difusividad térmicas son las propiedades térmicas que se estudian ampliamente en alimentos, debido a que su conocimiento es necesario para el cálculo de diferentes operaciones unitarias, así como el diseño de equipos y optimización de procesos en la industria.

El calor específico es una propiedad involucrada en la ecuación de gobierno para el balance de energía, debido a que es utilizada en el diseño de procesos de calentamiento (esterilización, deshidratación, etc.) y enfriamiento (refrigeración, congelación, etc.), y por ende relacionado con el cálculo del costo de energía (Ramaswamy y Marcotte, 2005). Esta propiedad varía en función de las propiedades físicas y químicas de los alimentos. En este sentido, diversos estudios muestran relación entre el calor específico y la temperatura ($r^2 = 0,97$) (Fasina y Sokhansanj, 1996; Prem Singh et al., 1997), y el contenido de humedad ($r^2 = 0,99$) (Gharibzahedi et al., 2014), así como correlaciones combinadas con ambos factores ($r^2 = 0,89$ a $0,99$) (Farinu y Baik, 2007; Shrivastava y Datta, 1999; Yang et al., 2002).

Así mismo, la conductividad térmica es una de las propiedades más importantes requeridas para el modelado de procesos donde se intercambia energía, debido a que es una constante a considerar en la Ley de Fourier, fórmula que permite evaluar el flujo de calor por conducción en sólidos isotrópicos (Wang et al., 2007). La conductividad térmica en alimentos es importante, no solo para el diseño de procesos sino también para predecir y controlar los diferentes cambios que se producen en los mismos durante el procesamiento térmico (Mamani, 2015). Diversos estudios muestran relación entre la conductividad térmica y la temperatura ($r^2 = 0,93$ a $0,99$) (Gut et al., 2005; Hu y Mallikarjunan, 2005), con el contenido de humedad ($r^2 = 0,99$) (Gharibzahedi et al., 2014), ambos factores combinados (humedad y temperatura) ($r^2 = 0,93$ a $0,99$) (AbuDagga y Kolbe, 1997; Califano y Calvelo, 1991; Coimbra et al., 2006; J. Yang y Zhao, 2001) y la composición nutricional ($r^2 = 0,93$ a $0,99$) (Abhayawick et al., 2002; Magerramov et al., 2006; Ngadi et al., 2000).

Por otro lado, la difusividad se utiliza en procesos de transferencia de calor no estacionario, para el cálculo del número de Biot. Diversos estudios muestran relación entre la difusividad térmica y la temperatura ($r^2 = 0,9944$) (Kumcuoglu et al., 2010) y el contenido de humedad ($r^2 = 0,9926$) (Ali et al., 2002; Gharibzahedi et al., 2014; Mamani, 2015).

Bajo este contexto, la presente investigación está enfocada en determinar las propiedades térmicas de los tubérculos anteriormente mencionados, para proporcionar la información base para la industrialización de estas materias primas.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar las propiedades térmicas de oca (*Oxalis tuberosum*), jícama (*Smallanthus sonchifolius*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y camote (*Ipomoea batatas*).

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el calor específico de cuatro tubérculos andinos, tanto enteros como en extracto, utilizando el método de Hwang & Hayakawa a diferentes temperaturas.
- Determinar la conductividad térmica de cuatro tubérculos andinos, tanto enteros como en extracto, mediante el método de la sonda.
- Determinar la difusividad térmica de cuatro tubérculos andinos, tanto enteros como en extracto, mediante el método de Dickerson a diferentes temperaturas.
- Establecer correlaciones entre las propiedades térmicas y la temperatura de determinación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

Las raíces y tubérculos andinos cubren un grupo de raíces amiláceas que crecen en tierras altas, por encima de los 3000 m de altitud (Cruz et al., 2016). A pesar que son alimentos rústicos, son especies sumamente fuertes ya que toleran condiciones extremadamente difíciles y presentan un alto valor nutricional, resistencia a factores bióticos y propiedades medicinales (Surco Laos, 2004).

En Ecuador la producción de tubérculos andinos se ha enfocado principalmente en la Región Andina, debido a que es considerada como la más adecuada para el crecimiento de este tipo de alimentos, que además ofrecen una amplia variedad de nutrientes. Sin embargo, existe escasa información acerca de parámetros fisicoquímicos que son de gran utilidad en la industria alimentaria (Lata, 2011). A inicios del siglo XXI se inició el impulso en la investigación y conservación de especies olvidadas y/o subutilizadas. Ecuador es parte de uno de los mayores centros de dispersión de plantas cultivadas y por lo tanto disponen de una gran variedad de especies vegetales que se encuentran en el máximo proceso de erosión genética (Espín, 2001).

Los tubérculos son consumidos como alimento debido a su importante fuente de energía, proporcionada por el alto contenido de almidón. La mashua es el tubérculo con mayor porcentaje con un 46,9%, mientras que jícama posee la menor cantidad (10,3%) (Tabla 1). Adicionalmente, los tubérculos contienen fructuosa, glucosa, sacarosa y β -(2-1)-fructooligosacáridos (oligofruktanos tipo inulina), y estudios recientes determinaron la capacidad antioxidante debida principalmente a la presencia de triptófano y ácido clorogénico (Simonovska et al., 2003; Yan et al., 1999).

Tabla 1. Porcentaje de almidón de los tubérculos andinos en base húmeda

Tubérculo	Porcentaje (%)
Oca	42,17
Mashua	46,92
Jícama	10,3
Camote	40,54

Fuente: Espín et al. (2004), Ramírez et al. (2016)

Aunque los tubérculos poseen características físicas similares, su composición química es diferente (Tabla 2). Por ejemplo, el camote posee la mayor cantidad de carbohidratos y proteínas con un 26,3% y 1,7% respectivamente, y por ende aporta calóricamente en mayor proporción. Jícama presenta el valor más alto de grasa debido a la presencia de esteroides, saponinas y carotenoides (Cuadrado, 2004). Mientras que oca presenta mayor cantidad de fibra dietética (1%), compuesto que atenúa los niveles de colesterol y glucosa en la sangre (Escudero y González, 2006). La cantidad de ceniza es predominante en oca y camote, y está compuesta principalmente por calcio, hierro, fósforo y magnesio (Valdivia et al., 2016). Así mismo, la población indígena le concede propiedades medicinales a la mashua, debido a que alivia inflamaciones del riñón y la próstata (Aruquipa et al., 2016a; Chirinos et al., 2008).

Tabla 2. Composición química de los tubérculos andinos por cada 100g de muestra

Componente	Oca	Jícama	Mashua	Camote
Humedad (%)	84,1	87,4	86,6	69,9
Proteína	1,0	1,5	0,3	1,7
Grasa	0,6	0,7	0,3	0,4
Carbohidratos	13,3	9,8	12,3	26,3
Fibra	1,0	0,9	0,3	0,7
Ceniza	1,0	0,6	0,2	1,0
Energía (kcal)	61,0	50,0	54,0	114

Fuente: Ayala (2004), Farinu y Baik (2007)

Una opción para rescatar este tipo de cultivos es incentivar a las industrias a desarrollar nuevos productos a partir de éstos. Sin embargo, previo al diseño de productos se requieren conocer características específicas de cada especie, como por ejemplo sus componentes químicos, características físicas, nutricionales y funcionales. Estos datos permiten orientar sus usos y aplicaciones, así como predecir su comportamiento y optimizar recursos (Espín et al., 2004; Sahin y Gülüm, 2005).

Son múltiples los usos de los datos térmicos en Ingeniería de Alimentos, entre los más importantes se encuentran: cálculo de carga de calor basado en la entalpía, cálculo de flujo de calor, fijación criterios de calidad (el punto de fusión o congelación son utilizados para establecer pureza en alimentos altos en grasa y leches) y en el control de plantas industriales (Alvarado y Aguilera, 2001).

Existen diversas investigaciones que describen los valores de las propiedades térmicas en frutas, vegetales, zumos o jugos. Por ejemplo, Lata (2011), determinó propiedades térmicas en tubérculos andinos (oca y camote) mediante calorimetría a diferentes niveles de humedad. Observó que, a mayor humedad, mayor calor específico. Obteniendo valores en oca de: 911, 2728, 3347 y 3875 J/(kg×°C) a 5, 50, 70 y 100% de humedad respectivamente. En el caso de camote los valores obtenidos fueron 894, 1814, 3263 y 3699 J/(kg×°C) a las humedades mencionadas anteriormente.

J. Yang y Zhao (2001), determinaron propiedades térmicas en rábano, obteniendo valores de 290 a 479 J/(kg×°C) para calor específico, una conductividad térmica de 0,050 a 0,091 W/(m×°C) y difusividad térmica de $2,51 \times 10^{-7}$ a $3,44 \times 10^{-7}$ (m²/s).

Alvarado (1991), determinó que el calor específico en pulpas de frutas deshidratadas tiene valores de entre 1630 y 3970 J/(kg×°C), y presenta una alta correlación inversa con los constituyentes sólidos de los alimentos. Mientras que Jara (2012), determinó la conductividad térmica en pulpa de jícama en función de la humedad (75,52% a 86,79%) y temperatura (45°C a 90°C), reportando un valor mínimo de 0,304 W/(m×°C) y un valor máximo de 0,739 W/(m×°C).

Por otra parte, uno de los métodos más confiables para determinar propiedades térmicas es la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC - Differential Scanning Calorimetry). Esta es una técnica de análisis térmico empleada en la medida de flujos de calor asociados con transiciones de fases de la materia como cristalización, fusión y evaporación, o en reacciones de hidrólisis y oxidación (Márquez y Maza, 2003).

Según Sandoval et al. (2005) la técnica se basa en que la muestra y la referencia se calientan independientemente, por lo que se puede medir directamente la diferencia en flujo de calor para mantener una temperatura igual en ambas y los datos se obtienen en forma de entradas diferenciales de calor (dH/dT).

2.2. Hipótesis

2.2.1. Hipótesis nula (H₀)

Las propiedades térmicas no varían con el tipo de tubérculo en estudio (oca, jícama, mashua y camote), la forma y temperatura de determinación.

2.2.2. Hipótesis alternativa (Hi)

Las propiedades térmicas varían con el tipo de tubérculo en estudio (oca, jícama, mashua y camote), la forma y temperatura de determinación.

2.3. Señalamiento de variables

2.3.1. Variable independiente

- Tipo de tubérculo
- Forma de determinación
- Temperatura de determinación

2.3.2. Variable dependiente

- Calor específico
- Conductividad térmica
- Difusividad térmica

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Materia prima

Los diferentes tubérculos utilizados (camote, mashua, jícama y oca), fueron adquiridos en el mercado mayorista de la ciudad de Latacunga.

3.2.2. Equipos y utensilios

- Calorímetro
- Equipo de calorimetría diferencial de barrido DSC 3 Mettler-Toledo
- Balanza analítica marca Citizon
- Balanza electrónica analítica Mettler-Toledo Columbus XPE204
- Computadora marca DELL Core i5
- Cilindros de acero
- Extractor marca Oster
- Baño termostato marca Julabo 12B
- Material de vidrio: vasos de precipitación y probetas

3.2. Métodos

3.2.1. Determinación de calor específico

3.2.1.1. Calibración del calorímetro

Se utilizó el método de las mezclas, descrito por Hwang y Hayakama (1979). Se colocaron 75 ml de agua (variando entre: 4 y 12 °C) en un recipiente metálico de aluminio completamente aislado, para evitar la pérdida de calor hacia el exterior (calorímetro), y se registró la primera temperatura de equilibrio (calorímetro:agua ambiente) (Figura 1). Posteriormente se añadieron 75 ml de agua a temperatura conocida (variando entre: 30, 50 y 70°C) y se registró la segunda temperatura de equilibrio del sistema (calorímetro+agua ambiente:agua caliente).

Las temperaturas de análisis se escogieron en base al estudio realizado por Alvarado y Aguilera (2001), quienes recomiendan trabajar con agua a temperatura menor que la ambiental. Para determinar el calor específico se asumió que el calor perdido por el fluido en la segunda fase es igual al calor ganado por el primer sistema (Ecuación 1).

$$c_{p\ cal} = \frac{[m_c \times c_{p\ c} \times (T_{ci} - T_e)] - [m_f \times c_{p\ f} \times (T_e - T_{f+cal\ i})]}{m_{cal} \times (T_e - T_{f+cal\ i})} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde: $T_{f+cal\ i}$ temperatura sistema calorímetro:agua ambiente (equilibrio 1), T_c temperatura agua caliente, T_e temperatura sistema calorímetro+agua ambiente:agua caliente (equilibrio 2), c_p calor específico (J/g °C), m masa utilizada (g). Subíndices: c agua caliente, f agua ambiente, cal calorímetro.

3.2.1.2. Calor específico de la muestra

Se procedió similar al apartado 3.2.1.1, reemplazando el agua caliente con la muestra (entera y extracto) de masa y temperatura conocidas.

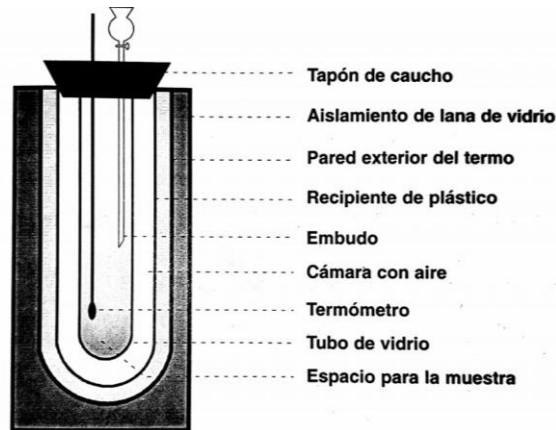


Figura 1. Esquema de un calorímetro para determinar calor específico por el método de las mezclas (Alvarado y Aguilera, 2001)

3.2.2. Determinación de conductividad térmica

Se utilizó el método de la sonda descrito por Sweat y Haugh (1974). La sonda, diseñada en acero inoxidable con un termopar tipo T y un hilo de calentamiento, se colocó dentro de un cilindro cerrado de aluminio que contenía la muestra (entera y extracto). La sonda suministró una corriente constante de 5 voltios y el termopar registró la variación de temperatura de la muestra con el tiempo.

El equipo se compone por un cilindro de aluminio (15 cm de longitud, 4 cm de diámetro interior y 2 cm de espesor). La tapa del cilindro posee un orificio por el que se introduce la sonda que suministra calor a razón de 3,16 W y registra el historial de temperatura (Figura 2) (Acurio et al., 2016). El cálculo de la conductividad térmica se realizó utilizando la Ecuación 2.

$$\frac{4 \pi \Delta T}{Q} = \frac{1}{k} \ln \frac{t_2}{t_1} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde: $\ln (t_2/t_1)$ es el logaritmo natural de la variación del tiempo; ΔT es la variación de la temperatura del alimento (°C) y Q es el calor de calentamiento (W).

La corriente establecida para el análisis se basó en el estudio de Sahin y Gülüm (2005), quienes mencionan que a 5 voltios se reducen los errores en la determinación de conductividad térmica en este método.

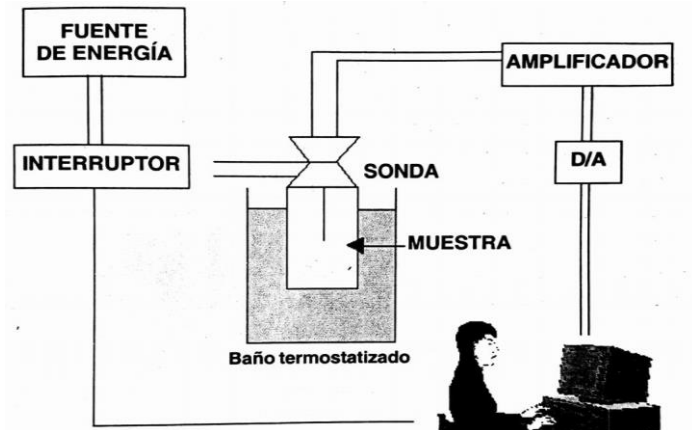


Figura 2. Dispositivo para la determinación de conductividad térmica por el método de la sonda (Alvarado y Aguilera, 2001).

3.2.3. Determinación de difusividad térmica

Se utilizó el método descrito por Dickerson (1965). En un cilindro de acero cerrado de dimensiones conocidas (radio interno: $24,75 \times 10^{-3}$ m; longitud: $248,5 \times 10^{-3}$ m) (Fig. 3), se introdujo la muestra (entero y extracto), después se cerraron los extremos del cilindro y se introdujo un termómetro tipo aguja por el eje central hasta el centro de este y se registró la temperatura inicial cuando esta fue estable.

Posteriormente, se colocó el cilindro dentro de un sistema de baño termostático, previamente estabilizado a una temperatura de trabajo determinada (50 y 80 °C) y a intervalos de un minuto se realizaron las lecturas hasta que la temperatura se equilibre. El cálculo de difusividad se realizó utilizando la Ecuación 3.

$$\alpha = \frac{0,398}{\left(\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0,427}{b^2}\right)\right)f} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde: R radio del cilindro (m); b mitad de la altura del cilindro (m) y f tiempo requerido para que la sección recta del historial de temperatura atraviese un ciclo logarítmico.

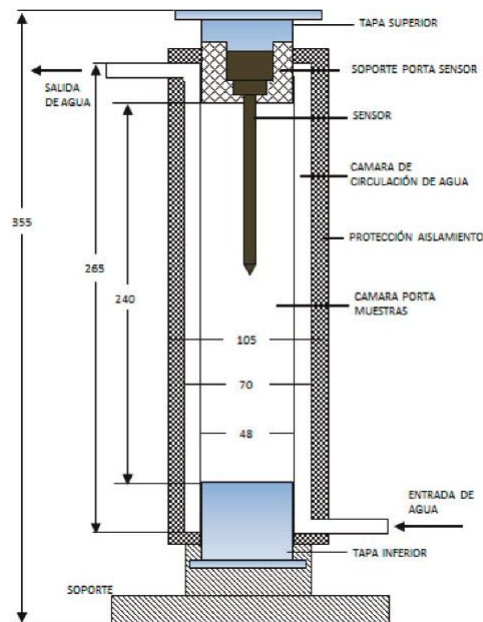


Figura 3. Esquema del cilindro de acero para medir difusividad térmica (Huamán Castilla et al., 2016)

3.2.4. Correlación entre las propiedades térmicas y la temperatura

La correlación entre propiedades térmicas y temperatura se halló mediante diseño experimental entre las variables, utilizando el software estadístico Statgraphics.

3.2.5. Determinación de propiedades térmicas por Calorimetría Diferencial de Barrido

Se utilizó la metodología descrita por Espinoza (2012) citada por Lalaleo (2017). Se pesaron aproximadamente 20 mg de muestra en crisoles de aluminio, utilizando una balanza analítica Mettler-Toledo Columbus XPE204. Los crisoles se sellaron herméticamente y se colocaron dentro del equipo de calorimetría diferencial de barrido DSC 3 Mettler-Toledo. Para el ensayo se utilizó un crisol vacío, como referencia, y tanto la referencia como las muestras fueron sometidas a un barrido de temperatura desde 30 a 150°C. La velocidad de la rampa de calentamiento fue 10 K×min⁻¹ y se utilizó nitrógeno como gas de purga a una tasa de 50 ml×min⁻¹.

El cálculo de calor específico se realizó con la fórmula descrita por Chiralt et al. (2007).

$$\frac{\frac{dQ}{dt}}{\frac{dT}{dt}} = mc_p = pendiente$$

Ecuación 4

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Calor específico

Se observan diferencias significativas entre los tubérculos en estudio (Tabla 3). Jícama presenta los valores más elevados, mientras que el camote y la oca presentan valores bajos, sin diferencia significativa entre ellos. Esto se debe a que estos dos últimos tubérculos poseen un mayor contenido de almidón (Tabla 1) y según Alvarado (1991), los constituyentes sólidos de los alimentos provocan una disminución de esta propiedad térmica. Esto explicaría, además, los valores elevados obtenidos en jícama, debido a que es el tubérculo con menor contenido de almidón. Por otra parte, se observa que los resultados experimentales guardan concordancia con los valores reportados en papa (3,362 kJ/kg×°C) por Alvarado (1989), tubérculo de composición similar a las matrices alimenticias estudiadas.

En cuanto a la temperatura se observan valores mayores a 12°C, diferentes significativamente a los obtenidos a 4°C (95% de confianza). Esta tendencia directamente proporcional con el contenido de humedad y la temperatura ha sido observada en diferentes estudios realizados en alimentos (Bitra et al., 2010; Razavi y Taghizadeh, 2007; Paul Singh y Heldman, 1998).

Por otro lado, en cuanto a la forma de determinación se observa que el extracto presenta valores más elevados, debido a que en estado líquido la porosidad disminuye, provocando un mayor flujo de calor en la matriz y como consecuencia valores de calor específico elevados (Flores y Valdez, 2006).

Con la finalidad de comparar con valores bibliográficos se calculó el calor específico utilizando la ecuación propuesta por Choi y Okos (1986), basado en la composición bibliográfica en el caso de los tubérculos enteros (Tabla 2) y con la composición calculada, mediante balance de materia, en los extractos (Anexo A.2). Se encontró diferencia significativa entre valores experimentales y bibliográficos ($p < 0,05$), debida principalmente a que la ecuación propuesta es general, por lo que permite obtener valores referenciales. Además, el método de Hwang y Hayakawa exige una calibración perfecta para obtener resultados confiables (Giraldo-Gómez et al., 2010).

Tabla 3. Calor específico (kJ/kg×°C)

Tubérculo	Temperatura (°C)	Forma de determinación	Calor específico (kJ/kg×°C)	
			Experimental	Bibliográfico
Camote	4	Entero	1,8057 ± 0,05 ^{a, m, x}	3,3944
		Extracto	2,4206 ± 0,01 ^{a, m, y}	3,8661
	12	Entero	2,1893 ± 0,09 ^{a, n, x}	3,3987
		Extracto	2,7793 ± 0,07 ^{a, n, y}	3,8678
Mashua	4	Entero	2,4314 ± 0,06 ^{b, m, x}	3,656
		Extracto	2,7755 ± 0,08 ^{b, m, y}	4,0511
	12	Entero	2,6343 ± 0,06 ^{b, n, x}	3,6588
		Extracto	3,2501 ± 0,05 ^{b, n, y}	4,0518
Jícama	4	Entero	2,5662 ± 0,04 ^{c, m, x}	3,739
		Extracto	3,5332 ± 0,12 ^{c, m, y}	4,1617
	12	Entero	3,3149 ± 0,11 ^{c, n, x}	3,7414
		Extracto	3,7100 ± 0,10 ^{c, n, y}	4,1617
Oca	4	Entero	1,6382 ± 0,04 ^{a, m, x}	3,5552
		Extracto	2,5362 ± 0,09 ^{a, m, y}	4,0102
	12	Entero	2,1844 ± 0,06 ^{a, n, x}	3,5587
		Extracto	2,8546 ± 0,09 ^{a, n, y}	4,0111

Promedio y desviación estándar de tres réplicas y tres repeticiones. Subíndices diferentes entre filas indican diferencia significativa al 95% de confianza. a, b, c: diferencias entre tipos de tubérculos; m, n: diferencias entre temperaturas; x, y: diferencias entre forma de determinación.

4.2. Conductividad térmica

Se observan diferencias significativas entre los tubérculos (Tabla 4). Jícama y mashua presentan valores de conductividad altos debido a su elevado contenido de humedad (87,4% y 86,6% respectivamente). Mientras que no se observan diferencias entre el camote y la oca, este comportamiento puede guardar concordancia con el porcentaje de almidón, debido a que es similar que ambos tubérculos (Tabla 1).

Existen diferencias significativas en cuanto a la forma de determinación, presentando el extracto valores más altos. Esto se debe a que en éste el porcentaje de humedad aumenta, debido a que ciertos componentes se retienen en el proceso de extracción (especialmente fibra). Además, Alvarado y Aguilera (2001), mencionan que los valores dependen también del porcentaje de espacios vacíos y de la corteza, esto explicaría los valores inferiores obtenidos en tubérculos enteros.

Por otro lado, la presencia de aire, en forma de porosidad en los tubérculos enteros, implica una disminución importante de conductividad, debido al bajo valor que presenta el aire en esta propiedad térmica (0,024 W/m×K). Otro de los factores que afecta la conductividad es la orientación de la fibra (Hamdami et al., 2003). En este sentido se observa que, si la fibra es de longitud corta genera mayor espacios vacíos en el alimento y esto a su vez influye en valores bajos de conductividad térmica (Khedari et al., 2001).

Los valores de conductividad térmica obtenidos experimentalmente varían notablemente frente a los reportados por Farinu y Baik (2007), quienes determinaron conductividad térmica en camote de $0,49 \pm 0,04$ W/m×K. La diferencia se debe a la temperatura en el que se realizó la determinación, ya que esta propiedad térmica tiene una relación directamente proporcional con la temperatura (Alvis et al., 2012; Gratzek y Toledo, 1993).

Los valores de conductividad térmica calculados mediante Choi y Okos (1986), se muestran en el Anexo A.2. No existen diferencias significativas entre los valores experimentales y bibliográficos debido a la confiabilidad del método de la sonda. Dicha confiabilidad fue mencionada por Mosquera (2013), quien determinó que la sonda térmica es una metodología adaptable a todo tipo de materiales y permite alcanzar una incertidumbre por debajo del 1% para sólidos y líquidos.

Tabla 4. Conductividad térmica (W/m°C)

Tubérculo	Forma de determinación	Conductividad térmica (W/m°C)	
		Experimental	Bibliográfico
Camote	Entero	$0,4091 \pm 0,01$ ^{a, x}	0,5224
	Extracto	$0,4724 \pm 0,01$ ^{a, y}	0,5727
Mashua	Entero	$0,6120 \pm 0,02$ ^{b, x}	0,5497
	Extracto	$0,7012 \pm 0,02$ ^{b, y}	0,5908
Jícama	Entero	$0,7388 \pm 0,01$ ^{b, x}	0,5602
	Extracto	$0,8227 \pm 0,02$ ^{b, y}	0,6021
Oca	Entero	$0,4571 \pm 0,01$ ^{c, x}	0,5395
	Extracto	$0,5494 \pm 0,02$ ^{c, y}	0,5866

Subíndices diferentes entre filas indican diferencia significativa al 95% de confianza: a, b, c diferencias entre tipos de tubérculos; x, y diferencias entre forma de determinación.

4.3. Difusividad térmica

Se observan diferencias significativas entre los tipos de tubérculos estudiados (Tabla 6). Jícama presentan valores de difusividad térmica elevados, mientras que la oca y el camote valores bajos, sin diferencia significativa entre ellos. Similar al efecto discutido en calor específico, el porcentaje de sólidos y humedad influyen considerablemente en esta propiedad térmica. Los sólidos presentan una relación inversamente proporcional, mientras que el contenido de humedad una relación directamente proporcional a dicha propiedad. Con respecto a este último componente, Eisenberg et al. (2005), mencionan que el agua contribuye a que la transferencia de energía sea más eficiente.

En cuanto a la variable temperatura se observan valores superiores de difusividad térmica al trabajar con un baño a 80°C, significativamente diferentes a los obtenidos a 50°C. Similar efecto se observó en concentrados de zumo de tomate (Y. Choi y Okos, 1983), helados (Cogné et al., 2003), pulpa de mango (Ortega et al., 2015), entre otros.

También se observaron diferencias significativas en la forma de determinación. Los extractos en ambas determinaciones presentan valores de difusividad térmica altos. Esto se debe a que en el extracto el mecanismo de transferencia de calor predominante es la convección. En dicho mecanismo existe un incremento en el movimiento de las partículas de forma gradual, aumentando significativamente la propagación de calor (Huamán Castilla et al., 2016).

Por otro lado, R. Singh (1982), menciona que si la densidad y el calor específico se mantienen constantes, la difusividad térmica (y por tanto la velocidad de transferencia de calor) aumentará a medida que aumente la conductividad térmica. Por el contrario, los aumentos en la densidad y la cantidad de acumulación de calor para una conductividad térmica constante, disminuirán la tasa de transferencia de calor. Es decir, la difusividad térmica es una magnitud que depende proporcionalmente de la conductividad térmica y es inversamente proporcional al calor específico y a la densidad del material (Jara, 2012). Este análisis explica los valores superiores obtenidos en los extractos, debido al descenso de densidad y aumento en la conductividad térmica. Dicho efecto ha sido observado también en extracto de yacón (Siche et al., 2012), jugo concentrado de lulo (Giraldo-Gómez et al., 2010) y jugo de caña de azúcar (Menjura y Hernández, 2013).

Los valores de difusividad térmica referenciales, calculados mediante la ecuación de Choi y Okos (1986) se muestran en el Anexo A.2. No existen diferencias significativas entre ambos valores, evidenciando la confiabilidad de la metodología utilizada.

Tabla 5. Difusividad térmica (m^2/s) experimental y bibliográfico

Tubérculo	Temperatura (°C)	Forma de determinación	Difusividad térmica (m^2/s)	
			Experimental	Bibliográfico
Camote	50	Entero	$1,00 \times 10^{-7} \pm 3,7 \times 10^{-10}$ a, m, x	$1,2021 \times 10^{-7}$
		Extracto	$1,04 \times 10^{-7} \pm 1,7 \times 10^{-9}$ a, m, y	$1,1020 \times 10^{-7}$
	80	Entero	$1,03 \times 10^{-7} \pm 2,3 \times 10^{-9}$ a, n, x	$1,0878 \times 10^{-7}$
		Extracto	$1,06 \times 10^{-7} \pm 3,6 \times 10^{-9}$ a, n, y	$1,1921 \times 10^{-7}$
Mashua	50	Entero	$1,13 \times 10^{-7} \pm 2,8 \times 10^{-9}$ b, m, x	$1,2557 \times 10^{-7}$
		Extracto	$1,53 \times 10^{-7} \pm 5,1 \times 10^{-9}$ b, m, y	$1,5417 \times 10^{-7}$
	80	Entero	$1,39 \times 10^{-7} \pm 1,3 \times 10^{-9}$ b, n, x	$1,5431 \times 10^{-7}$
		Extracto	$1,62 \times 10^{-7} \pm 1,9 \times 10^{-9}$ b, n, y	$1,6335 \times 10^{-7}$
Jícama	50	Entero	$1,41 \times 10^{-7} \pm 2,9 \times 10^{-9}$ c, m, x	$1,4761 \times 10^{-7}$
		Extracto	$1,57 \times 10^{-7} \pm 7,1 \times 10^{-9}$ c, m, y	$1,5661 \times 10^{-7}$
	80	Entero	$1,44 \times 10^{-7} \pm 1,7 \times 10^{-9}$ c, n, x	$1,5651 \times 10^{-7}$
		Extracto	$1,72 \times 10^{-7} \pm 1,2 \times 10^{-8}$ c, n, y	$1,6596 \times 10^{-7}$
Oca	50	Entero	$1,05 \times 10^{-7} \pm 3,9 \times 10^{-9}$ d, m, x	$1,1345 \times 10^{-7}$
		Extracto	$1,15 \times 10^{-7} \pm 3,6 \times 10^{-9}$ d, m, y	$1,2320 \times 10^{-7}$
	80	Entero	$1,08 \times 10^{-7} \pm 1,2 \times 10^{-9}$ d, n, x	$1,1209 \times 10^{-7}$
		Extracto	$1,38 \times 10^{-7} \pm 2,2 \times 10^{-9}$ d, n, y	$1,4234 \times 10^{-7}$

Subíndices diferentes entre filas indican diferencia significativa al 95% de confianza. a, b, c diferencias entre tubérculos; m, n diferencias entre temperaturas; x, y diferencias entre forma de determinación.

4.4. Correlaciones entre propiedades térmicas y temperatura

4.4.1. Correlación entre calor específico y temperatura

En la Tabla 7 se muestran las ecuaciones de correlación de calor específico frente a la temperatura, obtenidas mediante el programa estadístico Statgraphics. Todas las ecuaciones presentan tendencia lineal ascendente, evidenciando que el aumento de la temperatura influye directamente al aumento del calor específico. Además, se observa mayor razón de aumento en los tubérculos enteros, a excepción de la mashua.

Tabla 6. Ecuaciones de correlación entre calor específico y temperatura

Tubérculo	Calor específico	
	Entero	Extracto
Camote	$c_p = 1,6139 + 0,0477 T$	$c_p = 2,2413 + 0,0448 T$
Mashua	$c_p = 2,3299 + 0,0253 T$	$c_p = 2,5382 + 0,0593 T$
Jícama	$c_p = 2,1919 + 0,0935 T$	$c_p = 3,4448 + 0,0221 T$
Oca	$c_p = 1,3651 + 0,0683 T$	$c_p = 2,377 + 0,0398 T$

4.4.2. Correlación entre difusividad y temperatura

En la Tabla 8 se muestran las ecuaciones de correlación para difusividad térmica frente a la temperatura obtenidas mediante el programa estadístico Statgraphics. Similar a las ecuaciones determinadas en calor específico, todas las ecuaciones presentan tendencia lineal ascendente. Se observa mayor razón de aumento en la difusividad en tubérculos enteros para el camote y la mashua, y tendencia contraria en jícama y oca.

Tabla 7. Ecuaciones de correlación entre difusividad térmica y temperatura

Tubérculo	Difusividad térmica	
	Entero	Extracto
<i>Camote</i>	$\alpha = 9,5 \times 10^{-8} + 1 \times 10^{-10} T$	$\alpha = 1,01 \times 10^{-7} + 6,67 \times 10^{-11} T$
<i>Mashua</i>	$\alpha = 6,97 \times 10^{-8} + 8,7 \times 10^{-10} T$	$\alpha = 1,36 \times 10^{-7} + 3,33 \times 10^{-10} T$
<i>Jícama</i>	$\alpha = 1,36 \times 10^{-7} + 1 \times 10^{-10} T$	$\alpha = 1,32 \times 10^{-7} + 5 \times 10^{-10} T$
<i>Oca</i>	$\alpha = 1 \times 10^{-7} + 1 \times 10^{-10} T$	$\alpha = 7,67 \times 10^{-8} + 7,67 \times 10^{-10} T$

4.5. Determinación de propiedades térmicas mediante Calorimetría Diferencial de Barrido

Debido a que los valores de calor específico obtenidos mediante el método de Hwang y Hayakawa (1979), presentaron variaciones considerables frente a los valores referenciales, se optó por determinar el valor de esta propiedad térmica mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). Ésta una técnica de costo elevado pero es la mejor alternativa para la determinación de esta propiedad térmica. Las curvas resultantes del análisis se muestran en la Figura 5.

Utilizando la metodología propuesta por Chiralt et al. (2007), se determinó el calor específico de los tubérculos en estudio (Tabla 8). Los valores obtenidos son similares a los calculados bibliográficamente con la ecuación propuesta por Choi y Okos (1986) (Tabla 3). Además, guardan concordancia con lo discutido previamente en el literal 4.1; es decir, la mashua presenta calor específico superior al camote y la oca. Por otra parte, en el camote se observa una línea base posterior al proceso de gelatinización, en este punto el calor específico posee un valor de 2,98 (kJ/kg×°C). El aumento en magnitud se debe a que el calentamiento genera modificaciones en la estructura del almidón, volviéndolo más soluble (Coello y Garcés, 2012).

Tabla 8. Calor específico obtenido con DSC

Tubérculo	c_p (kJ/kg×°C)
<i>Camote</i>	2,0997 ± 0,01
<i>Mashua</i>	3,6199 ± 0,13
<i>Oca</i>	2,6920 ± 0,01

Los termogramas resultantes mostraron picos endotérmicos a 62, 63 y 72°C para la oca, la mashua y el camote respectivamente (Figura 4). Debido a la composición de los tubérculos y a la temperatura se deduce que el pico representa el proceso de gelatinización del almidón. Este proceso involucra una transición de orden-desorden que sufre el almidón sometido a calentamiento, mismo que tiene impacto en el procesamiento y estabilidad de los productos (Liu y Thompson, 1998; Sandhu y Singh, 2007). En el caso de el camote, la temperatura superior refleja mayor estabilidad interna del almidón asociada a un mayor contenido de amilosa (Rapelo et al., 2013).

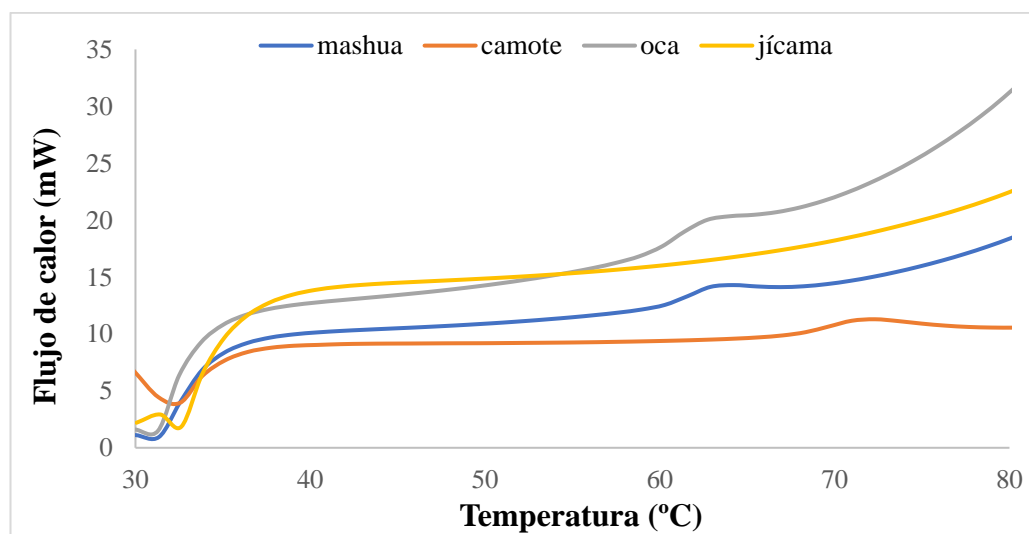


Figura 4. Termogramas de los cuatro tubérculos en estudio

Como se observa en la Figura 6, la jícama no presentó cambios de fase en la rampa de temperatura analizada (30 a 150 °C). La ausencia de cambio se debe al bajo porcentaje de almidón que esta matriz presenta (Tabla 2), mismo que no es suficiente para ser detectado mediante la metodología utilizada. Según Tirado et al. (2016), en muestras con composición similar utilizan la misma metodología, sin embargo, sugieren que la fase de calentamiento se de a un intervalo de 20 a 120 °C o menor. La jícama tiene el mayor porcentaje de agua en su composición y es muy importante que el contenido de agua de las muestras permanezca constante antes de la determinación de la transición, puesto que la cantidad de agua tiene una gran influencia en la temperatura a la que se produce la transición (Coello y Garcés, 2012).

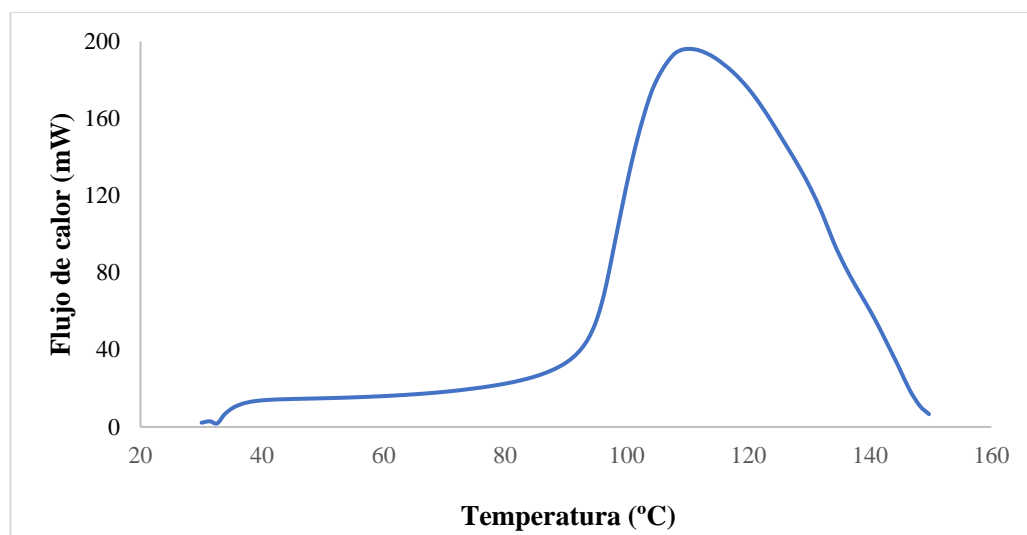


Figura 5. Termograma de jícama

Se determinó la entalpía asociada a la gelatinización del almidón utilizando la referencia citada en Chiralt et al. (2007). Los valores determinados (Tabla 9) guardan concordancia con los reportados por Li y Yeh (2001) para diferentes tipos de raíces y tubérculos (entre 64,4 y 76,2°C). En el caso de entalpía los valores reportados (12 a 16,8 J/g) son superiores a los obtenidos experimentalmente; esto puede deberse a que las muestras se analizaron en fresco, y según (Pineda-Gómez et al. (2010)), la entalpía de gelatinización disminuye al aumentar la humedad de la muestra.

Tabla 9. Temperaturas y entalpías

Tubérculo	T. inicial (°C)	T. pico (°C)	T. final (°C)	Entalpía (mJ/mg)
<i>Camote</i>	67,66	71,81	77,99	1,4716
<i>Mashua</i>	60,44	63,32	67,39	1,3477
<i>Oca</i>	58,79	62,72	68,39	2,0375

4.6. Verificación de la hipótesis

Una vez realizados los estudios correspondientes, se acepta la hipótesis alternativa debido a que las propiedades térmicas de los tubérculos variaron significativamente entre el tipo de tubérculo, forma de determinación y temperatura evaluadas; siendo la forma de determinación y temperatura los parámetros que más influyeron en las propiedades térmicas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El calor específico presenta una relación directamente proporcional con la temperatura y con el porcentaje de humedad, debido a ésta última relación la jícama presenta la mayor capacidad calorífica, seguida de la mashua y la oca. Además, esta propiedad térmica arroja valores superiores al trabajar en extracto debido a que los constituyentes sólidos y la porosidad de los alimentos provocan una disminución en su magnitud.
- Se observa correlación entre la humedad y la conductividad térmica, obteniendo valores mayores en jícama y mashua, tubérculos con mayor porcentaje de agua. No se observan diferencias entre el camote y la oca, y este comportamiento tiene relación con el porcentaje similar de almidón que ambos tubérculos presentan.
- Los sólidos presentan una relación inversamente proporcional, mientras que el contenido de humedad una relación directamente proporcional con la difusividad térmica. Además, depende proporcionalmente de la conductividad térmica y es inversamente proporcional al calor específico y a la densidad del material.
- Todas las propiedades térmicas presentan valores superiores al trabajar en extracto, puesto que en estado líquido la transferencia de calor se da predominantemente por convección, mecanismo en el que existe un incremento en el movimiento de las partículas de forma gradual, aumentando significativamente la propagación de calor. Además, la porosidad de los tubérculos enteros, debida principalmente a la orientación de la fibra, genera valores bajos en las propiedades térmicas.
- Calor específico y difusividad térmica presentan una relación lineal directamente proporcional con la temperatura, mostrando mayor razón de incremento al trabajar con tubérculos enteros en la mayoría de los casos.

- Los valores de conductividad y difusividad térmicas, calculados mediante ecuaciones referenciales, no son diferentes significativamente con los valores experimentales debido a la confiabilidad de la metodología utilizada para cada caso; mientras que el calor específico muestra variaciones debido a que el método de Hwang y Hayakawa exige una calibración perfecta para obtener resultados confiables.
- Los valores obtenidos mediante Calorimetría Diferencial de Barrido son similares a los calculados mediante ecuaciones referenciales. Los termogramas resultantes de este análisis mostraron picos endotérmicos relacionados con la gelatinización del almidón. Este proceso presentó valores de entalpía inferiores a los reportados en bibliografía; la diferencia se debió a que las muestras se analizaron en fresco y esta propiedad disminuye en magnitud al aumentar la humedad de la muestra.

5.2. Recomendaciones

- En vista de que la temperatura es un factor que influye de manera significativa en las propiedades térmicas, se recomienda trabajar a más temperaturas con la finalidad de establecer mejores correlaciones matemáticas.
- Ampliar los tubérculos andinos de estudio con la finalidad de establecer patrones de comportamiento en función de la composición y el área de producción.
- Ensayar diferentes metodologías para determinar la temperatura de gelatinización del almidón de jícama mediante Calorimetría Diferencial de Barrido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abhayawick, L., Laguerre, J., Tauzin, V., y Duquenoy, A. (2002). Physical properties of three onion varieties as affected by the moisture content. *Journal of food engineering*, 55(3), 253-262.
- AbuDagga, Y., y Kolbe, E. (1997). Thermophysical properties of surimi paste at cooking temperature. *Journal of food engineering*, 32(3), 325-337.
- Acurio, L., Zamora, A., Salazar, D., Pérez, L., y Valencia, A. (2016). Propiedades físicas, químicas, térmicas y nutricionales de la badea (*Passiflora quadrangularis*). *Agroindustrial Science*, 5(2), 95-101.
- Ali, S., Ramaswamy, H., y Awuah, G. (2002). Thermo-physical properties of selected vegetables as influenced by temperature and moisture content. *Journal of food process engineering*, 25(5), 417-433.
- Alvarado, J. (1989). Determinación de propiedades físicas y térmicas en aceites, jugo, pulpa de hortalizas y frutas cultivadas en Ecuador. Ambato-Ecuador: UTA-CONUEP.
- Alvarado, J. (1991). Specific heat of dehydrated pulps of fruits. *Journal of food process engineering*, 14(3), 189-196.
- Alvarado, J. (2013). *Principios de Ingeniería aplicados a alimentos* (Segunda ed.). Quito - Ecuador.
- Alvarado, J., y Aguilera, J. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas en alimentos*. Zaragoza, España: Acribia S.A.
- Alvis, A., Caicedo, I., y Peña, P. (2012). Determinación de Propiedades Termofísicas de Alimentos en Función de la Concentración y la Temperatura empleando un Programa Computacional. *Información tecnológica*, 23(1), 111-116.
- Aruquipa, R., Trigo, R., Bosque, H., Mercado, G., y Condori, J. (2016a). El Isaño (*Tropaeolum tuberosum*) un cultivo de consumo y medicina tradicional en

- Huatacana para el beneficio de la población boliviana. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3, 146.
- Aruquipa, R., Trigo, R., Bosque, H., Mercado, G., y Condori, J. (2016b). Isaño (*Tropaeolum tuberosum*) a traditional alimentary and medicinal crop in Huatacana, for the benefit of the bolivian population. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3, 146.
- Ayala, G. (2004). Aporte de los cultivos andinos a la nutrición humana. *Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento ya la capacitación. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.* p, 101-112.
- Barrera, B., Tapia, C., y Monteros, A. (2003). Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. *Iniap*, 3-15.
- Bitra, V. S., Banu, S., Ramakrishna, P., Narender, G., y Womac, A. R. (2010). Moisture dependent thermal properties of peanut pods, kernels, and shells. *Biosystems Engineering*, 106(4), 503-512.
- Bonete, M., Urquiza, C., Guevara, R., y Yáñez, P. (2016). Estudio de cuatro tubérculos y raíces tuberosas no tradicionales de la sierra centro de Ecuador y su potencial de uso en platos de autor. *Qualitas*, 12, 37-67.
- Califano, A. N., y Calvelo, A. (1991). Thermal conductivity of potato between 50 and 100 C. *Journal of Food Science*, 56(2), 586-587.
- Clavijo, N., y Pérez, M. (2014). Tubérculos andinos y conocimiento agrícola local en comunidades rurales de Ecuador y Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 11(74), 149-166.
- Coello, V., y Garcés, C. (2012). *Análisis de Propiedades Térmicas durante Gelatinización en tres variedades de arroz INIAP aplicando el Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC)*. TESIS DE LICENCIATURA: ECUADOR GUAYAQUIL: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

- Cogné, C., Andrieu, J., Laurent, P., Besson, A., y Nocquet, J. (2003). Experimental data and modelling of thermal properties of ice creams. *Journal of food engineering*, 58(4), 331-341.
- Coimbra, J. S., Gabas, A. L., Minim, L. A., Rojas, E. E. G., Telis, V. R., y Telis-Romero, J. (2006). Density, heat capacity and thermal conductivity of liquid egg products. *Journal of food engineering*, 74(2), 186-190.
- Condori, B., Hijmans, R. J., Ledent, J. F., y Quiroz, R. (2014). Managing potato biodiversity to cope with frost risk in the high andes: a modeling perspective. *PloS one*, 9(1), e81510.
- Cruz, G., Ribotta, P., Ferrero, C., y Iturriaga, L. (2016). Physicochemical and rheological characterization of Andean tuber starches: Potato (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigenum*), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and Papalisa (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Starch-Stärke*, 68(11-12), 1084-1094.
- Cuadrado, L. (2004). *Estudio bromatológico y fitoquímico de la jicama (Smallanthus sonchifolia) para determinar el tiempo óptimo de cosecha*. Universidad Politécnica del Chimborazo, Riobamba - Ecuador.
- Chiralt, A., Martínez, N., Gonzáles, C., Talens, P., y Moraga, G. (2007). *Propiedades físicas de los alimentos* (Universidad Politécnica de Valencia ed.). Valencia, España.
- Chirinos, R., Campos, D., Arbizu, C., Rogez, H., Rees, J. F., Larondelle, Y., . . . Cisneros-Zevallos, L. (2007). Effect of genotype, maturity stage and post-harvest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity, of Andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(3), 437-446.
- Chirinos, R., Campos, D., Costa, N., Arbizu, C., Pedreschi, R., y Larondelle, Y. (2008). Phenolic profiles of andean mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz & Pavón) tubers: Identification by HPLC-DAD and evaluation of their antioxidant activity. *Food Chemistry*, 106(3), 1285-1298.

- Choi, y Okos. (1986). Effects of temperature and composition on the thermal properties of food. *Food engineering and process applications*, 93-101.
- Choi, Y., y Okos, M. (1983). The thermal properties of tomato juice concentrates. *Transactions of the ASAE*, 26(1), 305-0311.
- Datta, A. K. (2002). *Biological and bioenvironmental heat and mass transfer*: CRC Press.
- Dickerson, R. (1965). An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods. *Food Technology*, 19(5), 198-204.
- Eisenberg, D., Eisenberg, D. S., y Kauzmann, W. (2005). *The structure and properties of water*: Oxford University Press on Demand.
- El Comercio. (2017). Los indígenas recuperan los tubérculos andinos. from <https://www.elcomercio.com/tendencias/indigenas-recuperacion-tuberculos-andinos-intercultural.html>
- Escudero, E., y González, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición hospitalaria*, 21, 61-72.
- Espín, S. (2001). Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces y tubérculos andinos.
- Espín, S., Villacrés, E., y Brito Grandes, B. (2004). Caracterización físico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos.
- Espinoza, R. (2012). Relación entre el contenido de fósforo y algunas propiedades térmicas y reológicas en almidón de papa nativa de Chiloé. *Universidad Austral de Chile*. 34p.
- Farinu, A., y Baik, O.-D. (2007). Thermal properties of sweet potato with its moisture content and temperature. *International Journal of Food Properties*, 10(4), 703-719.

- Fasina, O., y Sokhansanj, S. (1996). Estimation of moisture diffusivity coefficient and thermal properties of alfalfa pellets. *Journal of agricultural engineering research*, 63(4), 333-343.
- Flores, H., y Valdez, S. (2006). Determinaciones termogravimétricas y de calor específico de un concentrado comercial de ulexita, entre temperatura ambiente y 1.000 °C. *Revista de metalurgia*, 42(6), 404-408.
- Gharibzahedi, S. M. T., Ghahderijani, M., y Lajevardi, Z. S. (2014). Specific heat, thermal conductivity and thermal diffusivity of red lentil seed as a function of moisture content. *Journal of food processing and preservation*, 38(4), 1807-1811.
- Giraldo-Gómez, G. I., Gabas, A. L., Telis, V. R. N., y Telis-Romero, J. (2010). Propiedades termofísicas del jugo concentrado de lulo a temperaturas por encima del punto de congelación. *Food Science and Technology (Campinas)*, 30, 90-95.
- Gratzek, J., y Toledo, R. (1993). Solid food thermal conductivity determination at high temperatures. *Journal of Food Science*, 58(4), 908-913.
- Gut, J. A. W., Pinto, J., Gabas, A. L., y Telis-Romero, J. (2005). Continuous pasteurization of egg yolk: thermophysical properties and process simulation. *Journal of food process engineering*, 28(2), 181-203.
- Hamdami, N., Monteau, J.-Y., y Le Bail, A. (2003). Effective thermal conductivity of a high porosity model food at above and sub-freezing temperatures. *International Journal of Refrigeration*, 26(7), 809-816. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(03\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(03)00051-3)
- Hu, X., y Mallikarjunan, P. (2005). Thermal and dielectric properties of shucked oysters. *LWT-Food Science and Technology*, 38(5), 489-494.
- Huamán Castilla, N. L., Yupanqui, G., Allcca, E., y Allcca, G. (2016). Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la difusividad térmica en granos andino. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(3), 259-271.

- Hwang, M. P., y Hayakama, K. I. (1979). A specific heat calorimeter for foods. *Journal of Food Science*, 44(2), 435-448.
- Jara, R. (2012). Determinación de la conductividad térmica de la pulpa del yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en función de la humedad y la temperatura.
- Jiménez, M. E., Rossi, A., y Sammán, N. (2015). Health properties of oca (*Oxalis tuberosa*) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Food & function*, 6(10), 3266-3274.
- Khedari, J., Suttisonk, B., Pratinthong, N., y Hirunlabh, J. (2001). New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. *Cement and Concrete Composites*, 23(1), 65-70.
- Kumcuoglu, S., Turgut, A., y Tavman, S. (2010). The effects of temperature and muscle composition on the thermal conductivity of frozen meats. *Journal of food processing and preservation*, 34(3), 425-438.
- Lalaleo, D. J. (2017). *Caracterización reológica de suspensiones elaboradas a partir de harina y residuos de banano de rechazo*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos.
- Lata, P. (2011). *Determinación de propiedades térmicas en tubérculos andinos mediante calorimetría*. Universidad del Azuay.
- Li, J.-Y., y Yeh, A.-I. (2001). Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. *Journal of food engineering*, 50(3), 141-148.
- Liu, Q., y Thompson, D. B. (1998). Effects of moisture content and different gelatinization heating temperatures on retrogradation of waxy-type maize starches. *Carbohydrate Research*, 314(3-4), 221-235.
- Magerramov, M., Abdulagatov, A., Azizov, N., y Abdulagatov, I. (2006). Thermal Conductivity of Pear, Sweet-cherry, Apricot, and Cherry-plum Juices as a Function of Temperature and Concentration. *Journal of Food Science*, 71(5).

- Mamani, I. (2015). Modeling of Thermal Properties of Persian Walnut Kernel as a Function of Moisture Content and Temperature Using Response Surface Methodology. *Journal of food processing and preservation*, 39(6), 2762-2772.
- Márquez, A., y Maza, G. (2003). Aplicación de la calorimetría diferencial de barrido (CDB) en la caracterización del aceite de oliva virgen. *Grasas y aceites*, 54(4), 403-409.
- Menjura, O. A. M., y Hernández, H. E. (2013). Análisis experimental de la evaporación del jugo de caña de azúcar en película sobre una placa plana. *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14(2), 113-127.
- Mosquera, P. (2013). *Medida de la conductividad térmica con el método de la aguja térmica, basado en la fuente lineal de calor transitorio, para su aplicación en los cerramientos de adobes y bloques de tierra comprimida*. Arquitectura.
- Ngadi, M. O., Mallikarjunan, P., Chinnan, M. S., Radhakrishnan, S., y Hung, Y. C. (2000). Thermal properties of shrimps, French toasts and breading. *Journal of food process engineering*, 23(1), 73-87.
- Oki, T., Masuda, M., Furuta, S., Nishiba, Y., Terahara, N., y Suda, I. (2002). Involvement of anthocyanins and other phenolic compounds in radical-scavenging activity of purple-fleshed sweet potato cultivars. *Journal of Food Science*, 67(5), 1752-1756.
- Ortega, F., Salcedo, E., Arrieta, R., y Torres, R. (2015). Efecto de la temperatura y concentración sobre las propiedades reológicas de la pulpa de mango variedad Tommy Atkins. *Revista Ion*, 28(2).
- Perussello, C. A., Kumar, C., de Castilhos, F., y Karim, M. (2014). Heat and mass transfer modeling of the osmo-convective drying of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). *Applied Thermal Engineering*, 63(1), 23-32.
- Pineda-Gómez, P., Coral, D., Arciniegas, M., Rorales-Rivera, A., y Rodríguez García, M. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y ciencia*, 6(11).

- Ramaswamy, H. S., y Marcotte, M. (2005). *Food Processing: Principles and Applications*: CRC Press.
- Ramírez, M., Silva, Z., Calderón, G., Ribotta, P., Barrera, G., y Salgado, M. (2016). Caracterización micro estructural de almidón proveniente de jícama (*Pachyrhizus erosus*) *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* (Vol. 1, pp. 412-416).
- Rapelo, A. T., Castillo, P. M. M., y Lengua, M. D. (2013). Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). *Revista Lasallista de investigación*, 10(2), 18.
- Razavi, S. M., y Taghizadeh, M. (2007). The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature, and variety. *Journal of food engineering*, 79(1), 158-167.
- Rumbaoa, R. G. O., Cornago, D. F., y Geronimo, I. M. (2009). Phenolic content and antioxidant capacity of Philippine sweet potato (*Ipomoea batatas*) varieties. *Food Chemistry*, 113(4), 1133-1138.
- Sahin, S., y Gülüm, S. (2005). *Physical properties of foods* (First ed.). Ankara, Turkey: Springer.
- Sandhu, K. S., y Singh, N. (2007). Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, 101(4), 1499-1507.
- Sandoval, A., Rodríguez, E., y Fernández, A. (2005). Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Dyna*, 72(146).
- Senplades. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 - 2017* Vol. 1. Retrieved from <http://www.buenvivir.gob.ec/69>
- Shrivastava, M., y Datta, A. (1999). Determination of specific heat and thermal conductivity of mushrooms (*Pleurotus florida*). *Journal of food engineering*, 39(3), 255-260.

- Siche, R., Armas, V., Lezama, R., Iparraguirre, R., y Corcuera, A. (2012). Aumento ebulloscópico de extracto de jugo de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y determinación de gráficas de Dühring. *Agroindustrial Science*, 2(2), 146-152.
- Simonovska, B., Vovk, I., Andrenšek, S., Valentová, K., y Ulrichová, J. (2003). Investigation of phenolic acids in yacón (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. *Journal of chromatography A*, 1016(1), 89-98.
- Singh, P., y Heldman, D. (1998). *Introducción a la ingeniería de los alimentos* (Segunda ed.): Acribia S.A.
- Singh, P., Singh, R., Bhamidipati, S., Singh, S., y Barone, P. (1997). Thermophysical properties of fresh and roasted coffee powders. *Journal of food process engineering*, 20(1), 31-50.
- Singh, R. (1982). Thermal diffusivity in food processing. *Food Technol*, 36, 87-91.
- Surco Laos, F. A. (2004). Caracterización de almidones aislados de tuberculos andinos: mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus tuberosus*) para su aplicación tecnológica.
- Sweat, V., y Haugh, C. (1974). A thermal conductivity probe for small food samples. *Transactions of the ASAE*, 17(1), 56-0058.
- Takenaka, M., Yan, X., Ono, H., Yoshida, M., Nagata, T., y Nakanishi, T. (2003). Caffeic acid derivatives in the roots of yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 793-796.
- Tapia, M., y Fries, A. (2007). *Guía de campo de cultivos andinos* (Primera ed.). Lima-Perú: Cadmo Rosell.
- Tirado, J., Zamudio, P., Ornelas, J., Rios, C., Acosta, C., Gutiérrez, F., . . . Salgado, R. (2016). Efecto del método de aislamiento y el estado de madurez en las propiedades fisicoquímicas, estructurales y reológicas de almidón de manzana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2).

- Valdivia, G., Devaux, A., Gonzáles, S., Herbas, J., y Hijmans, R. J. (2016). Desarrollo y producción de Oca (*Oxalis tuberosa*) e Isano (*Tropaeolum tuberosum*) bajo dos niveles de fertilización. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 11(1), 121-135.
- Wang, L., Zhou, X., y Wei, X. (2007). *Heat Conduction: Mathematical Models and Analytical Solutions*: Springer Berlin Heidelberg.
- Wilhelm, Luther, R., Dwayne, A., Suter, y Gerald, H. (2004). *Physical properties of food materials*. St. Joseph, Michigan: ASAE.
- Yan, X., Suzuki, M., Ohnishi-Kameyama, M., Sada, Y., Nakanishi, T., y Nagata, T. (1999). Extraction and Identification of Antioxidants in the Roots of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of agricultural and Food Chemistry*, 47(11), 4711-4713.
- Yang, Sokhansanj, S., Tang, J., y Winter, P. (2002). PH—Postharvest Technology: Determination of Thermal Conductivity, Specific Heat and Thermal Diffusivity of Borage Seeds. *Biosystems Engineering*, 82(2), 169-176. doi: <https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0066>
- Yang, J., y Zhao, Y. (2001). Thermal properties of radish and alfalfa seeds. *Journal of food process engineering*, 24(5), 291-313.

ANEXOS

ANEXO A. DATOS EXPERIMENTALES Y REFERENCIALES

A.1. Datos experimentales

Tabla 10. Valores de calor específico (kJ/kg×°C) obtenidos experimentalmente

Tubérculo	Temperatura (°C)	Forma	R₁	R₂	R₃	Promedio	Desviación
<i>Camote</i>	4	<i>Entero</i>	1,8584	1,7892	1,7695	1,8057	0,0466
		<i>Extracto</i>	2,4268	2,4230	2,4121	2,4206	0,0076
	12	<i>Entero</i>	2,1192	2,1626	2,2860	2,1893	0,0865
		<i>Extracto</i>	2,7205	2,7584	2,8589	2,7793	0,0715
<i>Mashua</i>	4	<i>Entero</i>	2,3714	2,4910	2,4318	2,4314	0,0598
		<i>Extracto</i>	2,8185	2,8234	2,6845	2,7755	0,0788
	12	<i>Entero</i>	2,7022	2,6102	2,5904	2,6342	0,0596
		<i>Extracto</i>	3,2496	3,2969	3,2036	3,2500	0,0467
<i>Jícama</i>	4	<i>Entero</i>	2,6127	2,5407	2,5452	2,5662	0,0403
		<i>Extracto</i>	3,4036	3,5687	3,6273	3,5332	0,1159
	12	<i>Entero</i>	3,1841	3,3929	3,3677	3,3149	0,1139
		<i>Extracto</i>	3,8197	3,6548	3,6556	3,7100	0,0949
<i>Oca</i>	4	<i>Entero</i>	1,6319	1,6783	1,6044	1,6382	0,0373
		<i>Extracto</i>	2,4737	2,4980	2,6368	2,5362	0,0879
	12	<i>Entero</i>	2,2543	2,1385	2,1604	2,1844	0,0615
		<i>Extracto</i>	2,7604	2,8544	2,94888	2,8546	0,0942

Tabla 11. Valores de conductividad térmica (W/m×°C) obtenidos experimentalmente

Tubérculo	Forma de determinación	R1	R2	R3	Promedio	Desviación
<i>Camote</i>	<i>Entero</i>	0,4212	0,3987	0,4075	0,4091	0,01
	<i>Extracto</i>	0,4578	0,4811	0,4784	0,4724	0,01
<i>Mashua</i>	<i>Entero</i>	0,5932	0,6154	0,6273	0,6120	0,02
	<i>Extracto</i>	0,6898	0,7214	0,6923	0,7012	0,02
<i>Jícama</i>	<i>Entero</i>	0,7416	0,7512	0,7235	0,7388	0,01
	<i>Extracto</i>	0,8432	0,7956	0,8294	0,8227	0,02
<i>Oca</i>	<i>Entero</i>	0,4477	0,4614	0,4623	0,4571	0,01
	<i>Extracto</i>	0,5523	0,5311	0,5647	0,5494	0,02

Tabla 12. Valores obtenidos de difusividad térmica (m^2/s) obtenidos experimentalmente

Tubérculo	Forma	Temperatura	R1	R2	R3	Promedio	Desviación
<i>Camote</i>	<i>Entero</i>	50	$1,01 \times 10^{-7}$	$9,99 \times 10^{-8}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$3,70 \times 10^{-10}$
		80	$1,03 \times 10^{-7}$	$1,02 \times 10^{-7}$	$1,07 \times 10^{-7}$	$1,04 \times 10^{-7}$	$2,27 \times 10^{-9}$
	<i>Extracto</i>	50	$1,03 \times 10^{-7}$	$1,04 \times 10^{-7}$	$1,06 \times 10^{-7}$	$1,04 \times 10^{-7}$	$1,74 \times 10^{-9}$
		80	$1,04 \times 10^{-7}$	$1,06 \times 10^{-7}$	$1,10 \times 10^{-7}$	$1,07 \times 10^{-7}$	$3,59 \times 10^{-9}$
<i>Mashua</i>	<i>Entero</i>	50	$1,11 \times 10^{-7}$	$1,14 \times 10^{-7}$	$1,17 \times 10^{-7}$	$1,14 \times 10^{-7}$	$2,82 \times 10^{-9}$
		80	$1,38 \times 10^{-7}$	$1,40 \times 10^{-7}$	$1,41 \times 10^{-7}$	$1,40 \times 10^{-7}$	$1,33 \times 10^{-9}$
	<i>Extracto</i>	50	$1,50 \times 10^{-7}$	$1,51 \times 10^{-7}$	$1,59 \times 10^{-7}$	$1,53 \times 10^{-7}$	$5,06 \times 10^{-9}$
		80	$1,61 \times 10^{-7}$	$1,64 \times 10^{-7}$	$1,61 \times 10^{-7}$	$1,62 \times 10^{-7}$	$1,92 \times 10^{-9}$
<i>Jícama</i>	<i>Entero</i>	50	$1,43 \times 10^{-7}$	$1,43 \times 10^{-7}$	$1,38 \times 10^{-7}$	$1,41 \times 10^{-7}$	$2,93 \times 10^{-9}$
		80	$1,47 \times 10^{-7}$	$1,44 \times 10^{-7}$	$1,44 \times 10^{-7}$	$1,45 \times 10^{-7}$	$1,65 \times 10^{-9}$
	<i>Extracto</i>	50	$1,60 \times 10^{-7}$	$1,64 \times 10^{-7}$	$1,50 \times 10^{-7}$	$1,58 \times 10^{-7}$	$7,07 \times 10^{-9}$
		80	$1,84 \times 10^{-7}$	$1,60 \times 10^{-7}$	$1,73 \times 10^{-7}$	$1,73 \times 10^{-7}$	$1,18 \times 10^{-8}$
<i>Oca</i>	<i>Entero</i>	50	$1,05 \times 10^{-7}$	$1,10 \times 10^{-7}$	$1,02 \times 10^{-7}$	$1,06 \times 10^{-7}$	$3,98 \times 10^{-9}$
		80	$1,06 \times 10^{-7}$	$9,86 \times 10^{-8}$	$1,21 \times 10^{-7}$	$1,09 \times 10^{-7}$	$1,16 \times 10^{-8}$
	<i>Extracto</i>	50	$1,19 \times 10^{-7}$	$1,13 \times 10^{-7}$	$1,15 \times 10^{-7}$	$1,16 \times 10^{-7}$	$3,57 \times 10^{-9}$
		80	$1,36 \times 10^{-7}$	$1,39 \times 10^{-7}$	$1,40 \times 10^{-7}$	$1,38 \times 10^{-7}$	$2,17 \times 10^{-9}$

A.2. Datos referenciales determinados mediante las ecuaciones de Choi y Okos (1986)

Tabla 13. Calor específico (kJ/kg×°C) calculado con Choi y Okos para tubérculos enteros

	C_{pi}	Jícama	Mashua	Oca	Camote
C _p agua	4,1759	3,4744	3,3282	3,1695	2,9190
C _p carbohidratos	1,5715	0,2410	0,2517	0,3082	0,4094
C _p proteínas	2,0225	0,0072	0,0378	0,0399	0,0342
C _p grasa	2,0012	0,0072	0,0175	0,0167	0,0080
C _p ceniza	1,1147	0,0026	0,0068	0,0095	0,0110
C _p fibra	1,8672	0,0067	0,0139	0,0115	0,0130
c_p (kJ/kg×°C)		3,7390	3,6560	3,5552	3,3945

Tabla 14. Calor específico (kJ/kg×°C) calculado con Choi y Okos para tubérculos en extracto

	C_{pi}	Jícama	Mashua	Oca	Camote
C _p agua	4,1759	4,1525	3,9696	3,9028	3,6723
C _p carbohidratos	1,5715	0,0058	0,0483	0,0767	0,1488
C _p proteínas	2,0225	0,0012	0,0129	0,0135	0,0153
C _p grasa	2,0012	0,0012	0,0090	0,0096	0,0072
C _p ceniza	1,1147	0,0005	0,0036	0,0013	0,0044
C _p fibra	1,8672	0,0004	0,0078	0,0063	0,0182
c_p (kJ/kg×°C)		4,1617	4,0511	4,0102	3,8661

Tabla 15. Conductividad térmica (W/m°C) calculado con Choi y Okos para tubérculos enteros

	ki	Jicama	Mashua	Oca	Camote
k _{agua}	0,6036	0,5348	0,5173	0,5007	0,4741
k _{carbohidratos}	0,2274	0,0234	0,0247	0,0308	0,0420
k _{proteínas}	0,2016	0,0006	0,0031	0,0033	0,0029
k _{grasa}	0,2352	0,0010	0,0024	0,0023	0,0011
k _{ceniza}	0,3565	0,0004	0,0010	0,0014	0,0016
k _{fibra}	0,2070		0,0013	0,0011	0,0012
k (W/m°C)		0,6021	0,5908	0,5866	0,5727

Tabla 16. Conductividad térmica (W/m°C) calculado con Choi y Okos para tubérculos en extracto

	ki	Jicama	Mashua	Oca	Camote
k _{agua}	0,6036	0,6013	0,5830	0,5764	0,5542
k _{carbohidratos}	0,2274	0,0005	0,0045	0,0072	0,0142
k _{proteínas}	0,2016	0,0001	0,0010	0,0010	0,0012
k _{grasa}	0,2352	0,0002	0,0012	0,0013	0,0010
k _{ceniza}	0,3565		0,0005	0,0002	0,0006
k _{fibra}	0,2070		0,0007	0,0005	0,0016
k (W/m°C)		0,6021	0,5908	0,5866	0,5727

Tabla 17. Difusividad térmica (m²/s) calculado con Choi y Okos para tubérculos enteros

		Jícama	Mashua	Oca	Camote
α agua	$1,57 \times 10^{-7}$	$1,31 \times 10^{-7}$	$1,25 \times 10^{-7}$	$1,19 \times 10^{-7}$	$1,10 \times 10^{-7}$
α carbohidratos	$1,02 \times 10^{-7}$	$1,57 \times 10^{-8}$	$1,64 \times 10^{-8}$	$2,01 \times 10^{-8}$	$2,67 \times 10^{-8}$
α proteínas	$8,88 \times 10^{-8}$	$3,20 \times 10^{-10}$	$1,67 \times 10^{-9}$	$1,76 \times 10^{-9}$	$1,51 \times 10^{-9}$
α grasa	$9,55 \times 10^{-8}$	$3,44 \times 10^{-10}$	$8,40 \times 10^{-10}$	$8,02 \times 10^{-10}$	$3,82 \times 10^{-10}$
α ceniza	$1,40 \times 10^{-7}$	$3,37 \times 10^{-10}$	$8,69 \times 10^{-10}$	$1,21 \times 10^{-9}$	$1,40 \times 10^{-9}$
α fibra	$9,43 \times 10^{-8}$	$3,40 \times 10^{-10}$	$7,08 \times 10^{-10}$	$5,85 \times 10^{-10}$	$6,60 \times 10^{-10}$
Difusividad (m²/s)		$1,48 \times 10^{-7}$	$1,26 \times 10^{-7}$	$1,14 \times 10^{-7}$	$1,20 \times 10^{-7}$

Tabla 18. Difusividad térmica (m²/s) calculado con Choi y Okos para tubérculos en extracto

		Jícama	Mashua	Oca	Camote
α agua	$1,57 \times 10^{-7}$	$1,56 \times 10^{-7}$	$1,49 \times 10^{-7}$	$1,47 \times 10^{-7}$	$1,38 \times 10^{-7}$
α carbohidratos	$1,02 \times 10^{-7}$	$3,76 \times 10^{-10}$	$3,15 \times 10^{-9}$	$5,01 \times 10^{-9}$	$9,71 \times 10^{-9}$
α proteínas	$8,88 \times 10^{-8}$	$5,51 \times 10^{-11}$	$5,69 \times 10^{-10}$	$5,95 \times 10^{-10}$	$6,75 \times 10^{-10}$
α grasa	$9,55 \times 10^{-8}$	$5,73 \times 10^{-11}$	$4,30 \times 10^{-10}$	$4,58 \times 10^{-10}$	$3,44 \times 10^{-10}$
α ceniza	$1,40 \times 10^{-7}$	$6,31 \times 10^{-11}$	$4,63 \times 10^{-10}$	$1,68 \times 10^{-10}$	$5,61 \times 10^{-10}$
α fibra	$9,44 \times 10^{-8}$	$2,17 \times 10^{-11}$	$3,96 \times 10^{-10}$	$3,21 \times 10^{-10}$	$9,25 \times 10^{-10}$
Difusividad (m²/s)		$1,57 \times 10^{-7}$	$1,54 \times 10^{-7}$	$1,53 \times 10^{-10}$	$1,50 \times 10^{-7}$

A.3. Datos obtenidos por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Tabla 19. Datos promedio de termogramas obtenidos por DSC

Parámetro	Oca	Mashua	Camote
<i>Integral (mJ)</i>	36,79	28,92	49,10
<i>Onset (°C)</i>	58,79	60,44	67,66
<i>Peak (°C)</i>	62,72	63,32	71,81
<i>Endset (°C)</i>	68,39	67,39	77,99

ANEXO B. ANOVAS

Tabla 20. Análisis de varianza para calor específico

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
<i>A: Forma de determinación</i>	4,2513	1	4,2513	181,03	0,0000
<i>B: Temperatura</i>	1,5513	1	1,5514	66,06	0,0000
<i>C: Tipo de tubérculo</i>	7,7185	3	2,5728	109,55	0,0000
INTERACCIONES					
<i>AB</i>	0,1472	1	0,1472	6,27	0,0176
<i>AC</i>	0,3678	3	0,1226	5,22	0,0048
<i>BC</i>	0,1537	3	0,0512	2,18	0,1095
<i>ABC</i>	0,1403	3	0,0468	1,99	0,1351
Residuos	0,7515	32	0,0235		
Total (corregido)	15,0816	47			

Tabla 21. Análisis de varianza para conductividad térmica

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
<i>A: Tipo de tubérculo</i>	0,6611	3	0,2204	112,58	0,0000
<i>B: Forma de determinación</i>	2,4803	1	2,4803	1267,07	0,0000
INTERACCIONES					
<i>AB</i>	1,1481	3	0,3827	195,50	0,0000
Residuos	0,0313	16	0,0020		
Total (corregido)	4,3208	23			

Tabla 22. Análisis de varianza para difusividad térmica

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
<i>A: Tipo de tubérculo</i>	8,9619	3	2,9873	2246,81	0,0000
<i>B: Forma de determinación</i>	1,7804	1	1,7804	1338,94	0,0000
<i>C: Temperatura</i>	0,3960	1	0,3960	297,80	0,0000
INTERACCIONES					
<i>AB</i>	0,4634	3	0,1544	116,23	0,0000
<i>AC</i>	0,0991	3	0,0331	24,89	0,0000
<i>BC</i>	0,0119	1	0,0119	8,99	0,0052
<i>ABC</i>	0,01485	3	0,0049	3,73	0,0209
Residuos	0,0425	32	0,00133		
Total (corregido)	11,7704	47			

ANEXO C. FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1. Oca – tubérculo entero



Fotografía 2. Mashua – tubérculo entero



Fotografía 3. Camote – tubérculo entero



Fotografía 4. Jícama – tubérculo entero



Fotografía 4. Determinación de calor específico



Fotografía 5. Determinación de conductividad térmica



Fotografía 6. Determinación de difusividad térmica