



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN
ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA**

CARRERA INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Tema: Determinación de propiedades térmicas de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), melloco amarillo (*Ullucus tuberosus*), papa china (*Colocasia esculenta*) y achira (*Canna edulis*)

Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a 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 y Biotecnología. 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: Silvia Maribel Cando Tituaña

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

Ambato – Ecuador

Diciembre-2019

APROBACIÓN DE LA TUTORA

Certifico que el presente Trabajo de Titulación, ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 23 de septiembre del 2019



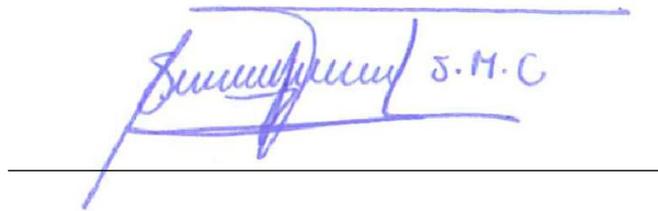
Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

C.I. 1804067088

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Silvia Maribel Cando Tituaña, 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.



Silvia Maribel Cando Tituaña

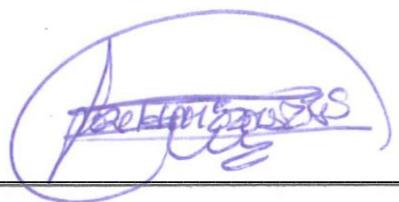
C.I. 1805377270

AUTORA

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO

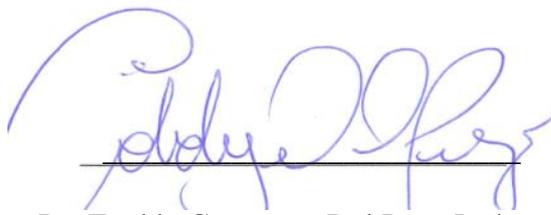
Los suscritos Docentes Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



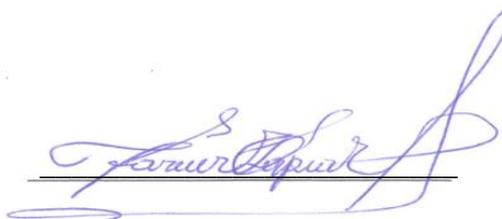
Presidente de Tribunal de Grado

Dr. Homero Vargas



Dr. Freddy Geovanny Del Pozo León

C.I. 180244627-6



Ing. Mg. Luis Javier Tapia Vasco

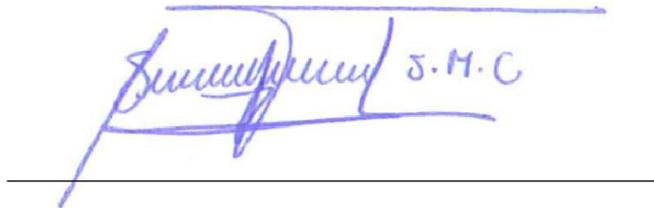
C.I. 050287011-6

Ambato, 18 de Noviembre del 2019

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 su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.



Silvia Maribel Cando Tituaña

C.I. 1805377270

AUTORA

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios y a la Virgen por darme salud y fuerzas para poder culminar una etapa más en mi vida.

A mis queridos padres, Raúl y Cecilia, por el apoyo incondicional en los momentos de tristezas, derrotas, triunfos y felicidad; así como también por el amor, cuidados, confianza y sacrificios que han realizado para perseguir mis sueños, va para ellos mi amor infinito.

A mi querida hermana, Verónica Cando, que estoy segura de que desde el más allá rezaba por el bienestar de su hermana y de nuestros padres. Siempre en mi corazón hermanita.

Con todo mi amor,

Maribel

AGRADECIMIENTO

Agradezco, a mis padres por estar siempre conmigo protegiéndome, cuidándome y apoyándome sin importar nada durante mi vida universitaria. Ustedes son mi motivo para seguir cumpliendo mis sueños.

A mi tutora, Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos, por su apoyo, confianza y guiarme en el transcurso del desarrollo de mi trabajo de titulación.

A mi querida Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, por ser parte de mi formación académica.

A mis abuelitas, Rosa y Agustina, por acompañar a mi madre en los momentos de soledad y ausencia de su esposo e hija.

A todos mis tíos y primos, por sus consejos, motivación constante y apoyo moral, que me impulsaron a no rendirme.

A mis profesores y a todas las personas que aportaron de una forma u otra en el desarrollo de este trabajo. En especial a mis docentes que contribuyeron en el desarrollo de este Trabajo de Titulación: Ing. Mg. Diego Manolo Salazar, Ing. Luis Javier Tapia y Dr. Freddy del Pozo.

A mis amigas y compañeras de aula Erika E., Verónica R., Vanessa V., Paola Ch. y Karina C., por la mejor amistad, por ser parte de los mejores momentos vividos durante mi carrera y por su apoyo brindado.

Siempre en mi corazón.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DE LA TUTORA.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRAD.....	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos.....	1
1.1.1 Tubérculos andinos estudiados.....	2
1.1.1.1 Zanahoria blanca (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)	2
1.1.1.3 Papa china (<i>Colocasia esculenta</i>).....	3
1.1.1.4 Achira (<i>Canna edulis</i>)	3
1.1.3 Propiedades térmicas	5
1.1.3.1 Calor específico	5
1.1.3.2 Conductividad térmica	5
1.1.3.3 Difusividad térmica.....	6
1.1.4 Valores de propiedades térmicas en alimentos	6
1.2 Objetivos	7

1.2.1	Objetivo general.....	7
1.2.2	Objetivos específicos.....	7
1.3	Hipótesis.....	7
1.3.1	Hipótesis nula (H_0).....	7
1.3.2	Hipótesis alternativa (H_1).....	7
1.4	Señalamiento de variables.....	7
1.4.1	Variable independiente.....	7
1.4.2	Variable dependiente.....	7
CAPÍTULO II.....		8
MATERIALES Y MÉTODOS.....		8
2.1	Materiales.....	8
2.1.1	Materia prima.....	8
2.1.2	Equipos y utensilios.....	8
2.2	Metodología.....	8
2.2.1	Determinación de calor específico.....	8
2.2.1.1	Calibración del calorímetro.....	8
2.2.1.2	Calor específico de la muestra.....	9
2.2.2	Determinación de conductividad térmica.....	10
2.2.3	Determinación de difusividad térmica.....	11
2.2.4	Análisis estadístico entre las propiedades térmicas y la temperatura...12	
2.2.5	Propiedades térmicas por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).12	
CAPÍTULO III.....		14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		14
3.1	Calor específico.....	14
3.2	Conductividad térmica.....	16
3.3	Difusividad térmica.....	17
CAPÍTULO IV.....		23
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		23
4.1	Conclusiones.....	23

4.2	Recomendaciones	24
MATERIALES DE REFERENCIA.....		25
5.1	BIBLIOGRAFÍA.....	25
ANEXOS.....		35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un calorímetro.....	11
Figura 2. Dispositivo para la determinación de la conductividad térmica, por el método de la sonda.....	12
Figura 3. Esquema del cilindro empleado para la medición de la difusividad térmica.....	13
Figura 4. Representación de un termograma para la obtención del calor específico...	14
Figura 5. Termograma de melloco amarillo, zanahoria blanca, papa china & achira...	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de los tubérculos andinos.....	4
Tabla 2. Contenido de humedad en extracto de cuatro tuberculos	7
Tabla 3. Calor específico para cuatro tubérculos andinos.....	17
Tabla 4. Conductividad térmica para cuatro tubérculos andinos.....	19
Tabla 5. Difusividad térmica para cuatro tubérculos andinos.....	21
Tabla 6. Ecuación de correlación entre calor específico y temperatura.....	21
Tabla 7. Ecuación de correlación entre difusividad térmica y temperatura.....	22
Tabla 8. Calor específico por DSC.....	23
Tabla 9. Temperatura y entalpía de gelatinización.....	25
Tabla 10. Calor específico obtenidos experimentalmente en tubérculo entero y extracto.....	39
Tabla 11. Conductividad térmica obtenidos experimentalmente en tubérculo entero y extracto.....	40
Tabla 12. Difusividad térmica obtenidos experimentalmente en tubérculo entero y extracto.....	41
Tabla 13. Calor específico obtenidos por Choi y Okos para tubérculo entero.....	42
Tabla 14. Calor específico obtenidos por Choi y Okos para tubérculo en extracto.....	42
Tabla 15. Conductividad térmica obtenidos por Choi y Okos para tubérculo entero...	42
Tabla 16. Conductividad térmica obtenidos por Choi y Okos para tubérculo en extracto.....	43
Tabla 17. Difusividad térmica obtenidos por Choi y Okos para tubérculo entero.....	44
Tabla 18. Difusividad térmica obtenidos por Choi y Okos para tubérculo en extracto..	44
Tabla 19. Promedio de temperaturas de transición obtenidas por DSC.....	45
Tabla 20. Análisis de varianza para calor específico.....	46
Tabla 21. Análisis de varianza para conductividad térmica.....	46
Tabla 22. Análisis de varianza para difusividad térmica.....	46

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Calor específico.....	11
Ecuación 2. Conductividad térmica.....	12
Ecuación 3. Difusividad térmica.....	13
Ecuación 4. Calor específico por DSC.....	14
Ecuación 5. Pendiente de los termogramas.....	14
Ecuación 6. Calor específico en el pico más alto del termograma.....	15

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y BIBLIOGRÁFICOS...	39
Anexo A.1. Resultados obtenidos experimentalmente.....	39
Anexo A.2. Resultados bibliográficos obtenidos mediante ecuaciones de Choi y Okos (1986).....	42
Anexo A.3. Resultados obtenidos por calorimetría diferencial de barrido (DSC)...	45
ANEXO B. ANOVA - ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	46
ANEXO C. FOTOGRAFÍAS.....	47
Anexo C.1. Tubérculos enteros.....	47
Anexo C.2. Extracto de tubérculos.....	49
Anexo C.3. Aparatos y equipos.....	51

RESUMEN

Hoy en día, el gran número de alimentos disponibles crea una gran demanda del conocimiento de las propiedades térmicas, ya que es importante en cualquier proceso de la industria alimentaria para el control de procesos, optimización de costos y calidad del producto. En este sentido, el objetivo del presente estudio fue determinar las propiedades térmicas (calor específico, conductividad térmica y difusividad térmica) de cuatro tubérculos andinos (melloco amarillo, zanahoria blanca, papa china y achira), tanto en tubérculo entero como en extracto. Las propiedades térmicas fueron estudiadas en función de la temperatura; así el calor específico fue evaluado a 4 y 12°C, mientras que la difusividad térmica fue monitoreada a 50 y 70°C. El calor específico fue determinado mediante el método de las mezclas y calorimetría diferencia de barrido, la conductividad térmica por el método de la sonda y la difusividad térmica por el método del objeto cilíndrico.

En cuanto a los resultados, se observaron valores más altos de calor específico en melloco amarillo y achira guardando relación con la composición. Mientras que en conductividad térmica y difusividad térmica se presentaron valores superiores en melloco amarillo e inferiores en achira. Por otra parte, las propiedades térmicas exhibieron valores superiores al trabajar con los extractos, debido a la reducción de los espacios de aire, a la densidad y a las pequeñas resistencias a la transferencia de calor en este tipo de matrices alimenticias. Por otro lado, papa china presenta la temperatura de gelatinización más alta, siendo la más resistente a altas temperaturas.

Palabras claves: Propiedades térmicas, tubérculos andinos, matrices alimenticias, calorimetría diferencial de barrido.

SUMMARY

Today, the large number of available foods creates a great demand for knowledge of thermal properties. These properties are important in any process of the food industry because they are related with costs, optimization and product quality. In this sense, the objective of the present study was to determine the thermal properties (specific heat, thermal conductivity and thermal diffusivity) of four Andean tubers (yellow melloco, white carrot, chinese potato and achira), both in whole tuber and in extract. The thermal properties were studied as a function of temperature. The specific heat was evaluated at 4 and 12 ° C, while the thermal diffusivity was monitored at 50 and 70 ° C. The specific heat was determined by the method of the mixtures and by differential scanning calorimetry, the thermal conductivity by the method of the probe and the thermal diffusivity by the method of the cylindrical object.

As for the results, higher values of specific heat were observed in yellow melloco and achira keeping relation with the nutritional composition. While in thermal conductivity and thermal diffusivity higher values were found in yellow melloco and lower values in achira. On the other hand, the thermal properties exhibited higher values when the extracts were evaluated, due to the reduction of air spaces, density and small resistance to heat transfer in this type of food matrices. On the other hand, chinese potato has the highest gelatinization temperature, being the most resistant to high temperatures.

Keywords: thermal properties, Andean tubers, food matrices, differential scanning calorimetry.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

Ecuador cuenta con una variedad de alimentos nutritivos y de bajo costos como: leguminosas, tubérculos y granos andinos, alimentos que fueron consumidos por los Incas en siglos pasados. Sin embargo, su consumo se ha reducido, debido a que las nuevas generaciones, influenciadas por las tendencias extranjeras, suelen dejar de lado los alimentos tradicionales ecuatorianos, tendencia que es más evidente en las zonas urbanas (**Quelal & Huaraca, 2012**).

Las raíces y tubérculos andinos fueron parte fundamental de la alimentación de las comunidades andinas aborígenes, debido a que crecen a gran altura y bajo condiciones extremadamente difíciles como sequía, temperaturas de congelación y exposición UV. A pesar de que su composición los cataloga como una materia prima excelente para la agroindustria y la industria farmacéutica, los productos que en este tiempo han salido al mercado no han sido capaces de mantenerse debido al bajo consumo local (**Barrera et al., 2003**).

En Ecuador el uso más común de las raíces y tubérculos andinos es en dulces, purés, pasteles, tortas, sopas, sancochada y en tortillas mezclada con harina o trigo. Sin embargo, hasta el momento no existe en nuestro país una empresa dedicada a la industrialización de estos tubérculos (mellico amarillo, zanahoria blanca, papa china y achira), debido a que existe una limitada información de las propiedades físico-químicas, térmicas, farmacológicas, medicinales y de las tecnologías apropiadas para su procesamiento (**Villacrés et al., 2013**).

Así mismo, para hacer más eficiente el cultivo de los tubérculos andinos, se requieren estudios sobre la siembra, clima, cosecha y usos, así como de los lugares donde su producción es más rentable debido a factores climatológicos, altura y suelo. Dichos estudios deben ser realizados y avalados por instituciones públicas como el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (**Paredes, 2016**).

Hay muchas formas de incrementar el uso de las raíces-tubérculos y de introducirlos en los mercados de alimentos para humanos y animales. Entre dichas formas se tienen: añadir un valor agregado mediante una transformación, establecer vínculos fuertes entre los pequeños productores y los mercados nuevos, entre otros (**Badui, 2006**). Sin embargo, en el diseño de procesos de transformación existen ciertas limitaciones financieras y de tecnología para la transformación, así como insuficiente información de técnicas agrícolas, de datos fisicoquímicos y de propiedades térmicas. Esta información es necesaria para el control de su comportamiento durante el proceso, en especial del almidón, ya que en el procesamiento sufre reacciones de gelatinización y retrogradación (**Pazos Proaño, 2017**).

1.1.1 Tubérculos andinos estudiados

1.1.1.1 Zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*)

Zanahoria blanca es una planta herbácea que se cultiva desde 200 a 360 msnm, pero se desarrolla mejor entre los 1800 y 2500 msnm (14 y 21°C). Sus raíces presentan formas ovoides, cónicas y fusiformes, y son utilizadas en la alimentación del ganado lechero y como forraje en la alimentación animal (**Hermann, 1994**). Es una raíz originaria de los Andes, que almacena almidón de fácil digestibilidad (cantidad de almidón aproximada 69.36%). Su producción está destinada al mercado en fresco y la harina es considerada como sustituto de los almidones modificados en el procesamiento de alimentos sometidos a condiciones ácidas y congelación (**Barrera et al., 2004**). Sin embargo, su principal inconveniente es su corta vida de almacenamiento y su vulnerabilidad durante el transporte (**Hermann, 1994**).

1.1.1.2 Melloco amarillo (*Ullucus tuberosus*)

El melloco amarillo, considerado el segundo tubérculo más comercializado después de la papa, se cultiva entre los 2600 y 3800 msnm, las condiciones óptimas oscilan entre 3000 a 3600 msnm (8-14°C). Tienen una forma cilíndrica, ovalada, falcada, fusiforme apical y fusiforme a ambos extremos (**Vimos et al., 1993**). Una de sus características más destacables es el contenido de mucílago, mismo que influye de manera negativa en las propiedades sensoriales y por ende en su consumo. Su sistema radicular es abundante, fibroso, mide de 30 a 50 cm y es una buena fuente de carbohidratos. En estado fresco el tubérculo tiene alrededor de 85% de humedad, 14% de carbohidratos, (70.50 % almidón y 6.63% azúcares totales), 2% de proteínas y un alto contenido de vitamina C (23 mg por 100 g de peso fresco) y principalmente suele ser consumido en ensaladas (**Tapia et al., 1996**).

1.1.1.3 Papa china (*Colocasia esculenta*)

La papa china es una planta esencialmente tropical, de cultivo de tierra baja. Tiene una alta capacidad de retención de humedad y requiere una temperatura sobre los 21°C para alcanzar mejor rendimiento (**Montaldo, 1991**). Estudios han revelado que es útil para las personas alérgicas a los cereales y que puede ser consumido por niños sensibles a la leche (**O. Caicedo, 2013**). Además, es reconocido como una fuente barata de carbohidratos (debido a su 71,83%, del que la mayoría está compuesta por almidón), siendo fuente alternativa para la alimentación humana y animal (**Espín et al., 2004**). Tienen una mayor cantidad de proteínas y aminoácidos esenciales en comparación con otras raíces y tubérculos tropicales (**Montaldo, 1991**). Y se le atribuye un alto contenido de ciertos minerales por cada 100 g, tales como: 32 mg de calcio; 70 mg de fósforo; 115 mg de magnesio y 448 mg de potasio (**Bradbury & Holloway, 1988**).

1.1.1.4 Achira (*Canna edulis*)

La achira, es una planta que se desarrolla en regiones con lluvia entre los 500 y 1700 msnm a temperaturas de 18 y 24°C; sin embargo, por encima de los 32°C pierde gran cantidad de agua y no se produce acumulación de carbohidratos en el rizoma. Esta planta presenta raíces pequeña blancas y cilíndricas (**Rodríguez et al., 2003**). Los cornos, bulbos o rizomas de esta planta, se aprovecha generalmente para la obtención de almidón. Sus principales usos alimenticios son en el área de panadería, galletería y repostería; además, se puede utilizar como ingrediente en la preparación de sopas, coladas y salsas (**Novoa, 2006**). Por otro lado, estudios realizados con este tubérculos han revelado que tiene el potencial de ser una fuente alternativa de carbohidratos para la alimentación animal, debido a que contiene 75.8% en hidratos de carbono, de los cuales 53,63% es almidón (**Espín et al., 2004**).

1.1.2. Comparación de la composición nutricional de los tubérculos estudiados

Los tubérculos nativos presentan condiciones de cosecha (especialmente temperatura) y consumo similar; sin embargo, en cuanto a su composición química son completamente diferentes. En general, son ricos en carbohidratos, aportando a la dieta una gran cantidad de energía y generando saciedad. También aportan ciertas sustancias que permiten curar algunas enfermedades y ayudan a conservar las proteínas de los tejidos (**Fries & Tapia, 2007**). El contenido de grasa es relativamente bajas en todos los tubérculos andinos.

En cuanto al contenido de agua, los valores más altos se presentan en melloco y zanahoria blanca, mismos que de manera contraria evidencian menos cantidad de carbohidratos y proteínas (Tabla 1); es decir, son fuentes bajas en energía en comparación con el resto de tubérculos. Por otra parte, papa china tiene un aporte significativo de ceniza y fibra dietética con respecto a otros tubérculos (0.87% y 1.46 % respectivamente), por lo que contrarresta los niveles de azúcar en la sangre (**Escudero & González, 2006**).

Según **Tapia et al. (1996 y Morales, 2012)**, la presencia de flavonoides y vitamina C es abundante en melloco y en zanahoria blanca. Los flavonoides influyen en el metabolismo de las paredes de los vasos sanguíneos, causando resistencia capilar.

Por otro lado, las raíces tuberosas de la zanahoria blanca son recomendadas en dietas para niños y personas convalecientes, principalmente por su contenido de calcio, fósforo, hierro y niacina. Mientras que, papa china es deficiente en histidina, lisina, isoleucina, triptófano y metionina, pero rica en vitaminas (tiamina, riboflavina y niacina) y minerales (calcio, fósforo y hierro).

Finalmente, los minerales más representativos de achira son el fósforo y hierro con 63 mg, pero también contiene un grupo fitoquímico llamado sesquiterpelactonas, siendo de gran importancia por la variada acción biológica, citotóxica, antitumoral y analgésica (**Espín et al., 2004 ; Espinosa & Crissman, 1996**).

Tabla1. Composición química de los tubérculos andinos

Componentes	Melloco amarillo	Zanahoria blanca	Papa china	Achira
Energía kcal/100g	360	388	480	399
Humedad *%	87.2	75.4	69.1	70
Carbohidrato %	10.3	22.1	27.05	25.7
Ceniza %	0.56	0.85	0.87	0.7
Fibra %	1	0.63	1.46	0,8
Grasa%	0.13	0.24	0.4	0,1
Proteína %	0.89	0.78	1.12	2.7

* Promedio de varios autores

Fuente: Espín (2001); León et al. (2011); Lozada (2005); Coba (2019); Q. Caicedo et al. (2014), Jordán (2018) y Velásquez y Velezmoro (2018)

1.1.3 Propiedades térmicas

En el campo de la Ingeniería en Alimentos se deben conocer las propiedades térmicas de los alimentos que se desean procesar, debido a que son imprescindibles para el cálculo de cargas de calor (entalpía) y flujos de calor. Dichos parámetros son criterios que permiten establecer los puntos en los que ocurre cambios de fase. Es decir, están involucrados en el diseño o selección de máquinas provenientes de diversas casas comerciales, evitando la realización de pruebas experimentales costosas y prolongadas. Además, sirven como índice de calidad; por ejemplo, el punto de fusión o de congelación son extensamente utilizados para establecer la pureza de alimentos, especialmente en grasas y leches (**Alvarado, 1996**).

1.1.3.1 Calor específico

Se define como la energía requerida para elevar un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia. En general, depende de la manera en que se ejecuta el proceso y del mismo proceso en sí. Además, dependen de dos propiedades independientes, temperatura y presión (**Cengel, 2007**). Se identifica como c_p , si el sistema se mantiene a presión constante, mientras que a volumen constante se identifica como c_v . En las determinaciones experimentales tanto de sólidos y líquidos se mide generalmente la magnitud c_p , ya que a otra especificación resulta complicada su determinación (**Fourty et al., 2003**). Por otra parte, el valor de c_p es una medida termodinámica de la temperatura que induce, está relacionada con los cambios estructurales y es un parámetro importante para la caracterización del estado amorfo (**Pawar et al., 2012**).

1.1.3.2 Conductividad térmica

Se define como la cantidad de calor que se conduce por unidad de tiempo a través de una unidad de espesor, siempre que exista un gradiente de temperaturas a través de dicho espesor (**P. Singh & Heldman, 1998**). Generalmente, los alimentos con un alto contenido en agua presentan valores de conductividad térmica similares al del agua; mientras que la conductividad térmica de alimentos secos y porosos se afecta sensiblemente por la presencia de aire, elemento que presenta conductividad térmica baja (**Cengel, 2007**). Además, un valor elevado de esta propiedad representa que el material es un buen conductor de calor y un valor bajo indica que el material puede ser utilizado como aislante (**Chiralt et al., 2007**). Así mismo, presenta valores menores en los líquidos, debido a que el espacio molecular facilita las colisiones moleculares y la transmisión de calor (**Aguado, 1999**).

1.1.3.3 Difusividad térmica

Se conoce como la medida de la rapidez con la que la temperatura cambia cuando un material es calentado o enfriado, y es una propiedad importante cuando se considera la transferencia de calor en estado no estacionario (**P. Singh & Heldman, 1998**). Entre mayor sea la difusividad térmica, más rápida es la propagación del calor hacia el medio, y un valor bajo representa que en su mayor parte el calor es absorbido por el material y una cantidad reducida de ese calor será conducido.

Normalmente se utiliza en la determinación de la velocidad de transferencia de calor en alimentos sólidos de distintas formas (**Barreiro & Sandoval, 2006**). Cuando la transferencia de calor ocurre por conducción la difusividad térmica presenta un valor significativo; además, incrementa su valor con el aumento del contenido de agua y disminuye con el incremento de temperatura (**Orrego, 2003**). Generalmente los valores de la difusividad térmica para alimentos se encuentran en el rango de 1 a 2×10^{-7} m²/s.

1.1.4 Valores de propiedades térmicas en alimentos

Recientes investigaciones han trabajado en la determinación de propiedades térmicas en diferentes alimentos. Por ejemplo, **Lata (2011)**, determinó mediante un análisis con calorimetría diferencial de barrido (DSC), que el calor específico de melloco es de 3.912 kJ/Kg°C en condición natural, mientras que a humedades de 5, 50 y 75% los valores fueron de 0.21, 1.82 y 3.655 kJ/Kg°C respectivamente. Es decir, se llegó a la conclusión de que el calor específico es directamente proporcional con el contenido de humedad.

Por otro lado, **Alvis et al. (2012)**, reportan que el ñame fresco (oca), presenta una conductividad térmica de 0.495 W/m°C, una difusividad térmica de 1.45×10^{-7} m²/s y un calor específico de 3.095 kJ/kg°C. Mientras que en papa se obtuvieron valores de 0.554 W/m°C, 3.515 kJ/kg°C y 1.45×10^{-7} m²/s para conductividad térmica, calor específico y difusividad térmica respectivamente (**Vidaurre, 2015**).

Finalmente, **Jara (2012)**, menciona que el calor específico de la pulpa del yacón (raíz comestible de textura y sabor similar a la jícama) presenta valores de 2.4648 y 3.1159 kJ/Kg°C, conductividad térmica de 0,3323 y 0,4722 W/m°C, y difusividad térmica de 1.275×10^{-7} y 1.5122×10^{-7} m²/s, para 77.41% de humedad a 50°C y 82.75% de humedad y 70°C respectivamente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Determinar las propiedades térmicas de zanahoria blanca (*Arracacha*), melloco amarillo (*Ullucus tuberosus*), papa china (*Colocasia esculenta*) y achira (*Canna edulis*).

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar el calor específico de los cuatro tubérculos andinos, tanto enteros como en extracto, utilizando el método de Hwang & Hayakawa a diferentes temperaturas.
- Determinar la conductividad térmica de los cuatro tubérculos andinos, tanto enteros como en extracto, mediante el método de la sonda.
- Determinar la difusividad térmica de los 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.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis nula (H₀)

Las propiedades térmicas no varían frente al tipo de tubérculo (melloco amarillo, zanahoria blanca, papa china y achira), temperatura y forma de determinación (entero y extracto).

1.3.2 Hipótesis alternativa (H_i)

Las propiedades térmicas varían frente al tipo de tubérculo (melloco amarillo, zanahoria blanca, papa china y achira), temperatura y forma de determinación (entero y extracto).

1.4 Señalamiento de variables

1.4.1 Variable independiente

- Tipo de tubérculo (melloco amarillo, zanahoria blanca, papa china y achira).
- Forma de determinación (entero y extracto).
- Temperatura (calor específico: 4°C, 12°C y difusividad térmica: 50°C, 70°C).

1.4.2 Variable dependiente

- Calor específico.
- Conductividad térmica.
- Difusividad térmica.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

2.1.1 Materia prima

Los tubérculos andinos analizados en este trabajo (mellico amarillo, zanahoria blanca, papa china & achira) fueron obtenidos en el mercado Mayorista de la ciudad de Ambato, a excepción de la achira que se adquirió en el cantón Patate.

2.1.2 Equipos y utensilios

- Calorímetro adiabático
- Equipo de Calorimetría diferencial de barrido DSC 3 Mettler-Toledo
- Balanza analítica Mettler-Toledo Columbus XPE204
- Balanza analítica marca Citizon
- Computadora con programación LabView® (National Instruments)
- Cilindros de acero
- Termómetros
- Extractor
- Baño termostato marca Julabo 12B
- Vasos de precipitación y probetas
- Recipientes de plástico

2.2 Metodología

2.2.1 Determinación de calor específico

2.2.1.1 Calibración del calorímetro

Se utilizó el método de las mezclas, descrito por **Hwang y Hayakawa (1979)**, debido a que es el más utilizado para medir el calor específico de alimentos y materiales agrícolas debido a su simplicidad y exactitud (**Mohsenin, 1980**).

Se colocaron 300 ml de agua (variables: 4 y 12 °C) en un recipiente metálico de aluminio completamente aislado, para evitar la pérdida de calor hacia el exterior (calorímetro adiabático – Figura 1), y se registró la primera temperatura de equilibrio (calorímetro+agua fría). Posteriormente se añadieron 300 ml de agua a temperatura conocida (ambiente) y se registró la segunda temperatura de equilibrio del sistema (calorímetro+agua fría+agua ambiente). El calor específico del material alimenticio fue calculado mediante el balance de calor, es decir se asumió que el calor perdido por el fluido en la segunda fase es igual al calor ganado por el primer sistema.

Ecuación. 1

$$c_{p\ cal} = \frac{[m_a \times c_{pa} \times (T_a - T_e)] - [m_f \times c_{pf} \times (T_e - T_f)]}{m_{cal} \times (T_e - T_{f+cal})}$$

Dónde: T_{f+cal} temperatura sistema calorímetro+agua fría (equilibrio 1), T_a temperatura agua ambiente, T_e temperatura sistema calorímetro+ agua fría+agua ambiente (equilibrio 2), c_p calor específico (J/g °C), m masa (g). Subíndices: a agua ambiente, f agua fría, cal calorímetro.

Las temperaturas de análisis se escogieron en base al estudio realizado por **Alvarado y Aguilera (2001)**, quien recomienda trabajar con agua a temperatura menor a la temperatura ambiental.

2.2.1.2 Calor específico de la muestra

Se llevó a cabo a través del mismo procedimiento experimental citado en el apartado 2.2.1.1, pero reemplazado la muestra de tubérculo (entera y extracto), de masa y temperatura conocidas, por el fluido a temperatura ambiente.

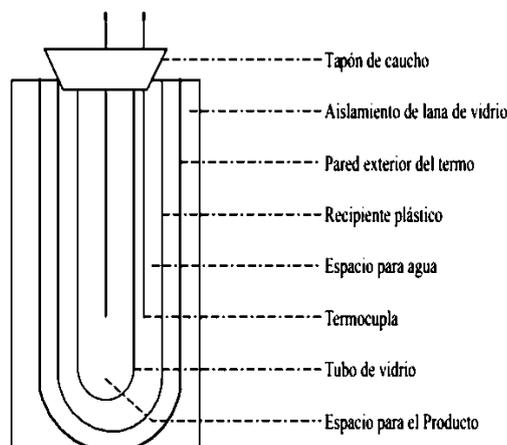


Figura 1. Esquema de un calorímetro
Fuente: Alvarado (1996)

2.2.2 Determinación de conductividad térmica

Se utilizó el método de la sonda establecido por **Sweat y Haugh (1974)**. Se colocó la muestra (variables: entera y extracto) en el interior del cilindro cerrado de aluminio. Posteriormente se introdujo la sonda de acero inoxidable (compuesta de un termopar tipo T y un hilo de calentamiento), a través de un orificio que posee la tapa del cilindro. La sonda suministró una fuente de calor y corriente constante de 3.16 W y 5 voltios respectivamente, y el termopar registró la variación de temperaturas de la muestra con el tiempo. Se usó la Ecuación 2 para el cálculo de esta propiedad térmica.

$$\text{Ecuación. 2} \quad k = \frac{Q}{4\pi(\Delta T)} * \ln \frac{t_2}{t_1}$$

Dónde: $\ln(t_2/t_1)$ logaritmo natural del tiempo; ΔT variación de la temperatura del alimento (°C) y Q potencia generada por la sonda durante el calentamiento (W/m).

Un esquema del aparato de medida se puede observar en la Figura 2, que consta de un cilindro de aluminio 15×4×2 cm (longitud, diámetro interior y espesor respectivamente) (**Conrado, 2018**). La corriente establecida para el experimento se basó en el estudio de **Sahin y Gülüm (2006)**, debido a que a 5 voltios se disminuyen los errores en la determinación de esta propiedad térmica.

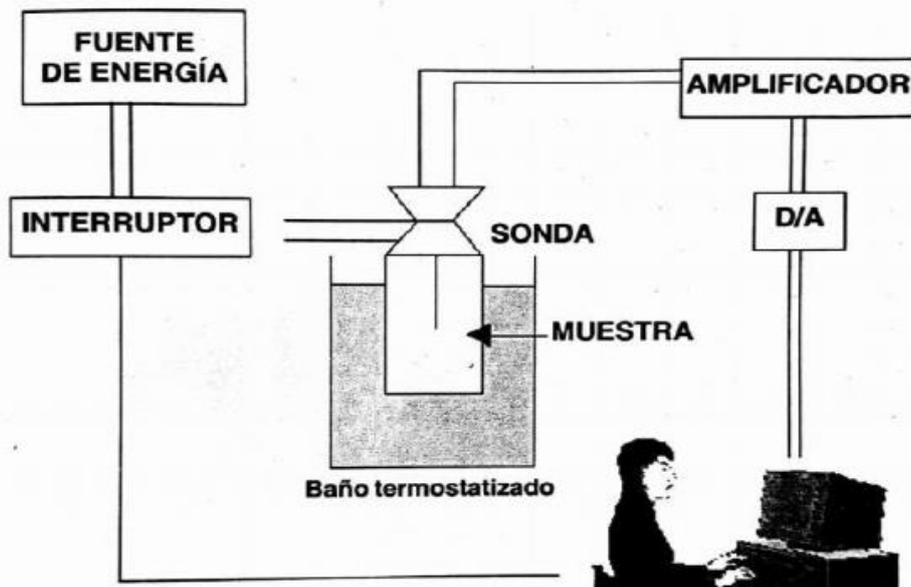


Figura 2. Aparato para la determinación de conductividad térmica por el método de la sonda
Fuente: Zambrano del Pino y Yupanqui (2016)

2.2.3 Determinación de difusividad térmica

Se utilizó el método establecido por **Dickerson (1965)**. El sistema consiste en un baño de agua, en el que un cilindro de acero con radio_{interno} y longitud de 24.75×10^{-3} m y 248.5×10^{-3} m respectivamente, con tapas tipo rosca en los extremos y de difusividad térmica conocida (1.09×10^{-7} m²/s) (Figura 3). En dicho cilindro, se introdujo la muestra (entero y extracto), y los extremos fueron sellados con una tapa-rosca hermética. Uno de los tapones tiene un agujero en el centro en el cual se introdujo una termocupla de tipo J hasta el centro geométrico o térmico del cilindro dependiendo del tipo de muestra (entero o extracto respectivamente), y se registró la temperatura inicial de la muestra. Posteriormente, el cilindro fue sumergido en un baño termostático, previamente estabilizado a la temperatura de trabajo (50°C y 70°C) y se tomó la temperatura a intervalos de un minuto hasta que se obtuvo un índice de elevación constante de temperaturas. La Ecuación 3 fue utilizada para el cálculo de esta propiedad térmica.

Ecuación. 3

$$\alpha = \frac{0,398}{\left[\left(\frac{1}{R^2} \right) + \left(\frac{0,427}{b^2} \right) \right] \times f}$$

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.

Las muestras fueron troceadas y picadas antes de ser introducidas en el cilindro para evitar la presencia de aire, mismo que actúa como un aislante y afecta significativamente en la determinación de difusividad térmica (**N. Huamán & Ancco, 2012**).

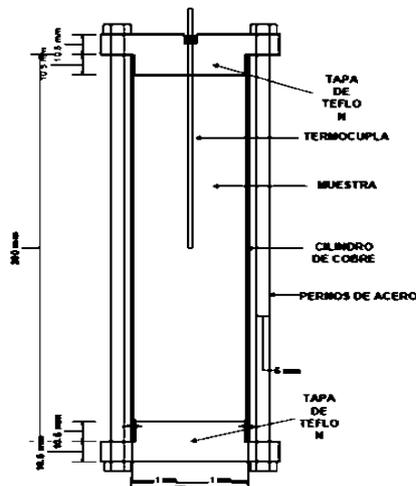


Figura 3. Esquema del cilindro empleado para la medición de la difusividad térmica
Fuente: N. Huamán y Ancco (2012)

2.2.4 Análisis estadístico y correlación entre las propiedades térmicas y la temperatura

Tanto para evaluar la influencia de los distintos factores (tipo de tubérculos, forma de determinación y temperatura) en las propiedades térmicas, como para la correlación entre las propiedades térmicas y la temperatura se aplicó un análisis ANOVA multifactorial por el método A×B×C con un nivel de confianza del 95%, mediante el software estadístico Statgraphics.

2.2.5 Determinación de propiedades térmicas por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Se aplicó el método descrita por **Sandoval et al. (2005)**. Se pesaron aproximadamente 20 mg de muestra en una balanza analítica Mettler-Toledo Columbus XPE204 (precisión de ±0.002 mg) en crisoles de aluminio. Éstos fueron sellados herméticamente y colocados en el equipo de calorimetría diferencial de barrido DSC 3 Mettler-Toledo. Para el ensayo, como referencia se utilizó un crisol vacío de la misma capacidad, donde tanto la referencia como las muestras fueron sometidas a un barrido de temperatura desde 30-90°C a una velocidad de calentamiento de 10 K/min, y un flujo de nitrógeno como gas de purga de 50 ml/min durante 5 minutos. El cálculo de calor específico se realizó a partir de la Ecuación 4 propuesta por **Chiralt et al. (2007)**.

Ecuación 4
$$C_p = \frac{\text{pendiente (J} \times \text{°C)}}{\text{masa (g)}}$$

Ecuación 5
$$m_{(\text{pendiente})} = \frac{\frac{\partial Q}{\partial t}}{\frac{\partial T}{\partial t}}$$

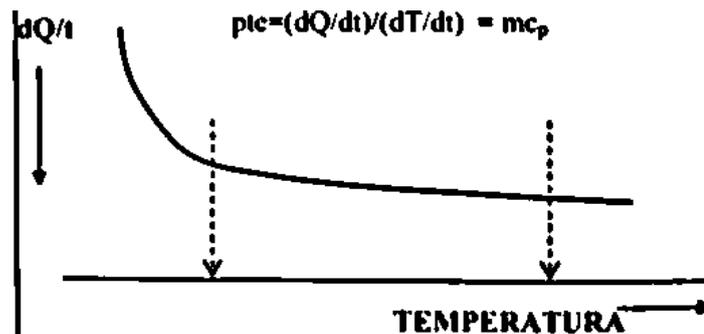


Figura 4. Representación de un termograma para la obtención del calor específico
Fuente: Chiralt et al. (2007).

Sin embargo, **Múnera y Ilva (2013)**, indican que para la determinación de calor específico en el pico más alto se deberá calcular mediante la Ecuación 6.

Ecuación.6

$$C_p = \frac{\partial H}{m \partial T} = \frac{\partial h}{\partial T}$$

Donde: $h = \frac{H(\text{energía})}{m(\text{masa})}$, representa la entalpía por unidad de masa.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Calor específico

Los resultados experimentales obtenidos presentan una similitud con los valores reportados por Alvis et al. (2012) en diferentes alimentos (valor promedio: 3.912 kJ/kg°C). Así mismo, guardan concordancia con los valores experimentales descritos en manzana y papa (3.69 y 3.515 kJ/kg°C respectivamente) (Ramaswamy & Tung, 1981; Vidaurre, 2015), alimentos que presentan composición nutricional similar a los tubérculos estudiados.

El análisis estadístico muestra diferencias significativas en las tres variables de estudio ($p \leq 0.05$) en esta propiedad térmica. En cuanto al “tipo de tubérculos” se observan valores superiores de calor específico en melloco amarillo, seguido de achira, con diferencia significativa entre ellos. Y se observan valores bajos en papa china y zanahoria blanca, sin diferencia significativa entre ellos. El valor elevado en melloco amarillo guarda relación con la cantidad baja de sólidos totales que este tubérculo presenta (Tabla 1), debido a que existe una relación inversamente proporcional entre estos componentes y el calor específico (Coimbra et al., 2006). Mientras que los valores bajos obtenidos en extracto de papa china y zanahoria blanca guardan relación con el alto contenido de humedad (Tabla 2).

Tabla 2. Contenido de humedad en extracto de cuatro tubérculos

Componente	Tipo de tubérculo			
	Melloco amarillo	Zanahoria blanca	Papa china	Achira
Humedad %	89.95	83.3	82.79	80.7

Fuente: Autora

En la variable “forma de determinación”, el calor específico presenta valores superiores en extracto, ya que los líquidos poseen espacios intermoleculares amplios que permiten a las partículas moverse rápidamente en términos de su vibración, rotación y translación, provocando un flujo de calor rápido (Pasquali et al., 2005). En así que, extracto de achira presenta valores muy superiores frente a la muestra entera; esto puede relacionarse con la baja cantidad de sólidos presentes debido al proceso de extracción, mismo que retiene la mayor cantidad de fibra y almidón, pudiendo obtenerse una viscosidad similar a la de un zumo filtrado.

En este sentido, **Sulla (2016)**, concuerda con los resultados observados, mismo que son similares a los reportados en zumo filtrado de fresa, con contenido de almidón inferior al 53%. En este caso se presentan valores altos de calor específico altos para zumo de fresa filtrado y natural (4.03 y 3.72 kJ/kg°C respectivamente).

Para la variable “temperatura” se presentan valores superiores a 12°C, siendo significativamente diferentes con la otra temperatura de estudio (4°C) en melloco amarillo y achira. Este fenómeno puede deberse a los efectos cuánticos que hacen que los modos de vibración sólo estén accesibles a medida que aumenta la temperatura (**Ortiz, 2003**). Se ha observado un efecto similar en jugo de yacón y lulo que presentan dependencia lineal con la temperatura (**Jara, 2012**). Sin embargo, **Giraldo et al. (2010)**, mencionan que el calor específico se ve afectado en mayor grado por el contenido de agua que por la temperatura.

Finalmente, al comparar los resultados experimentales de calor específico frente a los calculados con las ecuaciones teóricas propuesta por **Choi y Okos (1986)**, no se observó ninguna diferencia significativa debido a la confiabilidad del método, lograda mediante una correcta calibración (Tabla 3).

Tabla 3. Calor específico para cuatro tubérculos andinos

Tipo de tubérculo	Temperatura °C	Forma de determinación	Calor específico (kJ/kg°C)	
			Experimental	Bibliográfico
Melloco amarillo	4	Entero	3.8079 ± 0.04 ^{a, m, x}	3.8469
		Extracto	3.9553 ± 0.004 ^{a, m, y}	3.9127
	12	Entero	3.9752 ± 0.01 ^{a, n, x}	3.8488
		Extracto	4.0159 ± 0.01 ^{a, n, y}	3.9142
Zanahoria blanca	4	Entero	3.5509 ± 0.003 ^{b, m, x}	3.5341
		Extracto	3.7340 ± 0.01 ^{b, m, y}	3.7385
	12	Entero	3.6863 ± 0.01 ^{b, n, x}	3.5377
		Extracto	3.7707 ± 0.01 ^{b, n, y}	3.7410
Papa china	4	Entero	3.5473 ± 0.01 ^{b, m, x}	3.3737
		Extracto	3.6319 ± 0.01 ^{b, m, y}	3.6989
	12	Entero	3.6547 ± 0.01 ^{b, n, x}	3.3783
		Extracto	3.7614 ± 0.01 ^{b, n, y}	3.7016
Achira	4	Entero	3.5568 ± 0.01 ^{c, m, x}	3.402
		Extracto	4.1457 ± 0.03 ^{c, m, y}	3.6704
	12	Entero	3.6347 ± 0.01 ^{c, n, x}	3.4064
		Extracto	4.3695 ± 0.001 ^{c, n, y}	3.6732

Promedio y desviación estándar de tres réplicas por triplicado. Superíndices 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.

3.2 Conductividad térmica

En este caso se consideraron las variables “tipo de tubérculo” y “forma de determinación”, observándose diferencias significativas en ambas variables ($p \leq 0.05$). En cuanto a la primera variable, melloco amarillo y zanahoria blanca presentan valores más elevados debido a que contienen altas fracciones de agua (87.2% y 75.4 % respectivamente). Por otra parte, papa china y achira no presentan diferencias significativas, debido principalmente a su similitud en la cantidad de materia seca compuesta principalmente de carbohidratos (Tabla 1).

En la variable “forma de determinación” también se observan diferencias significativas, presentando el extracto valores superiores debido a la reducción del aire en espacios libres, porosidad y componentes sólidos. Además, **Coaricona (2010)**, menciona que el cambio de dirección de estructuras fibrosas, altos niveles de sólidos y aire atrapado disminuye consecuentemente la conductividad térmica, debido a que este último actúa como un aislante (conductividad térmica del aire: $0.024 \text{ W/m}^\circ\text{C}$). Similar efecto se ha observado en granos de quinoa (**Nils Huamán et al., 2016**) y en acerola fresca (cereza de las Indias Occidentales, nativa de las regiones tropicales del hemisferio occidental) (**Arrázola et al., 2014**).

Al analizar la interacción entre “forma de determinación” y “tipos de tubérculos” se observa que solamente papa china presenta valores muy superiores en extracto frente a la muestra entera en estudio. Este comportamiento puede deberse a una obstrucción del flujo de calor a través del alimento entero por factores de estructura celular, homogeneidad (espacios vacíos), forma y tamaño de la matriz alimentaria (**Zambrano del Pino & Yupanqui, 2016**).

En este sentido, estudios realizados por **Salcedo et al. (2018)**, en trozos de ñame reportan un valor de $0.495 \text{ W/m}^\circ\text{C}$; mientras que naranja presenta valores de 0.588 y $0.6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ entera y en extracto respectivamente (**Ikegwu & Ekwu, 2009**), corroborando que esta propiedad térmica tiene una relación con respecto al tipo de matriz (sólida y líquida).

Finalmente, se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores experimentales y bibliográficos calculados mediante las ecuaciones teóricas propuesta por **Choi y Okos (1986)**, debido probablemente a las pérdidas de calor ocurridas en el equipo (**Von Herzen & Maxwell, 1959**). Esta inconformidad fue reportada por **Llerena y Erazo (2002)**, quienes sugieren asegurar que el eje de la sonda térmica este totalmente embebido en la muestra. Así mismo, se debe a que la ecuación utilizada es netamente empírica y proporciona valores de forma general, que contribuyen a obtener resultados referenciales.

Tabla 4. Conductividad térmica para cuatro tubérculos andinos

Tipo de tubérculo	Forma de determinación	Conductividad térmica (W/m°C)	
		Experimental	Bibliográfico
Melloco amarillo	Entero	0.671 ± 0.006 ^{a, x}	0.5726
	Extracto	0.6864 ± 0.009 ^{a, y}	0.5835
Zanahoria blanca	Entero	0.6589 ± 0.007 ^{b, x}	0.5412
	Extracto	0.6757 ± 0.007 ^{b, y}	0.5661
Papa china	Entero	0.6333 ± 0.009 ^{c, x}	0.5218
	Extracto	0.6687 ± 0.004 ^{c, y}	0.562
Achira	Entero	0.6471 ± 0.002 ^{c, x}	0.5241
	Extracto	0.6563 ± 0.002 ^{c, y}	0.559

Promedio y desviación estándar de tres réplicas por triplicado. 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.

3.3 Difusividad térmica

Existen diferencias estadísticamente significativas entre los tubérculos analizados ($p \leq 0.05$). Melloco amarillo presenta valores de difusividad térmica elevados, mientras que papa china y zanahoria blanca muestran valores más bajos, sin diferencia significativa entre ellos. Dicha propiedad, al igual que las otras dos propiedades térmicas previamente analizadas (c_p y α), está relacionada con el porcentaje de humedad y sólidos que la muestra presenta. Según **Kerry et al. (2002)**, las variaciones de difusividad térmica pueden ser causadas por los tipos de agua, tanto libre como ligada, y la orientación de las fibras en el alimento, así como la absorción monomolecular y la microcapilaridad. Este efecto se observó en carne de alpaca (**N. Huamán & Ancco, 2012**).

En cuanto a la variable “forma de determinación”, presentan valores superiores las muestras en extracto con una notable diferencia en todos los tubérculos. Esta relación se debe a la transferencia de calor por convección, ya que el extracto al presentar resistencias internas pequeñas al flujo de energía, incrementa la velocidad del mismo, y por ende los valores de difusividad térmica (**Clemente, 2003**). Por otro lado, se observa que melloco amarillo y achira presentan valores muy superiores en extracto frente a la muestra entera, se justifica por lo que esta propiedad, es una magnitud que depende proporcionalmente de la conductividad térmica y es inversamente proporcional al calor específico y a la densidad del alimento; es decir, al ascender la conductividad térmica y decrecer la densidad en los líquidos ocasiona un aumento de la difusividad térmica (**Policarpo et al., 2003**). Este efecto se ha observado también en pulpa de noni (**García, 2009**) y en puré de mango (**Jaya & Das, 2003**).

Con respecto a la variable “temperatura”, se observan valores superiores a 70°C con diferencia significativa en todos los tubérculos ($p \leq 0.05$). Esto se debe a que las moléculas de los alimentos se mueven más rápido al incrementar la temperatura, como consecuencia de la modificación en su estructura (ruptura de moléculas), lo que indica que a mayor temperatura de exposición menor es el tiempo para alcanzar la temperatura deseada (**Muñoz, 2002**). Este fenómeno se ha observado en pulpa de macambo, donde a 50 y 70°C se obtuvo una difusividad térmica de 1.731×10^{-7} y $2.0756 \times 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ respectivamente (**Ballón, 2016**).

En este mismo sentido, según **Rubiano et al. (2015)**, la variación existente en la difusividad térmica es clara cuando la temperatura tiene un aumento en intervalos de 10°C, por el contrario, en intervalos bajos, se observa una gran similitud debido a que la velocidad de transferencia de calor permanece constante, encontrando en zumo de limón valores de 1.23×10^{-7} y $1.25 \times 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a 70 y 75°C, respectivamente.

Los análisis estadísticos muestran diferencias significativas entre los valores experimentales y bibliográficos ($p \leq 0.05$). Esta variabilidad puede deberse a que el cilindro no se llenó con la muestra de manera óptima, lo que produjo un ingreso de aire aumentando el efecto de convección. Además, **Dickerson (1965)**, indicó que este puede ser usado con un margen de error de aproximadamente 5% con respecto a ecuación propuesta por **Choi y Okos (1986)**. Similar error se ha observado en estudio de pasta de murta (**Muñoz, 2002**).

Tabla 5. Difusividad térmica para cuatro tubérculos andinos

Tipo de tubérculo	Temperatura °C	Forma de determinación	Difusividad térmica m^2/s	
			Experimental	Bibliográfico
Melloco amarillo	50	Entero	$1.03 \times 10^{-7} \pm 1.5 \times 10^{-9} \text{ a, m, x}$	1.52×10^{-7}
		Extracto	$1.62 \times 10^{-7} \pm 1.9 \times 10^{-9} \text{ a, m, y}$	1.53×10^{-7}
	70	Entero	$1.11 \times 10^{-7} \pm 3.7 \times 10^{-9} \text{ a, n, x}$	1.59×10^{-7}
		Extracto	$1.76 \times 10^{-7} \pm 2.3 \times 10^{-9} \text{ a, n, y}$	1.6×10^{-7}
Zanahoria blanca	50	Entero	$9.97 \times 10^{-8} \pm 2.7 \times 10^{-9} \text{ b, m, x}$	1.48×10^{-7}
		Extracto	$1.45 \times 10^{-7} \pm 2.8 \times 10^{-9} \text{ b, m, y}$	1.51×10^{-7}
	70	Entero	$1.06 \times 10^{-7} \pm 8.2 \times 10^{-10} \text{ b, n, x}$	1.54×10^{-7}
		Extracto	$1.56 \times 10^{-7} \pm 3.2 \times 10^{-9} \text{ b, n, y}$	1.57×10^{-7}
Papa china	50	Entero	$9.91 \times 10^{-8} \pm 7.4 \times 10^{-10} \text{ b, m, x}$	1.45×10^{-7}
		Extracto	$1.49 \times 10^{-7} \pm 4.4 \times 10^{-9} \text{ b, m, y}$	1.5×10^{-7}
	70	Entero	$1.01 \times 10^{-7} \pm 7 \times 10^{-10} \text{ b, n, x}$	1.51×10^{-7}
		Extracto	$1.57 \times 10^{-7} \pm 3.1 \times 10^{-9} \text{ b, n, y}$	1.57×10^{-7}
Achira	50	Entero	$9.95 \times 10^{-8} \pm 7.2 \times 10^{-10} \text{ c, m, x}$	1.45×10^{-7}
		Extracto	$1.61 \times 10^{-7} \pm 1.9 \times 10^{-9} \text{ c, m, y}$	1.5×10^{-7}
	70	Entero	$1.01 \times 10^{-7} \pm 1.2 \times 10^{-9} \text{ c, n, x}$	1.51×10^{-7}
		Extracto	$1.71 \times 10^{-7} \pm 2.1 \times 10^{-9} \text{ c, n, y}$	1.56×10^{-7}

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

3.4 Correlaciones entre propiedades térmicas y temperatura

3.4.1 Correlación entre calor específico y temperatura

La Tabla 6 muestra las ecuaciones lineales de calor específico obtenidas a partir de la correlación entre la variable respuesta y la temperatura. Estos modelos matemáticos son una alternativa para la predicción del calor específico de forma general para estos alimentos, evidenciando una dependencia lineal frente a la temperatura.

Tabla 6. Ecuación de correlación entre calor específico y temperatura

Tipo de tubérculo	Entero	Extracto
Meloco amarillo	$c_p = 3.6766 + 0.0249 T$	$c_p = 3.875 + 0.0117 T$
Zanahoria blanca	$c_p = 3.4833 + 0.017 T$	$c_p = 3.7156 + 0.0046 T$
Papa china	$c_p = 3.4935 + 0.0134 T$	$c_p = 3.5671 + 0.0162 T$
Achira	$c_p = 3.5164 + 0.0101 T$	$c_p = 4.1005 + 0.0613 T$

3.4.2 Correlación entre difusividad térmica y temperatura

En la Tabla 7 se muestran las ecuaciones lineales de difusividad térmica obtenidas a partir de la correlación entre la variable respuesta y la temperatura. Al igual que en el calor específico, estos modelos matemáticos permiten la predicción de difusividad térmica de manera general, observando una influencia directa de esta variable con la temperatura.

Tabla 7. Ecuación de correlación entre difusividad térmica y temperatura

Tipo de tubérculo	Entero	Extracto
Meloco amarillo	$\alpha = 8.27 \times 10^{-8} + 4 \times 10^{-10} T$	$\alpha = 1.26 \times 10^{-7} + 7.2 \times 10^{-10} T$
Zanahoria blanca	$\alpha = 8.37 \times 10^{-8} + 3.2 \times 10^{-10} T$	$\alpha = 1.19 \times 10^{-7} + 5.4 \times 10^{-10} T$
Papa china	$\alpha = 9.49 \times 10^{-8} + 8.3 \times 10^{-11} T$	$\alpha = 1.3 \times 10^{-7} + 3.8 \times 10^{-10} T$
Achira	$\alpha = 9.51 \times 10^{-8} + 8.7 \times 10^{-11} T$	$\alpha = 1.35 \times 10^{-7} + 5.2 \times 10^{-10} T$

3.5 Determinación de propiedades térmicas mediante calorimetría diferencial de barrido

La evaluación de la confiabilidad de las mediciones (propiedades térmicas) es de gran importancia para brindar resultados de calidad, por lo que se optó por verificar los valores de calor específico obtenidos por el método de **Hwang y Hayakawa (1979)** mediante

calorimetría diferencial de barrido (DSC). Este último es un método muy preciso para determinar dicha propiedad (precisión calorimétrica $\pm 0.5\%$) en materias agrícolas; sin embargo, tiene el inconveniente de equipo y operación costoso (N. Singh et al., 2003).

En la Tabla 8 se observan los valores de calor específico obtenidos mediante la Ecuación 4 descrito por Chiralt et al. (2007), a partir de los termogramas de DSC de cada tubérculo andino (Figura 5). Los valores obtenidos tienen una similitud frente a los valores calculados por el método de mezclas y mediante ecuaciones empíricas, a excepción de achira que presenta una notable diferencia. Esta disparidad puede deberse al tamaño reducido y la homogeneidad de la matriz (Chiralt et al., 2007), o debido a un evento de reacción de la muestra dentro de la misma región de temperatura evaluada, ocasionando resultados imprecisos (De Meyer, 1993).

El termograma (Figura 5) indica que conforme la temperatura aumenta el calor específico también se eleva, debido a que los gránulos del almidón colapsan hasta que finalmente la amilosa queda totalmente solubilizada (incremento de humedad), mientras que la parte cristalina del almidón se mantiene en la solución acuosa (Coral, 2007).

Tabla 8. Calor específico por DSC

Tipo de tubérculo	Calor específico (kJ/Kg°C)
Mel loco amarillo	3.6031
Zanahoria blanca	2.7909
Papa china	3.2543
Achira	1.5694

Con respecto a los termogramas arrojados por DSC (Figura 5), se observan las temperaturas de gelatinización (T_p) o transición térmica de los almidones en un proceso endotérmico. Se observa que el proceso comienza (ablandamiento de almidones) a 61.11; 60.49; 78.88 y 64.52°C para mel loco amarillo, zanahoria blanca, papa china y achira respectivamente.

Estas temperaturas están relacionadas con un alto orden molecular que ocasiona el retardo de la gelatinización, evidenciando que papa china es la muestra más difícil de hidratar, posiblemente debido al mayor contenido de amilosa (Rivas, 2012). Además, la T_p más baja se presenta en mel loco amarillo (Tabla 9). Este efecto guarda relación con el tamaño de los gránulos de almidón de papa china, que son más pequeños frente a otros tubérculos (1-6.5; 5.86-9.57; 16.45-24.06 y 34.69-58.9 μm de diámetro para papa china, zanahoria blanca, mel loco amarillo y achira respectivamente).

Este parámetro también concuerda con el nivel de digestibilidad y con la capacidad de resistencia a procesos con altas temperaturas como la esterilización (Álzate et al., 2013). Así mismo, también podrían estar relacionadas con el contenido de amilosa, ya que algunos autores han concluido que las temperaturas de transición son directamente proporcionales con el porcentaje de amilosa (Bou et al., 2006; Hugo, 2014; Salinas et al., 2003).

Adicionalmente, todas las temperaturas de gelatinización se asemejan a las observadas en almidón de papa (65.8°C); solamente papa china presenta diferencia, siendo más similar al valor observado en almidón de arroz (75.2°C) (Zárate & Ramírez, 2014). Al comparar las temperaturas de los picos frente a estudios previos, se obtienen valores de 63, 60, 80 y 65°C para melloco, zanahoria blanca, papa china y achira (Nwokocha et al., 2008; Yaruro, 2018). Se observa diferencia en zanahoria blanca, que se atribuye a la variación entre el contenido de amilosa y amilopectina que cambia de acuerdo al origen botánico del almidón, el clima y tipo de suelo (Londoño et al., 2018; Tapia, 1996).

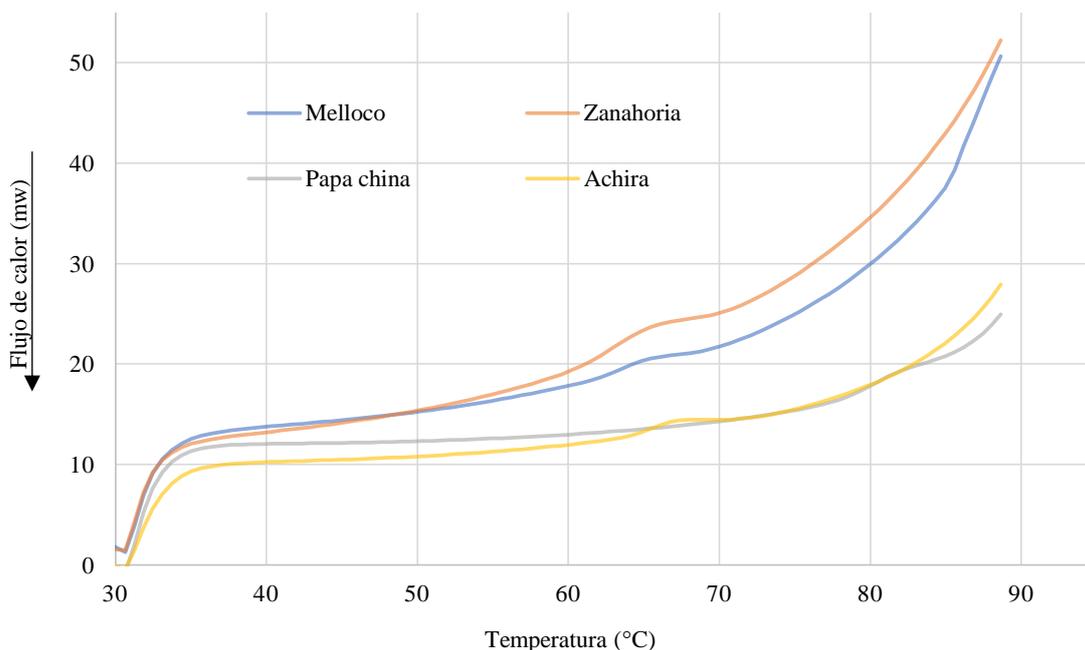


Figura 5. Termograma de melloco amarillo, zanahoria blanca, papa china & achira

Así mismo, en la Tabla 9 se muestran las entalpías de gelatinización que oscilan desde 1.7191 y 3.673 J/g para papa china y zanahoria blanca respectivamente, evidenciando que este último necesita mayor calor para que ocurra un cambio de fase. Estos resultados se valida con lo descrito por (Martínez et al., 2005), quienes indican que probablemente un

mayor contenido de estructuras cristalinas (amilopectina) en el almidón exige una mayor cantidad de energía para gelatinizar sus gránulos. Varios estudios respaldan esta afirmación en experimentos que evalúan los procesos de gelatinización de harina de yuca (**Cajiao et al., 2016**), la estructura y funcionalidad de los almidones de cebada (**Czuchajowska et al., 1998**) y la evaluación de las propiedades fisicoquímicas, térmicas y microestructurales del almidón de achira (**Yaruro, 2018**).

Las entalpías reportadas en bibliografía son superiores a los valores obtenidos experimentalmente. Por ejemplo para melloco amarillo se reporta un valor de 12.32 J/g (**Pacheco et al., 2019**), para zanahoria blanca 17.6 J/g (**Santacruz et al., 2002**), para papa china 10.6 J/g (**Agama-Acevedo et al., 2011**), mientras que para achira se reporta un valor de 0.618-3.553 J/g (**Yaruro, 2018**). Las diferencias significativas pueden deberse a que las muestras fueron analizadas en base húmeda, y de acuerdo a **Pineda-Gómez et al. (2010)** el valor de la entalpía disminuye a medida que la cantidad de agua aumenta.

Tabla 9. Temperatura y entalpia de gelatinización

Parámetros	Tipo de tubérculo			
	Melloco amarillo	Zanahoria blanca	Papa china	Achira
AH (J/g)	3.503	3.673	1.719	2.641
T. inicial _g (°C)	61.12	60.49	78.88	64.52
T. Pico _g (°C)	65.04	65.19	82.03	67.33
T. final _g (°C)	69.64	69.81	85.58	71.52
% amilosa*	26	20	28	27
% amilopectina*	74	80	72	73

* Fuente: Fairlie et al. (1999) y (Songor & Tenesaca, 2019).

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Las propiedades térmicas de los tubérculos andinos varían de acuerdo con la composición y porosidad de los alimentos, siendo en el factor predominante el porcentaje de humedad y de componentes sólidos.
- Melloco amarillo y papa china presentan comportamiento opuesto, siendo el calor específico elevado en el primer alimento y bajo en el segundo caso, debido a que esta propiedad térmica tiene una dependencia directa con el contenido de humedad. Por otro lado, se obtienen valores elevados de calor específico al trabajar en extracto, debido a que los líquidos poseen espacios intermoleculares amplios y menor cantidad de materia seca.
- Entre la conductividad térmica y el contenido de sólidos de las muestras existe una relación inversamente proporcional, debido a esto melloco amarillo y zanahoria blanca presentan valores superiores frente a papa china y achira (alimentos que presentan menor fracción de agua). Además, los valores de esta propiedad térmica son superiores al trabajar en extracto debido a la reducción del aire en los espacios libres y de los componentes sólidos.
- La difusividad térmica es inversamente proporcional a la cantidad de componentes sólidos que presenta la muestra y directamente proporcional a la temperatura y la humedad. Así mismo, se observan valores elevados al trabajar en extracto debido a la densidad y a las pequeñas resistencias a la transferencia de calor en este tipo de matrices alimenticias.
- Los valores experimentales presentan diferencias significativas frente a los valores bibliográficos determinados mediante ecuaciones empíricas, a excepción del calor específico. Dichas discrepancias se deben a las pérdidas de calor en los equipos de medida y a los márgenes de error que la metodología previamente define.

- Los valores de calor específico obtenidos por Calorimetría Diferencial de Barrido no presentan diferencias frente a los valores bibliográficos y a los obtenidos experimentalmente, a excepción de achira debido a que la muestra no fue homogénea. En los termogramas se observa un proceso endotérmico de gelatinización, evidenciando que la zanahoria blanca necesita mayor calor para lograr este cambio de fase, mientras que papa china presenta temperatura de gelatinización más alta, este efecto guarda relación con el contenido de amilosa y tamaño de los gránulos de almidón.

4.2 Recomendaciones

- Evaluar las propiedades térmicas en función de humedad para predecir el calor específico, conductividad y difusividad térmica mediante un modelo matemático de forma general.

MATERIALES DE REFERENCIA

5.1 BIBLIOGRAFÍA

- Agama-Acevedo, E., García-Suárez, F. J., Gutiérrez-Meraz, F., Sánchez-Rivera, M. M., San-Martín, E., & Bello-Pérez, L. A. (2011). Isolation and partial characterization of Mexican taro (*Colocasia esculenta* L.) starch. *Starch-Stärke*, 63(3), 139-146. doi: <https://doi.org/10.1002/star.201000113>
- Aguado, J. (1999). *Ingeniería de la Industria Alimentaria: Conceptos Básicos* (Vol. 1). España: Editorial Síntesis.
- Alvarado, J. d. D. (1996). *Principios de ingeniería aplicados a alimentos*. Ambato, Ecuador: Editorial OEA.
- Alvarado, J. d. D., & Aguilera, J. M. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Zaragoza.
- Alvis, A., Caicedo, I., & 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. doi: [org/10.4067/S0718-07642012000100012](https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100012)
- Álzate, E. N., Quintero, V., & Lucas, J. C. (2013). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*Erythraea edulis* Triana Ex Micheli). *18(2)*, 21-35.
- Arrázola, G., Alvis, A., & Páez, M. (2014). Composición, análisis termofísico y sensorial de frutos colombianos. Parte 2: Acerola (*Malpighia emarginata* L.). *Información tecnológica*, 25(3), 23-30.
- Badui, D. S. (2006). *Química de los alimentos* (Cuarta Edición ed.). México: Pearson Educación.

- Ballón, S. (2016). *Determinación de las propiedades termofísicas de la pulpa de Macambo (theobroma bicolor) a diferentes temperaturas*. (Ingeniería Agroindustrial), Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía Yarinacocha Ucayali-Perú.
- Barreiro, J. A., & Sandoval, A. J. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*: Equinoccio.
- Barrera, V., Espinosa, A., Tapia, B., Monteros, Á., & Valverde, F. (2004). Caracterización de las raíces y los tubérculos andinos en la Ecoregión Andina del Ecuador *Raíces y Tubérculos Andinos :Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*. Ecuador: INIAP.
- Barrera, V., Tapia, C., & Monteros, Á. (2003). *Raíces y tubérculos andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador* (Vol. 4). Ecuador: International Potato Center.
- Bou, L., Vizcarrondo, C. A., Rincón, A. M., & Padilla, F. (2006). Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56(4), 375-383.
- Bradbury, J. H., & Holloway, W. D. (1988). Chemistry of tropical root crops: significance for nutrition and agriculture in the Pacific.
- Caicedo, O. (2013). Tubérculos de papa china (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) como una fuente energética tropical para alimentar cerdos. Una reseña corta sobre las características de la composición química y de los factores antinutricionales. *Revista Computadorizada de Producción Porcina Volumen*, 20(1).
- Caicedo, Q., Rodríguez, B., & Valle, R. (2014). Una reseña sobre el uso de tubérculos de papa china *Colocasia esculenta* conservados en forma de ensilaje para alimentar cerdos. *REDVET - Revista Electrónica de Veterinaria*, 15(1), 1-10.
- Cajiao, E. S., Bustamante, L. E., Cerón, A. R., & Villada, H. S. (2016). Efecto de la gelatinización de harina de yuca sobre las propiedades mecánicas, térmicas y microestructurales de una matriz moldeada por compresión. *Información*

tecnológica, 27(4), 53-62. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000400006>

- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa* (Tercera ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana.
- Clemente, G. (2003). *Efecto de la contracción en la cinética de secado de músculos de jamón*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Coaricona, F. (2010). *Simulación del comportamiento de la difusividad térmica del masato (Masa de yuca fermentada diluida), en función al porcentaje de humedad*. (Ingeniero en Industrias Alimentarias), Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.
- Coba, J. (2019). Fanesca: propiedades nutritivas, medicinales, yin y yang de sus ingredientes. *Universidad Andina Simón Bolívar*.
- Coimbra, J., Gabas, A., Minim, L., García, E., Vânia, T., & Telis-Romero, J. (2006). Density, heat capacity and thermal conductivity of liquid egg products. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 186-190.
- Conrado, K. (2018). *Determinación de propiedades térmicas de oca (Oxalis tuberosa), jícama (Smallanthus sonchifolius), mashua (Tropaeolum tuberosum) y camote (Ipomoea batatas)*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos ..., Ambato-Ecuador.
- Coral, D. (2007). *Caracterización térmica de biopolímeros derivados del maíz: almidón*. Universidad Nacional de Colombia.
- Czuchajowska, Z., Klamczynski, A., Paszczynska, B., & Baik, B. K. (1998). Structure and functionality of barley starches. *Cereal Chemistry*, 75(5), 747-754.
- Chiralt, A., Martínez, N., González, C., Talens, P., & Moraga, G. (2007). *Propiedades físicas de los alimentos*. Departamento de Tecnología en Alimentos, Valencia-España.
- Choi, Y., & Okos, M. R. (1986). Effects of temperature and composition on the thermal properties of food. *Food engineering and process applications, 1: Transport Phenomena*, 93-101.

- De Meyer, A. (1993). Management of an international network of industrial R&D laboratories. *r&d management*, 23(2), 109-120. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.1993.tb00079.x>
- Dickerson, R. W. (1965). An apparatus for measurement of thermal diffusivity of foods. *Food Technology*, 19(5), 198-204.
- Escudero, E., & 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. *INIAP-Acta Científica Ecuatoriana*, 7(1).
- Espín, S., Villacrés, E., & Brito, B. (2004). Caracterización físico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*: INIAP.
- Fairlie, T., Bermúdez, M., & Holle, M. (1999). *Raíces y tubérculos andinos: avances de investigación*: International Potato Center.
- Fourty, A., Bertinetti, M. d. I. A., & Foussats, A. (2003). Calor específico y Calorimetría *Física II*.
- Fries, A. M., & Tapia, M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos* (Primera edición ed.): FAO, ANPE-PERÚ.
- García, E. (2009). *Determinación de la difusividad térmica en pulpa de noni (Morinda citrifolia, L), en función de la temperatura*. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María-Perú.
- Giraldo, G. I., Gabas, A. L., Nicoletti, V., & Telis, J. (2010). Propiedades termofísicas del jugo concentrado de lulo a temperaturas por encima del punto de congelación. *Food Science and Technology*, 30, 90-95.
- Hermann, M. (1994). Achira and arracacha: Processing and product development. *CIP circular*.

- Huamán, N., & Ancco, T. (2012). Determinación de la conductividad térmica en carne de alpaca (*Lama pacos*) en congelación. *Journal de ciencia y tecnología agraria.*, 2, 325.
- Huamán, N., Yupanqui, G., Allcca, E., & 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.
- Hugo, M. (2014). *Influencia de la sustitución parcial de harina de trigo (triticum aestivum l.) Por almidón de achira (canna edulis) En las características calóricas, físico-químicas y Organolépticas del cupcake.* (Ingeniería Agroindustrial), Universidad Estatal Amazónica, Puyo-Ecuador.
- Hwang, M. P., & Hayakawa, K. i. (1979). A specific heat calorimeter for foods. *Journal of Food Science*, 44(2), 435-448.
- Ikegwu, O. J., & Ekwu, F. C. (2009). Thermal and physical properties of some tropical fruits and their juices in Nigeria. *Journal of food technology*, 7(2), 38-42.
- Jara, R. (2012). *Determinación de la conductividad térmica de la pulpa del yacón (Smallanthus sonchifolius) en función de la humedad y la temperatura.* (Ingeniero en Industrias Alimentarias), Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María -Perú.
- Jaya, S., & Das, H. (2003). A vacuum drying model for mango pulp. *Drying technology*, 21(7), 1215-1234.
- Jordán, R. (2018). *Desarrollo de una fórmula para un postre instantáneo a partir de harinas de zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) y zapallo (Cucurbita maxima Duchesne).* (Ingeniera Agroindustrial), Universidad Católica de Santiago de Guayaquil Guayaquil
- Kerry, J. P., Kerry, J. F., & Ledward, D. (2002). *Meat processing: improving quality.* USA-North América Elsevier.
- Lata, C. (2011). *Determinación de propiedades térmicas en tubérculos andinos mediante calorimetría.* (Ingeniero en Alimentos), Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador.

- León, E., Villacorta, Y., & Flores, E. (2011). Composición química de “oca”(Oxalis tuberosa), „arracacha“(Arracacia xanthorrhiza) y "tarwi"(Lupinus mutabilis). Formulación de una mezcla base para productos alimenticios. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2(2), 239-252.
- Londoño, S. M., Rincón, N., Contreras, M., Millan, B. M., & Rodriguez, M. E. (2018). Morphological, structural, thermal, compositional, vibrational, and pasting characterization of white, yellow, and purple Arracacha lego-like starches and flours (Arracacia xanthorrhiza). *International journal of biological macromolecules*, 113, 1188-1197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.021>
- Lozada, A. (2005). *Producción del cultivo de papa china (colocasia esculenta) utilizado dos métodos de propagación asexual bajo cuatro niveles de fertilización orgánica*. ESPE-IASA, Sangolquí-Quito.
- Llerena, D. A., & Erazo, M. P. (2002). *Diseño y construcción de un medidor de termoconductividad para suelo y rocas suaves usando un microcontrolador PIC*. (Ingeniero en Electrónica y Control), Quito: EPN, 2002.
- Martínez, F., López, M., Zazueta, J. J., & Morales, E. (2005). Preparación y Propiedades de Almidones Pregelatinizados de Yuca (Manihot esculenta. Crantz) y Jícama (Pachyrhizus erosus) usando calentamiento óhmico. *Agrociencia*, 39(3), 275-283.
- Mohsenin, N. N. (1980). Thermal properties of foods and agricultural materials. *Gordon and Breach, Science Publishers, Inc. New York. USA*, 55, 470.
- Montaldo, A. (1991). *Cultivo de raíces y tubérculos tropicales* (Segunda Edición ed.). San José, Costa Rica: Agroamérica.
- Múnera, R., & Ilva, A. (2013). *Termodinámica*. Palmira: Universidad Nacional a Distancia.
- Muñoz, J. (2002). *Determinación de la difusividad térmica en pasta de murta (Ugni molinae Turcz) en función de la temperatura*. (Tesis Ingeniero en Alimentos), Universidad Austral, Valdivia-Chile.
- Novoa, M. L. (2006). *Proyecto de Factibilidad para la Instalación de una Planta Procesadora de Almidón de Achira en la Provincia de Loja*. Quito: USFQ, 2006.

- Nwokocha, L. M., Aviara, N. A., Senan, C., & Williams, P. A. (2008). A comparative study of some properties of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) and cocoyam (*Colocasia esculenta*, Linn) starches. *Carbohydrate Polymers*, 76(3), 362-367.
- Orrego, C. (2003). *Procesamiento de alimentos* (Primera Edición ed.). Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Ortiz, A. L. (2003). *Biblia de la Físico-Química*.
- Pacheco, M. T., Moreno, F. J., Moreno, R., & Villamiel, M. (2019). Morphological, technological and nutritional properties of flours and starches from mashua (*Tropaeolum tuberosum*) and melloco (*Ullucus tuberosus*) cultivated in Ecuador. *Food chemistry*, 125268.
- Paredes, F. (2016). *Alternativas en el uso y aplicación de la zanahoria blanca para la gastronomía en el cantón Ambato*. Universidad Regional Autónoma de los Andes "UNIANDES".
- Pasquali, R. C., Bregni, C., & Serrao, R. (2005). Estructura de las principales fases líquido-cristalinas liotrópicas. *Acta Farmacéutica Bonaerense*, 24(3), 453.
- Pawar, Y. B., Shete, G., Popat, D., & Bansal, A. K. (2012). Phase behavior and oral bioavailability of amorphous Curcumin. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 47(1), 56-64.
- Pazos Proaño, G. (2017). *Desarrollo de un prototipo de snack crocante salado con tres tubérculos andinos*. (Ingeniero Agroindustrial), Quito: Universidad de las Américas, 2017.
- Pineda-Gómez, P., Coral, D. F., Arciniegas, M. L., Rorales-Rivera, A., & Rodríguez-García, M. E. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y ciencia*, 6(11), 129-141. doi: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83516540008>
- Policarpo, V. M., Resende, J., Endo, E., Marcussi, B., Castro, F. T., Jorge, E. C., . . . Cavalcanti, N. d. B. (2003). Aprovechamiento de la pulpa de umbu (*Spondias tuberosa*, Arr. Cam.) verde como alternativa para la producción de dulces en masa

- Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)* (Vol. 334). España: Alimentaria Madrid.
- Quelal, M. B., & Huaraca, H. (2012). Raíces y tubérculos andinos: Redescubriendo conocimientos y sabores. *INIAP*.
- Ramaswamy, H. S., & Tung, M. A. (1981). Thermophysical properties of apples in relation to freezing. *Journal of Food Science*, 46(3), 724-728.
- Rivas, M. (2012). *Almidón acetilado de plátano: caracterización fisicoquímica y molecular*. Tesis Doctoral en Ciencia de Alimentos. Facultad de Química. Universidad
- Rodríguez, A., García, R., Camacho, H., & Arias, F. (2003). El almidón de achira o sagú (*Canna edulis*, Ker). Manual Técnico para su elaboración. Tibaitatá: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA.
- Rubiano, K., Cárdenas, J., & Ciro Velásquez, H. J. (2015). Evaluación de las propiedades termodinámicas y térmicas del d-limoneno encapsulado mediante secado por aspersión. *18*(2), 425-434.
- Sahin, S., & Güllüm, S. (2006). *Physical proprieties of foods* (First ed.). Ankara, Turkey: Springer.
- Salcedo, J. G., Mogollón, C. G., & Hernández, D. S. (2018). Propiedades funcionales de almidones de ñame (*Dioscorea alata*). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 16(2), 99-107.
- Salinas, Y., Pérez, P., Castillo, J., & Álvares, L. (2003). Relación de amilosa: amilopeptina en el almidón de harina nixtamalizada de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla. *Revista Fitotécnia*, 26(2), 115-121.
- Sandoval, A., Rodríguez, E., & Fernández, A. (2005). Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Dyna*, 72(146), 45-53.

- Santacruz, S., Koch, K., Svensson, E., Ruales, J., & Eliasson, A.-C. (2002). Three underutilised sources of starch from the Andean region in Ecuador Part I. Physico-chemical characterisation. *Carbohydrate Polymers*, 49(1), 63-70.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S., & Gill, B. S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food chemistry*, 81(2), 219-231.
- Singh, P., & Heldman, D. R. (1998). *Introducción a la ingeniería de los alimentos*: Acribia.
- Songor, M. J., & Tenesaca, A. d. C. (2019). *Extracción y uso de almidón de papa china (Colocasia Esculenta) en la elaboración de productos cárnicos emulsionados*. (Ingenieras Químicas), Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador.
- Sulla, R. I. (2016). *Influencia de los sólidos solubles en el calor específico de la pulpa concentrada de piña (Ananas comosus), zumo concentrado de naranja (Citrus sinensis) y comparación con los modelos matemáticos de Choi y Okos, Siebel y Heldman*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo-Perú.
- Sweat, V., & Haugh, C. (1974). A thermal conductivity probe for small food samples. *Transactions of the ASAE*, 17(1), 56-0058.
- Tapia, C. (1996). *Catálogo de recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos en Ecuador*: INIAP Archivo Histórico.
- Tapia, C., Castillo, R., & Mazón, N. (1996). *Catálogo de recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos en Ecuador*: INIAP Archivo Histórico.
- Velásquez, F. F., & Velezmoro, C. (2018). Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189-197.
- Vidaurre, J. (2015). *Modelamiento de la transferencia de calor durante el escaldado del loche (Cucurbita moschata) y papa (Solanum tuberosum)*. (Maestría en Tecnología de Alimentos), Universidad Agraria la Molina, Lima-Perú.
- Villacrés, E., Quelal, M. B., & Álvarez, J. (2013). Nutrición, procesamiento y gastronomía de raíces y tubérculos andinos en Ecuador: Una revisión bibliográfica de papa,

melloco, oca, mashua, zanahoria blanca y jícama. Ecuador: INIAP-Centro Intrnacional de Papa.

Vimos, N., Nieto, C., & Rivera, M. (1993). El melloco, características técnicas de cultivo y potencial en el Ecuador. *INIAP*.

Von Herzen, R., & Maxwell, A. (1959). The measurement of thermal conductivity of deep-sea sediments by a needle-probe method. *Journal of Geophysical Research*, 64(10), 1557-1563.

Yaruro, N. (2018). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, térmicas y microestructurales del almidón de achira (Canna edulis)*. (Ciencia y Tecnología de Alimentos), Universidad Nacional de Colombia Bogotá.

Zambrano del Pino, E., & Yupanqui, C. (2016). *Diseño y construcción de un equipo para la determinación de la conductividad térmica de alimentos sólidos mediante el Método de Fitch modificado*. (Ingeniero en Industrias Alimentarias), Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo-Perú.

Zárate, L., & Ramírez, L. (2014). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja). *Revista Latinoamericana de la papa*, 18(1), 1-24.

ANEXOS

ANEXO A. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y BIBLIOGRÁFICOS

A.1. Resultados obtenidos experimentalmente

Tabla 10. Calor específico obtenidos experimentalmente en tubérculo entero y extracto

Tipo de tubérculo	Temperatura °C	Forma de determinación	Calor específico (kJ/Kg°C)				Desviación
			R ₁	R ₂	R ₃	Promedio	
Melloco amarillo	4	Entero	3.7928	3.8600	3.7708	3.8079	0.0464
		Extracto	3.9510	3.9567	3.9582	3.9553	0.0038
	12	Entero	3.9903	3.9634	3.9719	3.9752	0.0137
		Extracto	4.0279	4.0108	4.0091	4.0159	0.0104
Zanahoria blanca	4	Entero	3.5544	3.5484	3.5501	3.5509	0.0031
		Extracto	3.7230	3.7357	3.7433	3.7340	0.0102
	12	Entero	3.6958	3.6749	3.6883	3.6863	0.0106
		Extracto	3.7611	3.7649	3.7862	3.7707	0.0135
Papa china	4	Entero	3.5419	3.5406	3.5593	3.5473	0.0104
		Extracto	3.6331	3.6184	3.6441	3.6319	0.0129
	12	Entero	3.6473	3.6668	3.6500	3.6547	0.0106
		Extracto	3.7558	3.7727	3.7555	3.7614	0.0098
Achira	4	Entero	3.5619	3.5479	3.5605	3.5568	0.0077
		Extracto	4.1229	4.1849	4.1293	4.1457	0.0341
	12	Entero	3.6516	3.6326	3.6285	3.6376	0.0123
		Extracto	4.3708	4.3682	4.3695	4.3695	0.0013

Tabla 11. Conductividad térmica obtenidos experimentalmente en tubérculo entero y extracto

Tipo de Tubérculo	Forma de Determinación	Conductividad térmica (W/m°C)				Desviación
		R1	R2	R3	Promedio	
Melloco amarillo	Entero	0.6658	0.6695	0.6777	0.6710	0.0061
	Extracto	0.6874	0.6951	0.6769	0.6864	0.0091
Zanahoria blanca	Entero	0.6654	0.6524	0.6588	0.6589	0.0065
	Extracto	0.6816	0.6780	0.6674	0.6757	0.0074
Papa china	Entero	0.6341	0.6423	0.6236	0.6333	0.0093
	Extracto	0.6638	0.6721	0.6704	0.6687	0.0044
Achira	Entero	0.6456	0.6462	0.6495	0.6471	0.0021
	Extracto	0.6575	0.6545	0.6569	0.6563	0.0016

Tabla 12. Difusividad térmica obtenidos experimentalmente en tubérculo entero y extracto

Tipo de Tubérculo	Temperatura °C	Forma de Determinación	Difusividad térmica (m ² /s)				Desviación
			R1	R2	R3	Promedio	
Melloco amarillo	50	Entero	1.0090x10 ⁻⁷	1.0380 x10 ⁻⁷	1.0272 x10 ⁻⁷	1.0247 x10 ⁻⁷	1.4660 x10 ⁻⁹
		Extracto	1.6316x10 ⁻⁷	1.5983 x10 ⁻⁷	1.6316 x10 ⁻⁷	1.6205 x10 ⁻⁷	1.9224 x10 ⁻⁹
	70	Entero	1.0636x10 ⁻⁷	1.1275 x10 ⁻⁷	1.1258 x10 ⁻⁷	1.1055 x10 ⁻⁷	3.6606 x10 ⁻⁹
		Extracto	1.7767x10 ⁻⁷	1.7372 x10 ⁻⁷	1.7767 x10 ⁻⁷	1.7636 x10 ⁻⁷	2.2795 x10 ⁻⁹
Zanahoria blanca	50	Entero	9.6631x10 ⁻⁸	1.0130 x10 ⁻⁷	1.0117 x10 ⁻⁷	9.9701 x10 ⁻⁸	2.6597 x10 ⁻⁹
		Extracto	1.4819x10 ⁻⁷	1.4270 x10 ⁻⁷	1.4534 x10 ⁻⁷	1.4541 x10 ⁻⁷	2.7449 x10 ⁻⁹
	70	Entero	1.0515x10 ⁻⁷	1.0657 x10 ⁻⁷	1.0657 x10 ⁻⁷	1.0610 x10 ⁻⁷	8.2037 x10 ⁻¹⁰
		Extracto	1.5391x10 ⁻⁷	1.5459 x10 ⁻⁷	1.5983 x10 ⁻⁷	1.5611 x10 ⁻⁷	3.2375 x10 ⁻⁹
Papa china	50	Entero	9.8673x10 ⁻⁸	9.8673 x10 ⁻⁸	9.9953 x10 ⁻⁸	9.9100 x10 ⁻⁸	7.3938 x10 ⁻¹⁰
		Extracto	1.5391x10 ⁻⁷	1.4799 x10 ⁻⁷	1.4534 x10 ⁻⁷	1.4908 x10 ⁻⁷	4.3843 x10 ⁻⁹
	70	Entero	9.9953x10 ⁻⁸	1.0117 x10 ⁻⁷	1.0117 x10 ⁻⁷	1.0077 x10 ⁻⁷	7.0332 x10 ⁻¹⁰
		Extracto	1.5368 x10 ⁻⁷	1.5983 x10 ⁻⁷	1.5675 x10 ⁻⁷	1.5675 x10 ⁻⁷	3.0736 x10 ⁻⁹
Achira	50	Entero	9.9953 x10 ⁻⁸	9.8673 x10 ⁻⁸	9.9891 x10 ⁻⁸	9.9506 x10 ⁻⁸	7.2203 x10 ⁻¹⁰
		Extracto	1.5983 x10 ⁻⁷	1.5983 x10 ⁻⁷	1.6309 x10 ⁻⁷	1.6091 x10 ⁻⁷	1.8832 x10 ⁻⁹
	70	Entero	1.0245 x10 ⁻⁷	1.0014 x10 ⁻⁷	1.0117 x10 ⁻⁷	1.0125 x10 ⁻⁷	1.1577 x10 ⁻⁹
		Extracto	1.7003 x10 ⁻⁷	1.7003 x10 ⁻⁷	1.7372 x10 ⁻⁷	1.7126 x10 ⁻⁷	2.1340 x10 ⁻⁹

A.2. Resultados bibliográficos obtenidos mediante ecuaciones de Choi y Okos (1986)

Tabla 13. Calor específico obtenidos por Choi y Okos para tubérculo entero
Calor específico parcial (kJ/Kg°C)

Componentes	C_{pi}	Mellico amarillo	Zanahoria blanca	Papa china	Achira
C_p agua	4.1759	3,6414	3.1486	2.8855	2.9231
C_p carbohidrato	1.5715	0,1619	0.3473	0.4251	0.4039
C_p ceniza	1.1147	0,0062	0.0095	0.0097	0.0078
C_p fibra	1.8672	0,0187	0.0118	0.0273	0.0149
C_p grasa	2.0012	0,0026	0.0048	0.0080	0.0020
C_p proteína	2.0225	0,0180	0.0158	0.0227	0.0546
C_{pfinal} (kJ/Kg°C)		3.8488	3.5377	3.3783	3.4064

Tabla 14. Calor específico obtenidos por Choi y Okos para tubérculo en extracto
Calor específico parcial (kJ/Kg°C)

Componentes	C_{pi}	Mellico amarillo	Zanahoria blanca	Papa china	Achira
C_p agua	4.1759	3.7562	3.4785	3.4155	3.3699
C_p carbohidrato	1.5715	0.1579	0.2624	0.2862	0.3033
C_{pfinal} (kJ/Kg°C)		3.9142	3.7410	3.7016	3.6733

Tabla 15. Conductividad térmica obtenidos por Choi y Okos para tubérculo entero

Conductividad térmica parcial (w/m°C)					
Componentes	k_i	Meloco amarillo	Zanahoria blanca	Papa china	Achira
k agua	0.6051	0.5529	0.5020	0.4711	0.4754
k carbohidrato	0.2286	0.0154	0.0348	0.0436	0.0412
k ceniza	0.3578	0.0009	0.0014	0.0014	0.0012
k fibra	0.2082	0.0017	0.0011	0.0026	0.0014
k grasa	0.2386	0.0004	0.0007	0.0012	0.0003
k Proteína	0.2027	0.0014	0.0013	0.0019	0.0046
K_{final} (w/m°C)		0.5726	0.5412	0.5218	0.5241

Tabla 16. Conductividad térmica obtenidos por Choi y Okos para tubérculo en extracto

Conductividad térmica parcial (w/m°C)					
Componentes	k_i	Meloco amarillo	Zanahoria blanca	Papa china	Achira
k agua	0.6081	0.5684	0.5404	0.5338	0.5290
k carbohidrato	0.2310	0.0151	0.0257	0.0282	0.0300
K_{final} (w/m°C)		0.5835	0.5661	0.5620	0.5590

Tabla 17. Difusividad térmica obtenidos por Choi y Okos para tubérculo entero

Difusividad térmica parcial (m²/s)					
Componentes	α_i	Mellico amarillo	Zanahoria blanca	Papa china	Achira
α agua	0.157	1.43 x10 ⁻⁰⁷	1.30 x10 ⁻⁰⁷	1.22 x10 ⁻⁰⁷	1.23 x10 ⁻⁰⁷
α carbohidrato	0.102	6.80 x10 ⁻⁰⁹	1.54 x10 ⁻⁰⁸	1.93 x10 ⁻⁰⁸	1.83 x10 ⁻⁸
α ceniza	0.140	3.00 x10 ⁻¹⁰	5.00 x10 ⁻¹⁰	6.00 x10 ⁻¹⁰	5.00 x10 ⁻¹⁰
α fibra	0.094	8.00 x10 ⁻¹⁰	5.00 x10 ⁻¹⁰	1.20 x10 ⁻⁹	6.00 x10 ⁻¹⁰
α grasa	0.105	2.00 x10 ⁻¹⁰	3.00 x10 ⁻¹⁰	5.00 x10 ⁻¹⁰	1.00 x10 ⁻¹⁰
α Proteína	0.089	6.00 x10 ⁻¹⁰	6.00x10 ⁻¹⁰	8.00 x10 ⁻¹⁰	2.00 x10 ⁻⁹
α_{final} (m²/s)		1.52 x10⁻⁰⁷	1.48 x10⁻⁰⁷	1.45 x10⁻⁰⁷	1.45 x10⁻⁰⁷

Tabla 18. Difusividad térmica obtenidos por Choi y Okos para tubérculo en extracto

Difusividad térmica parcial (m²/s)					
Componentes	α_i	Mellico amarillo	Zanahoria blanca	Papa china	Achira
α agua	0.157	1.47 x10 ⁻⁰⁷	1.40 x10 ⁻⁰⁷	1.38 x10 ⁻⁰⁷	1.37 x10 ⁻⁰⁷
α carbohidrato	0.102	6.60 x10 ⁻⁰⁹	1.13 x10 ⁻⁰⁸	1.24 x10 ⁻⁰⁸	1.32 x10 ⁻⁰⁸
α_{final} (m²/s)		1.53 x10⁻⁰⁷	1.51 x10⁻⁰⁷	1.50 x10⁻⁰⁷	1.50 x10⁻⁰⁷

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

Tabla 19. Promedio de temperaturas de transición obtenidas por DSC

Parámetros	Meloco	Zanahoria	Papa	
	Amarillo	Blanca	China	Achira
Energía (mJ)	14.4600	29.2567	9.5033	17.4067
Onset (°C)	61.1067	60.4933	78.8833	64.5200
Peak (°C)	65.0367	65.1933	82.0267	67.3267
Endset (°C)	69.6367	69.8100	85.5833	71.5167

ANEXO B. ANOVA - ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla 20. Análisis de varianza para calor específico

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Forma de determinación	1,29962	1	1,29962	314,96	0,0000
B: Temperatura	0,303977	1	0,303977	73,67	0,0000
C: Tipo de Tubérculo	1,58069	3	0,526896	127,69	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,009747	1	0,009747	2,36	0,1333
AC	1,77026	3	0,590088	143,01	0,0000
BC	0,0694745	3	0,0231582	5,61	0,0030
RESIDUOS	0,144419	35	0,00412625		
TOTAL (CORREGIDO)	5,17818	47			

Tabla 21. Análisis de varianza para conductividad térmica

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Forma de Determinación	0,00221472	1	0,0022147	53,52	0,0000
B: Tipo de Tubérculo	0,00320207	3	0,0010673	25,80	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,000574704	3	0,00019156	4,63	0,0163
RESIDUOS	0,00066205	16	0,00004137		
TOTAL (CORREGIDO)	0,00665355	23			

Tabla 22. Análisis de varianza para difusividad térmica

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Forma de Determinación	0,0	1	0,0	7385,04	0,0000
B: Temperatura	0,0	1	0,0	130,33	0,0000
C: Tipo de Tubérculo	0,0	3	0,0	67,69	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,0	1	0,0	22,19	0,0000
AC	0,0	3	0,0	38,87	0,0000
BC	0,0	3	0,0	4,65	0,0077
RESIDUOS	0,0	35	0,0		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0	47			

ANEXO C. FOTOGRAFÍAS

C.1. Tubérculos enteros



Imagen 1. Melloco amarillo



Imagen 2. Zanahoria blanca



Imagen 3. Papa china



Imagen 4. Achira

C.2. Tubérculos extractos



Imagen 5. Melloco amarillo



Imagen 6. Zanahoria blanca



Imagen 7. Papa china



Imagen 8. Achira

C.3. Aparatos y equipos



Imagen 9. Calorímetro de mezclas (calor específico)

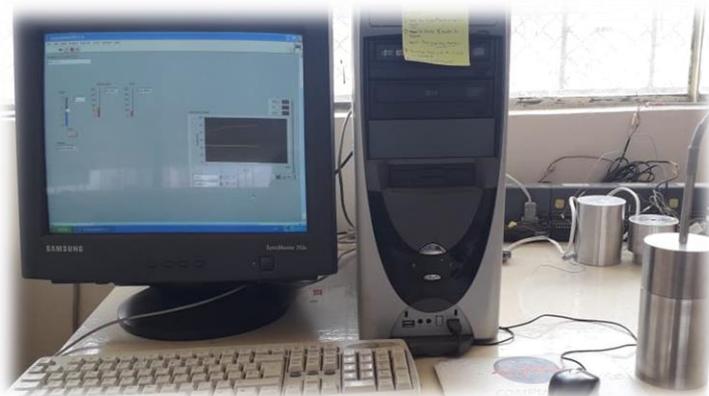


Imagen 10. Método de sonda (conductividad térmica)



Imagen 11. Método de cilindros (difusividad térmica)