

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Departamento Académico de Ciencia, Tecnología e Ingeniería de Alimentos



**“DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA
PULPA DEL YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) EN FUNCIÓN DE
LA HUMEDAD Y LA TEMPERATURA”.**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

ROLANDO JARA ACUÑA,

PROMOCIÓN 2010- II

Tingo María - PERÚ

2012



Q04

J24

Jara Acuña, Rolando

Determinación de la Conductividad Térmica de la Pulpa del Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en Función de la Humedad y la Temperatura. Tingo María, 2012

60 h.; 23 cuadros; 8 fgrs.; 43 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Industrias Alimentarias) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

1. SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS 2. PROPIEDADES TERMOFISICAS 3. PULPA - YACON 4. CONDUCTIVIDAD TERMICA 5. HUMEDAD - TEMPERATURA 6. PERU.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Av. Universitaria s/n. Teléfono (062) 561385 – Fax (062) 561156
Apart. Postal 156 Tingo María E.mail; fia@unas.edu.pe

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 26 de enero de 2012, a horas 10:00 a.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentado por el Bach. **JARA ACUÑA, Rolando**, titulada:

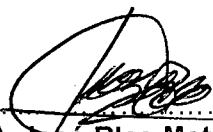
“DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LA PULPA DEL YACON (*Smallanthus sonchifolius*) EN FUNCION DE LA HUMEDAD Y LA TEMPERATURA”


Después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**; en consecuencia el Bachiller, queda apto para recibir el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias** del Consejo Universitario, de conformidad con el Art. 22° de la Ley Universitaria 23733; los artículos 51° y 52° del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 17 de febrero de 2012


.....
M.Sc. **Gunter Daza Rengifo**
Presidente


.....
Ing. **Alfredo A. Carmona Ruiz**
Miembro


.....
Ing. **José Blas Matienzo**
Miembro


.....
Ing. **Williams Roldan Carbajal**
Asesor

DEDICADO:

A DIOS:

Por ser el todopoderoso, fortaleza
de mi fe y amigo que nunca
falla; que siempre está en los momentos
más difíciles de mi vida.

A MIS PADRES:

MARIA HILDA ACUÑA Y

AGAPITO JARA CUBAS

En gratitud por su sacrificios; por
todo el apoyo que me brindan
para poder superarme y
seguir escalando en la vida; por
ser la fuente de mi inspiración.

A MIS HERMANOS:

ORLANDO, JOSUÉ,

EMERITA Y LUZANIA

por darme
ánimos, de superación
y el apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

- A mis padres y hermanos por todo su apoyo brindado, por los ánimos que me dan para seguir superándome en mi formación profesional.
- Al Ing. Williams Vicente Roldan Carbajal, por sus orientaciones y por ser patrocinador del presente trabajo de de investigación.
- Al Ing. Alfredo Abelardo Carmona Ruiz por sus orientaciones y consejos.
- Al Ing. Davy hidalgo Chavez Wiliam por brindarme su apoyo como co asesor en el desarrollo del trabajo de investigación .
- Sr. Carlos Salazar Salazar, por su apoyo y por las facilidades que me brindo durante el desarrollo del trabajo de investigación.
- Al Sr, Pedro Condori Miguel, por su apoyo incondicional en los días de trabajo para ejecutar este proyecto.
- A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria de la Selva quienes contribuyen con mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes generales.....	3
2.2. Antecedentes específicos.....	5
2.3. Definición del yacón.....	10
2.3.1. Usos y consumo tradicional.....	10
2.4. Transferencia de calor.....	12
2.5. Mecanismos de transferencia de calor.....	13
2.5.1. Transferencia de calor por conducción.....	13
2.6. Propiedades termofísicas.....	15
2.6.1. Definición de propiedades termo físicas.....	15
2.6.2. Calor específico.....	15
2.6.3. Densidad del yacón.....	16
2.6.4. Definición de difusividad térmica.....	16
2.6.5. Conductividad térmica.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Lugar de ejecución.....	19
3.2. Materia prima e insumos.....	19
3.2.1. Materia prima.....	19
3.3. Materiales y equipos.	19

3.3.1. Equipos.....	19
3.3.2. Materiales.....	20
3.4. Métodos de análisis.....	21
3.4.1. Evaluación del pH y grados brix.....	21
3.4.2. Determinación de humedad.....	21
3.4.3. Determinación de la densidad.....	21
3.4.4. Determinación de la difusividad térmica.....	22
3.4.5. Determinación del calor específico.....	23
3.4.6. Determinación de la conductividad térmica.....	24
3.5. Metodología experimental.....	25
3.5.1. Obtención de la pulpa del yacón.....	25
3.5.2. Determinación de la humedad de la pulpa del yacón.....	26
3.5.3. Acondicionamiento de la pulpa de yacón.....	26
3.5.3.1. Acondicionamiento de la pulpa del yacón con reducción de humedad.....	27
3.5.3.2. Acondicionamiento de la pulpa de yacón con incremento de humedad.....	29
3.5.4. Determinación de la densidad.....	32
3.5.5. Determinación de la difusividad térmica.....	32
3.5.6. Determinación del calor específico de la pulpa del yacón.....	33
3.5.7. Determinación de la conductividad térmica.....	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. Grados brix pH.....	34

4.2. Obtención de pulpa de yacón.....	34
4.3. Humedad de la pulpa de yacón.	35
4.4. Acondicionamiento de pulpa de yacón.....	35
4.5. Densidad.....	36
4.6. Determinación de la difusividad térmica.....	40
4.6.1. Análisis de regresión para la difusividad térmica.....	41
4.7. Determinación del calor específico de la pulpa del yacón.....	43.
4.7.1. Análisis de regresión para el calor específico de la pulpa del yacón.....	45
4.8. Determinación de la conductividad térmica.....	47
4.8.1. Análisis de regresión para la conductividad térmica en función de la humedad y la temperatura.....	48
V. CONCLUSIONES.	51
VI. RECOMENDACIONES	52
VII. ABSTRACT	53
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
IX. ANEXOS	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro:	Página
1. Propiedades térmicas del hielo.....	5
2. Conductividad térmica de de alimentos.....	6
3. Conductividad térmica de las frutas.....	6
4. Conductividad térmica del agua líquida.....	7
5. Conductividad térmica de diversos alimentos.	7
6. Conductividad térmica en polvos de magnesio.....	8
7. Conductividad y difusividad térmica del meollo de caña de azúcar.....	9
8. Balance de materia de la pulpa de yacón.....	34
9. Reducción de humedad en la pulpa de yacón.	35
10. Incremento de humedad de la pulpa del yacón.....	36
11. Valores de la densidad a diferente contenido de humedad y temperatura.....	37
12. ANVA de la regresión lineal múltiple, humedad y temperatura vs Densidad.....	38
13. Valores de la difusividad térmica a diferente contenido de humedad y temperatura.....	40
14. ANVA de la regresión lineal múltiple, humedad y temperatura vs difusividad térmica.....	41
15. Valores del calor específico de la pulpa del yacón a diferente contenido de humedad y diferente temperatura.....	44
16. ANVA de la regresión lineal múltiple, humedad y temperatura vs	

calor específico.....	45
17. Valores de la conductividad térmica a diferente contenido de humedad y temperatura.	47
18. ANVA de la regresión lineal múltiple, humedad y temperatura vs conductividad térmica.	49
19. Primera repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura...	62
20. Segunda repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura..	64
21. Tercera repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura...	67
22. Primera, segunda y tercera repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.....	70
23. Primera, segunda y tercera repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura:	Página
1. Diagrama de flujo para la obtención y acondicionamiento de la pulpa de yacón.....	27
2. Baño maría termo regulable.....	28
3. Balance de materia para el acondicionamiento de la pulpa de yacón con reducción de humedad.....	29
4. Balance de materia para el acondicionamiento de la pulpa de yacón con incremento de humedad.....	30
5. Diseño experimental para la determinación de la conductividad térmica.....	31
6. Primera repetición a 75,52 % humedad y 45 °C de temperatura	63
7. Segunda repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura...	66
8. Tercera repetición a 75,52 % humedad y 45 °C de temperatura.....	69

RESUMEN

El presente trabajo se ejecutó en la Universidad Nacional Agraria de la selva en los laboratorios de : ingeniería de alimentos, física y análisis sensorial. El yacón es un tubérculo que se cultiva en el Perú, en los siguientes departamentos (Cajamarca, Huánuco, Cuzco) y en otros países como: Ecuador, Bolivia, Venezuela y Colombia y crece entre los 1200 a 1700 m.s.n.m.

Los frutos del yacón se acopiaron en el distrito de Rupa Rupa (Tingo María) provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, los mismos que fueron licuados, envasados y almacenados a -16°C .

La conductividad térmica es una de las propiedades termofísicas que es necesario conocer su comportamiento para describir los diversos procesos térmicos, así como para optimizar el diseño y operación de los sistemas de refrigeración y congelación; también son necesarios para la investigación y las diversas aplicaciones de la ingeniería.

La conductividad térmica fue determinada a través de las tres variables independientes como son: difusividad térmica, calor específico y densidad.

El propósito del estudio fue determinar la conductividad térmica de la pulpa del yacón en función de la humedad y temperatura, desde 75,5160% de humedad hasta 86,7856% a temperaturas de $45-90^{\circ}\text{C}$ respectivamente con un valor mínimo de $(0,3039 \pm 0,0283) \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ y un valor máximo de $(0,7392 \pm 0,0341) \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$.

La regresión lineal de la conductividad térmica trata de predecir el problema o estimar la variable respuesta a partir de otra variable llamada predictora o explicativa que se muestra a continuación.

$$K = 3,21 - 0,0510 H + 0,0215 T$$

Donde:

K= conductividad térmica.

H= Humedad.

T= Temperatura.

I. INTRODUCCIÓN.

El yacón (*Smallanthus sonchifolia*) es una planta originaria de los andes de América específicamente del Perú y Bolivia desde donde su cultivo se extendió a los diferentes valles interandinos de sud América, cuyo cultivo en el Perú se remonta a las épocas de las culturas precolombinas, hasta hace pocos años atrás su cultivo estaba restringido a pequeños huertos familiares ó un número reducido de plantas asociadas con los cultivos principales de la sierra, destinado al autoconsumo o para comercializarlas conjuntamente con frutas nativas .

Actualmente el yacón, es un tubérculo de bajo costo y de muy fácil adquisición en el mercado, este tubérculo es importante porque posee alto contenido de fructooligosacarido (FOS), los cuales son considerados como fibra alimentaria que no son metabolizados por nuestro organismo; el yacón puede ser consumido en forma directa porque, cuando este tubérculo es expuesto al sol se incrementan los grados brix, es decir adquiere más concentración de azúcar.

La transferencia de calor es una operación unitaria muy importante en la industria de alimentos. En todos los procesos ocurre una entrada o una remoción de calor, que tiene como consecuencia la modificación de las características físicas, químicas o de almacenamiento del alimento, para

manejar sistemáticamente la transferencia de calor es necesario conocer las propiedades termofísicas de los alimentos, entre las cuales se tienen: el calor específico, la conductividad térmica, difusividad térmica y densidad que son datos básicos utilizados en el diseño y simulación de procesos de transferencia de calor en la ingeniería de alimentos (enfriamiento, calentamiento, secado, congelamiento, etc.), por tales razones en el presente trabajo de investigación se planteó los siguientes objetivos:

- Determinar la variación de la conductividad térmica, el calor específico, la difusividad térmica y densidad de la pulpa del yacón en función de la humedad y la temperatura.
- Proponer un modelo matemático que permita predecir la conductividad térmica de la pulpa del yacón en función de la humedad y la temperatura.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes generales.

UNKLESBAY *et al.* (1992) mencionan que la humedad se pierde por enfriamiento evaporativo y el grado de pérdida de la humedad disminuye cuando la temperatura se incrementa, por lo tanto cada una de las mezclas de extrusión de la carne disminuyeron su humedad cuando el aumento de temperatura de extrusión de la carne aumentaba.

HORI (1983) determinó la conductividad térmica de la leche descremada y requesón de leche descremada en un rango de humedad de 60-95 %. La conductividad térmica de la leche descremada disminuyó significativamente con el cambio en la estructura a través del tratamiento del cuajo a 30 °C, la conductividad térmica de la materia seca determinada sobre la base del modelo fue 0,346 W / mK para leche descremada 0,338 W / mK .

MUZILLA *et al.* (1990) determinaron el efecto del contenido de humedad en la densidad, capacidad calorífica y la conductividad en la carne de cerdo, Los valores de la densidad de las mezclas variaron de 1,02 a 1,06 g/mL, con un valor medio de 1,04 g/mL.

MICHAEL *et al.* (1980) realizaron estudios en densidad de galletas experimentando procesos de homeado, encontraron que las densidades están

estrechamente relacionados con la temperatura y la humedad durante los procesos de cocción.

MAROUSIS y SARAVACOS (1990) estudiaron la densidad del almidón seco provocando una expansión (hinchazón) de los gránulos de almidón y la disminución de la densidad de las partículas.

BAILEY (1940) afirma que las partículas formadas por varios procesos de pulverización comercial son huecas o porosas.

UNKLESBAY *et al.* (1992) realizaron estudios en propiedades de extrusión de carne, el contenido de agua, temperatura, composición y porosidad son los principales factores que afectan a la difusividad térmica. Una fuerte dependencia del contenido de agua se ha demostrado, porque la difusividad térmica depende de la conductividad térmica el calor específico y la densidad.

Según SANTI *et al.* (1979) varios investigadores han desarrollado técnicas para determinar las propiedades termofísicas de los alimentos. DICKERSON (1965) desarrolló una técnica que utiliza un tubo cilíndrico.

RAMASWAMY *et al.* (1981) determinaron las propiedades termo físicas de la manzana congelada, se encontraron los siguientes valores de conductividad térmica 0,383 y 0,368 W/mK, en comparación con el valor observado de 0,427 y 0,398 W/m°C. Los valores reportados son significativamente más altos (0,578 y 0,571), también le dio un valor más alto para las manzanas (0,55 W/m°C a 20 °C y la humedad del 85 %).

ALICIA y CALVELO (1991) estudiaron la conductividad térmica de la papa y obtuvieron a partir de la penetración de calor en muestras cilíndricas de entre 50 y 100 °C que los valores oscilaron 0,545 a 0,957 W/m°C.

Según UNKLESBAY *et al.* (1992) y BAIK *et al.* (1999), la difusividad térmica es dependiente de la temperatura se obtiene dividiendo la conductividad térmica y el producto de los calores específicos y densidades.

2.2. Antecedentes específicos.

DICKERSON (1969) menciona que las propiedades térmicas del hielo a diferentes temperaturas son las que se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Propiedades térmicas del hielo.

PROPIEDADES TERMICAS DEL HIELO			
Temperatura	Conductividad térmica (Btu/h pie°F)	Calor específico (Btu/lb°F)	Densidad (lb/pie ³)
-150	2,02	0,330	57,8
-100	1,78	0,379	57,7
-50	1,57	0,426	57,6
-10	1,39	0,459	57,4
0	1,37	0,467	57,4
10	1,34	0,475	57,4
20	1,31	0,483	57,3
32	1,28	0,492	57,2

Fuente: DICKERSON (1969).

GRATZEK y TOLEDO (1993); SWEAT (1974) realizaron investigación en conductividad térmica y manifestaron que es la medida de la capacidad para

conducir calor de un material. Para alimentos depende principalmente de su composición que se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Conductividad térmica de de alimentos.

Material	Densidad aparente (Kg/m ³)	Temperatura (°C)	Conductividad térmica (W/mK)
Aguacate	1060	28	0,429
Banano	980	27	0,481
Cebolla	970	28	0,574
Limón pelado	1000	28	0,490
Manzana roja	840	28	0,513
Naranja pelada	1030	28	0,580
Papa	1030	25	0,563
Zanahoria	1030	25	0,571

Fuente: GRATZEK Y TOLEDO (1993), SWEAT (1974)

Según HAYES (1992) la conductividad térmica de las frutas a distintas humedades y temperaturas son las que se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Conductividad térmica de las frutas.

Producto	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Conductividad térmica (W/mK)
Manzana	84-85	22	0,415
Zumo de manzana	87,2	22	0,554
Zumo de fresa	91,7	22	0,571
Naranjas	87,2	22	0,415
Zumo de cereza	86,7	20	0,554
Zumo de naranja	89	20	0,554

Fuente: HAYES (1992)

Las órdenes de magnitud de la conductividad térmica del agua se pueden apreciar en el Cuadro 4, según CHRISTIE (1982).

Cuadro 4. Conductividad térmica del agua líquida.

TEMPERATURA			Conductividad térmica	Conductividad térmica
°C	°F	K	(Btu/h.pie°F)	(W/mK)
0	32	273,15	0,329	0,569
37,8	100	311	0,363	0,628
93,3	200	366,5	0,393	0,680
148,9	300	422,1	0,395	0,684
215,6	420	588,8	0,376	0,651
326,7	620	599,9	0,275	0,476

Fuente: CHRISTIE (1982).

CHRISTIE (1982) menciona la conductividad térmica de distintos alimentos que se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Conductividad térmica de diversos alimentos.

Alimentos	Temperatura	Densidad	Conductividad térmica
	K	(kg/m ³)	(W/mk)
Leche desnatada	274,7	1041	0,538
Mantequilla	277,6	998	0,197
Miel	275,4		0,5
Naranjas	303,5		0,431
Puré de manzana	295,7		0,692

Fuente: CHRISTIE (1982).

La conductividad térmica de polvos de MgO grado eléctrico en función de la distribución del tamaño de grano a temperaturas en el rango de 259 a 1012 °C se muestra en el Cuadro 6 (PEÑA, 2002).

Cuadro 6. Conductividad térmica en polvos de magnesio.

T (°C)	$\text{km} \times 10^{-3} (\text{W} / \text{cm}^{\circ}\text{C})$ Repetición 1	$\text{km} \times 10^{-3} (\text{W} / \text{cm}^{\circ}\text{C})$ Repetición 2	$\text{km} \times 10^{-3} (\text{W} / \text{cm}^{\circ}\text{C})$ Repetición 3
1012 ± 16	22 ± 3,7	25 ± 2,2	29 ± 2,5
856 ± 11	19 ± 2,9	22 ± 1,9	27 ± 2,0
669 ± 13	16 ± 2,4	19 ± 1,8	23 ± 1,7
4742 ± 13	11 ± 1,7	14 ± 1,3	17 ± 1,2
259 ± 15	7 ± 1,1	10 ± 1,2	14 ± 2,2

Fuente. PEÑA (2002)

Km: Conductividad térmica promedio.

Es conocida la importancia que tiene la determinación de las propiedades termofísicas de los materiales cuando éstos son necesarios como fuentes de energía o para la obtención de otros productos como por ejemplo carbón activado.

Teniendo en cuenta la necesidad de utilizar materiales que constituyan desechos agroindustriales, como el meollo de la caña de azúcar, el cual constituye un desecho en las fábricas de papel y de tableros a partir del bagazo, surge la necesidad de conocer propiedades tales como la conductividad y la difusividad térmica.

En el Cuadro 7 se muestra la difusividad térmica y conductividad térmica a diferentes temperaturas. (BÁRBARA *et al.*, 1991).

Cuadro 7. Conductividad y difusividad térmica del meollo de caña de azúcar.

T(°C)	W/m°C	$\alpha \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$
303	0,073	1,492
303	0,216	1,768
303	0,278	2,188
303	0,327	1,927
303	0,427	1,623
303	0,470	1,217
333	0,085	1,695
333	0,318	2,501
333	0,518	3,652
333	0,541	2,840
333	0,631	2,420
333	0,740	2,159
363	0,116	2,217
363	0,529	3,480
363	0,785	4,270
363	1,065	3,871
363	1,110	2,817
363	1,426	2,739

Fuente: (BÁRBARA *et al.*, 1991).

La conductividad térmica y difusividad térmica son los parámetros más importantes para la descripción de las propiedades de transporte de calor de un material o componente.

2.3. Definición del yacón.

Es un tubérculo que pertenece a la familia de las asteráceas, es probable que el yacón haya sido domesticado en la región de Boscajes de montaña o Yungas del norte de Bolivia y sur del Perú, el yacón crece en los valles interandinos del Perú, entre los 1500 a 2500 m.s.n.m. donde encuentra las condiciones ideales de temperatura de abundante sol todo el año.

La raíz del yacón contiene además azúcares simples como sacarosa fructosa y glucosa, los cuales se encuentran en menor concentración que los FOS, la producción de FOS en relación a la de azúcares simples es mayor cuando las raíces han sido recién cosechadas.

La mayor cantidad de eco tipos se encuentra en Cajamarca, Huánuco, Ayacucho, Cuzco, registrándose su cultivo en Ecuador, Bolivia, Venezuela, Colombia y el norte de Argentina. (SEMINARIO y VALDERRAMA, 2003). Además contiene FOS, azúcares que no pueden ser digeridos directamente por el organismo humano, debido a la ausencia de las enzimas necesarias para su metabolismo. Los FOS no elevan el nivel de glucosa en la sangre y poseen pocas calorías, alrededor de 15-20 cal por 100 g, comparados con otros tubérculos como la papa.

2.3.1. Usos y consumo tradicional.

El yacón puede ser utilizado de varias formas: La raíz tuberosa es consumida de manera cruda por su sabor y su textura que lo hace agradable al ser masticado, además manifiesta que también se consume sancochado y

horneado. En la cocción estos permanecen dulces y ligeramente tostados. (LEÓN, 1984).

El yacón se ha utilizado como aditivo en mermeladas de papaya, piña, limón y naranja, en proporciones variadas, siendo las más óptimas, 50 % de yacón y 50 % de otra fruta, en Europa se usa como fuente de azúcar, inulina, alcohol.

El piso térmico más apto para el desarrollo y adaptación del yacón es el Bosque Húmedo Tropical, presenta buena adaptación por encima de los 1200 m.s.n.m hasta los 2700 m.s.n.m. muchos tubérculos y raíces andinas, presentan cantidades muy pequeñas de proteína, grasa, fibra y cenizas (minerales), por lo que su valor nutricional es bajo para la dieta del hombre y animales. Su principal aporte consiste en carbohidratos en forma de inulina (polímero de fructuosa), principal diferencia con el resto de tubérculos y raíces andinas que acumulan los carbohidratos en forma de almidón (polímeros de glucosa). Presentan alto contenido de calcio. (RENZO, 2003).

Por su alto contenido de inulina, FOS es utilizado en la industria alimentaria y farmacéutica para la elaboración de edulcorantes para diabéticos y como fibra en alimentos refinados. Este estudio reporta la optimización del proceso de extracción sólido-líquido, con agua caliente, de inulina a partir de raíces de yacón a diferencia de los tubérculos que almacenan la energía en forma de almidón, el yacón la almacena en forma de FOS, reconocidos y utilizados en alimentos como prebióticos, estimulantes del crecimiento de la flora intestinal no patógena. El principal FOS presente en el yacón es la inulina, encontrándose en un alto porcentaje de hasta el 20 % a diferencia de otras

raíces reservantes comestibles el 85 al 90 % del peso fresco de este tubérculo es agua. Los carbohidratos representan el 90 % del peso seco de las raíces recién cosechadas, de los cuales entre el 50 al 70 % son FOS, el resto de los carbohidratos lo conforman la sacarosa, fructuosa, y glucosa. (MANUEL, 2007).

2.4. Transferencia de calor.

Desde el punto de vista de la termodinámica, un flujo de energía que toma lugar debido a una diferencia de temperatura es identificado como calor solamente si la energía transferida ocurre a través de un límite del sistema y no fue transportado por un flujo de masa (flujo convectivo). Sin embargo, es convencional en el tema de transferencia de calor denotar todos los flujos de energía que surgen debido a una diferencia de temperatura como transferencia de calor. Por esta razón, el tema de transferencia de calor sería más propiamente llamado transferencia de energía térmica. (WATSON y HARPER, 1987).

Se puede definir el calor como la energía que es transferida como resultado de una diferencia de temperatura. Por tanto, la transferencia de calor es un fenómeno de transferencia de energía; cualquier incremento del calor causará un movimiento más rápido de las moléculas de un producto, y la energía cinética de las moléculas se incrementa a medida que el calor es absorbido. (FENNEMA *et al.*, 1975).

2.5. Mecanismos de transferencia de calor.

El calor puede ser transferido en tres formas diferentes: conducción, convección y radiación. Estas tres formas son similares en que una diferencia de temperatura debe de existir para que se obtenga una transferencia de energía neta en la dirección de mayor a menor temperatura. Sin embargo, son diferentes ya que la forma física de los tres fenómenos y las leyes que los controlan difieren. (ADAMS, 1964).

2.5.1. Transferencia de calor por conducción.

Corresponde a uno de los mecanismos más comunes de transmisión de calor. Si en un medio continuo existe un gradiente de temperatura, el calor puede fluir sin que se produzca un desplazamiento observable de la materia, esta clase de flujo térmico se denomina conducción molecular o simplemente conducción. La conducción tiene lugar a escala molecular, y el mecanismo corresponde a un transporte de la cantidad de movimiento de las moléculas individuales a lo largo del gradiente de temperatura. (SINGH, 1998; HELDMAN,1998) la conducción de calor es usualmente interpretada como un intercambio molecular de energía cinética. En este concepto, como las moléculas del material son calentadas, ellas se ponen en movimiento y a su vez impactan elásticamente a las moléculas vecinas, y así a través del espesor del material. Esta forma de transferencia de calor describe el flujo de calor de un alimento sólido durante el calentamiento o enfriamiento. (HELDMAN, 1998).

El ejemplo más corriente de conducción se presenta en el flujo de calor a través de sólidos opacos, tales como los ladrillos de las paredes de un horno o la pared de un tubo metálico. La ley de Fourier para la conducción unidireccional del calor establece que la velocidad instantánea del flujo térmico $\Delta Q/\Delta t$ es igual al producto de tres factores: al área A de la sección considerada y normal al flujo de calor, al gradiente de temperatura $-\Delta T/\Delta x$, que representa la relación del incremento de temperatura al de longitud en la dirección del flujo, y a la constante de la conductividad térmica λ (en W/mK), que es una propiedad física del material, la expresión matemática de la ley de Fourier es:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = Q = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Esta expresión diferencial es general para la conducción unidireccional, siendo válida para los casos en que el gradiente de temperatura $-\Delta T/\Delta x$ varía con el tiempo y con la posición del punto figurativo. En todos los casos en que se presenta un flujo térmico por conducción, tiene que existir un gradiente de temperatura; si la temperatura de un punto dado varía con el tiempo, la velocidad del flujo térmico variará también con el tiempo, se dice entonces que la conducción de calor representa un estado no estacionario de transferencia de calor cuando la temperatura varía con la posición y con el tiempo. (ADAMS, 1964) el signo negativo refleja el hecho físico de que el flujo de calor se produce de mayor a menor temperatura, de forma que el signo del gradiente es contrario al del flujo de calor, al utilizar la ecuación de Fourier es preciso tener muy en cuenta que el área A es la de una superficie perpendicular al flujo de calor, y que la distancia x es la longitud del camino medido perpendicularmente al área A . (SHARMA *et al.*, 2000).

2.6. Propiedades termofísicas.

2.6.1. Definición de propiedades termofísicas.

Las propiedades térmicas de los alimentos son de considerable importancia en la ingeniería para los procesadores de alimentos, dado que ellas gobiernan los cambios de temperatura en procesos que involucran la transferencia de calor, procesos tales como, calentamiento, enfriamiento, secado y congelamiento. (PELEG, 1983; SINGH, 1998; HELDMAN, 1998).

Junto con otras características físicas como la densidad, viscosidad, forma y tamaño, ellos son de gran importancia en el diseño de equipos y perfiles de proceso, se incluyen aquí el calor específico, conductividad térmica, difusividad térmica. (PELEG, 1983) éstas propiedades son dependientes de la temperatura, composición química del producto y estructura física. (LOZANO, 1979).

2.6.2. Calor específico.

Se designa con el nombre de calor (Q) a la energía en tránsito que fluye desde una parte de un sistema a otra o de un sistema a otro, en virtud únicamente de una diferencia de temperatura. Por convención se considera que Q es positivo cuando es absorbido por el sistema y negativo en caso contrario. (FOURTY *et al.*, 2003).

Un segundo avance en nuestro conocimiento sobre el calor fue obtenido haciendo uso de los termómetros. Ahora tenemos una idea más clara, que en la antigüedad, de la forma como el calor se distribuye entre diferentes cuerpos. Antiguamente y sin la ayuda de termómetros, se podía percibir una

tendencia del calor a difundirse él mismo de cualquier cuerpo más caliente a otro más frío nosotros debemos entonces adoptar como una de las leyes más generales del calor que todos los cuerpos en contacto libremente unos con otros y expuestos no desigualmente a acciones externas, adquieren la misma temperatura, como lo indica el termómetro. (BLACK, s.d).

2.6.3. Densidad del yacón.

La densidad es una propiedad inherente a cada sustancia y es muy útil en su identificación. Se define como la relación que existe entre la masa de la sustancia y el volumen que ocupa.

2.6.4. Definición de difusividad térmica.

Esta propiedad es una medida de la cantidad de calor difundida a través de un material en calentamiento o enfriamiento en un tiempo determinado y está definida como el cociente de la conductividad térmica por el producto de la densidad y el calor específico. (MOHSEIN, 1980).

Cuando la transferencia de calor ocurre por conducción más que por convección, la difusividad térmica resulta importante, La difusividad térmica está relacionada con la conductividad térmica, densidad y calor específico del producto y determinan la tasa de propagación de calor a través del alimento. (MOHSEIN, 1980; FELLOWS, 1988).

Los valores de la difusividad térmica para alimentos se encuentran en el rango de 1 a $2 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ y es directamente proporcional a la temperatura. (PELEG, 1983).

2.6.5. Conductividad térmica.

Se estudió la conductividad térmica de una barra metálica, a través de mediciones geométricas y del gradiente de temperatura en un medio adiabático se halló la constante de conductividad térmica k de la barra.

La conductividad térmica es una propiedad de los materiales que dice: cuán fácil es la conducción de calor a través de ellos es elevada en los metales. Desde el punto físico el fenómeno de la conductividad térmica representa la transferencia de energía cinética. En los cristales metálicos la transferencia de energía térmica se llevan a cabo mediante dos tipos de portadores: los electrones de conducción y las oscilaciones de la red cristalina.

También se estudió la conductividad de la barra bajo condiciones diatérmicas. Aparte se estudió la constante temporal de calentamiento en ambas condiciones. Se halló que en distintas condiciones experimentales la constante k variaba, siendo en promedio $550 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. (PIECK, 2006).

Para medir la conductividad térmica los métodos que adquirieron mayor difusión son los métodos estacionarios. (CÁRDENAS, s.d.)

En el presente trabajo se estudia el problema inverso que consiste en determinar la conductividad térmica de un medio, cuando esta depende del tiempo y se conoce la evolución de la temperatura en una parte de dicho medio. Este tipo de situaciones se plantean en contextos de tecnología de alimentos, cuando se utilizan procesos térmicos a altas presiones. El fenómeno se modeliza mediante la ecuación de transferencia de calor con un término fuente que depende de la temperatura y del incremento de la presión,

ecuación que se completa con adecuadas condiciones inicial y de contorno. (FRAGUELA *et al.*, 2009).

La difusividad térmica es la magnitud que aparece en la ecuación de conducción del calor, y depende proporcionalmente de la conductividad térmica y es inversamente proporcional al calor específico y a la densidad del material. (CERRO y GALLARDO, s.d.)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución.

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de: análisis sensorial, ingeniería de alimentos y física de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS); ubicada en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, situada a 670 m.s.n.m. con una temperatura ambiente promedio de 25,5 °C y una humedad relativa promedio de 80 %.

3.2. Materia prima e insumos.

3.2.1. Materia prima.

La materia prima utilizada en la presente investigación fue el yacón, el mismo que fue obtenido del mercado de abastos de la ciudad de Tingo María, proveniente de la ciudad de Huánuco.

3.3. Materiales y equipos.

3.3.1. Equipos.

- DATATRACE micropack número de serie M3T12677, modelo 7500T1, rango -20 a 140 DEGREES C, USA, consta de un cilindro

de acero inoxidable de dimensiones LxD: 200 mm x 32 mm, difusor de la muestra de pulpa.

- Baño maría TELCO – Precisión Scientific Co Chicago 60647 USA, serie 11 – x - 4, rango de temperatura de 0 °C a 100 °C.
- Balanza analítica electrónica, OHAUS, modelo AP210s, numero de serie, sensibilidad 0,0001 g, USA.
- Balanza ALTAY code 2219,30 con 0,01 g de precisión
- Selladora de impulsión marca TEW sin modelo.
- Refrigeradora marca Coldex almacenado a -16 °C.
- Calorímetro ENERGY TRANS CALORIMETER marca PASCO scientific, modelo ET-9499.
- Multitester marca EXTECH, modelo 320.
- Balanza gramera de dos kilogramos de capacidad marca KITCHEN SCALE
- Extractor, marca OSTER modelo JE1500.
- Licuadora de 16 velocidades marca OSTER modelo 6881.

3.3.2. Materiales.

- Papel tisú de triple hoja de medidas 22 x 22 cm.
- Bolsas de polietileno de medida 149 mm x 406 mm x 28 u marca "ALFA".
- Cinta marca Telofan modelo 3 M.
- Jeringas descartable de 10 mL
- Vernier, marca SOLINGER, made in germany.

- Vasos de precipitación, marca MARIENFELD, volumen de 100, 250, 500, 1000, 2000 mL c/u, made in Germany.
- Termómetro de mercurio Brannan, rango – 20 °C a 110 °C, precisión ± 1 °C.

3.4. Métodos de análisis.

3.4.1. Evaluación del pH y grados brix.

- pH, mediante el método 981.15 (AOAC, 1995).
- Grados brix mediante refractometría.

3.4.2. Determinación de humedad.

Se determinó mediante el método 925 de la norma A.O.A.C.(1997).

$$\% H = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

P_i = Peso inicial de la muestra.

P_f = Peso final de la muestra.

% H = Porcentaje de humedad.

3.4.3. Determinación de la densidad

La densidad de la pulpa de yacón fue determinada mediante una jeringa de 10 mL, llenándolo para luego pesarlo, posteriormente dividir masa entre volumen y dar como resultado la densidad de la pulpa del yacón.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

3.4.4. Determinación de la difusividad térmica.

Para la determinación de la difusividad térmica se utilizó el método de transferencia de calor en el estado no estacionario, desarrollado por DICKERSON (1665) y modificado por POULSEN (1982) el cual se basa en el uso de un cilindro.

Para ello se utilizó la siguiente fórmula

$$t = 0,398 \frac{r^2}{\alpha} \log \left(1,6 \times \left(\frac{T_m - T_o}{T_m - T} \right) \right) \quad (4)$$

Donde:

α = Difusividad térmica (m²/s).

r = Distancia recorrida por el flujo de calor, equivalente al radio del cilindro (m).

t = Tiempo (s).

T_m = Temperatura del medio de calentamiento (baño maría) (°C).

T_o = Temperatura inicial en el centro de la muestra (°C).

T = Temperatura del centro térmico de la muestra en el instante t (°C).

Reordenando la ecuación 4 se obtiene una ecuación de línea recta.

$$\log \left(1,6 \times \left(\frac{T_m - T_o}{T_m - T} \right) \right) = \frac{1}{0,398} \frac{\alpha}{r^2} t \quad (5)$$

Donde:

$\left(\frac{T_m - T_o}{T_m - T} \right)$ es la variación de temperatura no conseguida o la fracción de variación total posible de temperatura que queda sin conseguir en un determinado instante.

La representación semilogarítmica corresponde en este caso a una línea recta sin intercepto, esta relación se encuentra en función al tiempo t , y m es la pendiente de la línea recta correspondiente a esta:

$$m = \frac{1}{0,398} \frac{\alpha}{r^2} \quad (6)$$

Donde: m es la pendiente

Seguido al ordenamiento y gráfica de los valores, se encuentra la pendiente de la recta de calentamiento, donde la pendiente se iguala al factor de la ecuación (5), la que está en función de la distancia recorrida y difusividad térmica. Despejando α de la ecuación (6) la expresión permite encontrar la difusividad térmica.

$$\alpha = 0,398 \times m \times r^2; \text{m}^2 / \text{s} \quad (7)$$

3.4.5. Determinación del calor específico.

- Agregar en el cilindro 25 g de agua (m_1), a temperatura inicial T_1 .
- Introducir la muestra problema de masa (m_2) 25 g en el cilindro.
- Medir la temperatura de equilibrio justo antes que empiece a disminuir (T_3).
- Medir la (T_2) que es la temperatura que cambia de la muestra problema.

- Calcular la capacidad calorífica del calorímetro (C) utilizando la formula

$$C_{p,\text{alimento}} \times m_2 \times (T_2 - T_3) = (c + C_{pH_2O} \times m_1)(T_3 - T_1) \quad (8)$$

Donde:

$C_{p \text{ alimento}}$ = Calor específico del alimento.

m_2 = Peso de la muestra problema.

T_2 = Temperatura de la muestra problema.

T_3 = Temperatura de equilibrio.

C = Constante de transferencia de calor del cilindro.

C_{pH_2O} = calor específico del agua a T_1

m_1 = Masa inicial del agua.

T_1 = Temperatura inicial del agua

Para poder calcular el calor específico de la pulpa del yacón se siguió el método de: SMITH s.d, VAN NESS . s.f; ABBOTs.d

3.4.6. Determinación de la conductividad térmica.

Para obtener la difusividad deseada se juega con la capacidad calorífica y con la conductividad térmica. La mayor difusividad térmica se obtiene en materiales con k muy elevado pero con calores específicos pequeños y densidades pequeñas. Los materiales con alta difusividad ajustan rápidamente su temperatura a la de sus alrededores. (CERRO y GALLARDO, s.d.)

$$\alpha = \frac{k}{C_p \times \rho} \quad (10)$$

A través de la difusividad térmica despejando la ecuación se obtiene la conductividad térmica.

$$k = \alpha \times C_p \times \rho \quad (11)$$

3.5. Metodología experimental.

3.5.1. Obtención de la pulpa del yacón.

Para la obtención de la pulpa de yacón se siguió el diagrama de flujo indicado en la Figura 2, la misma que se describe a continuación:

- **Materia prima- yacón** . El yacón que se obtuvo del mercado de abastos de la ciudad de Tingo María procedente de la ciudad de Huánuco.
- **Selección**. Se seleccionó los frutos que se encuentran en buen estado.
- **Pesado**. Se realizó en una balanza gramera de capacidad de 2 kg.
- **Lavado**. Se lavaron, escobillando los frutos hasta desechar las impurezas.
- **Pelado**. Con la finalidad de eliminar la cascara y proceder a la reducción de tamaño.
- **Reducción de tamaño (picado)**. Se redujo el tamaño del yacón con la finalidad de pasar por el extractor.
- **Licuada**. Luego de reducir el tamaño se procedió con el licuado con la finalidad de disminuir en partículas más pequeñas a la pulpa del yacón.
- **Pesado**. Se pesó muestras de 200 g por bolsa.
- **Sellado**. Se procedió al sellado de las muestras de g de pulpa.
- **Congelado**. La pulpa sellada se congeló a $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ para posteriormente utilizarlas según el requerimiento de las pruebas experimentales.

3.5.2. Determinación de la humedad de la pulpa del yacón.

Se pesó 5 g de pulpa de yacón y se introdujo a la estufa a 90 °C hasta que su peso sea constante, el análisis se realizó por triplicado y los resultados se reportaron como la media \pm SE.

3.5.3. Acondicionamiento de la pulpa de yacón.

Luego de obtener la pulpa con las operaciones del diagrama de flujo de la Figura 1 se procedió a almacenar las muestras en congelación para acondicionarlo en función al diseño experimental de acuerdo al incremento o reducción de humedades.

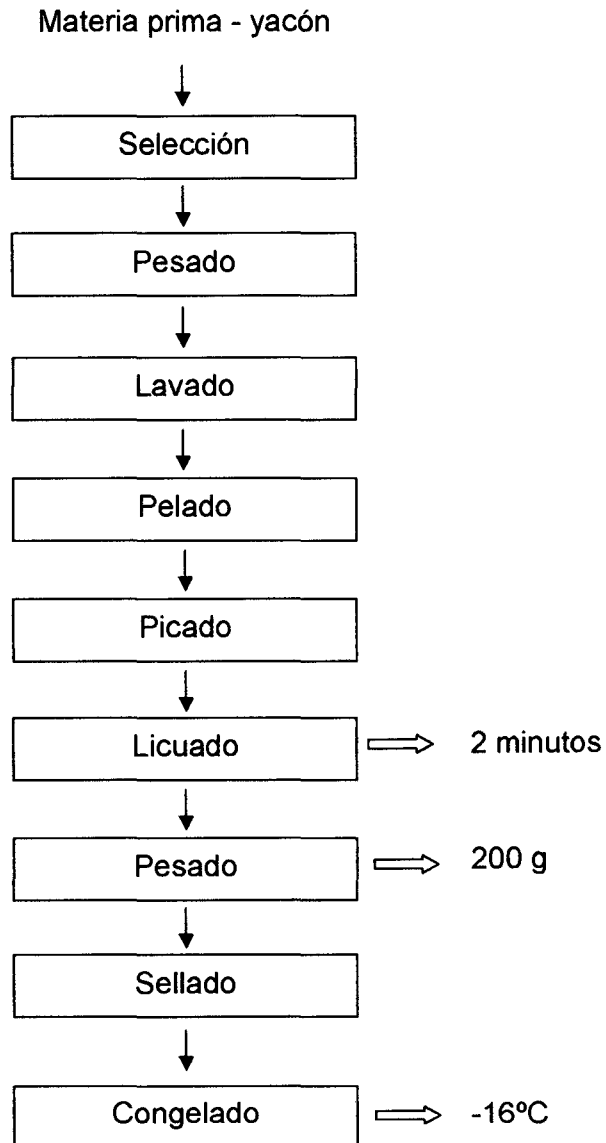


Figura 1. Diagrama de flujo para la obtención y acondicionamiento de la pulpa de yacón.

3.5.3.1. Acondicionamiento de la pulpa del yacón con reducción de humedad.

Para reducir la humedad inicial del yacón, las muestras se introdujeron en un Baño maría a 100 °C (Figura 2), y mediante balance de

materia se obtuvo el cálculo de las cantidades de agua necesarias a evaporar en las muestras para llegar a los valores deseados de humedad: 75,52; 77,41; 79,03; 80,44; 81,67; 82,75; 83,71; 84,58; 85,41 %, según el balance indicado en la Figura 3. Posteriormente se enfrió a temperatura ambiente, embolsó y almacenó a -16 °C.

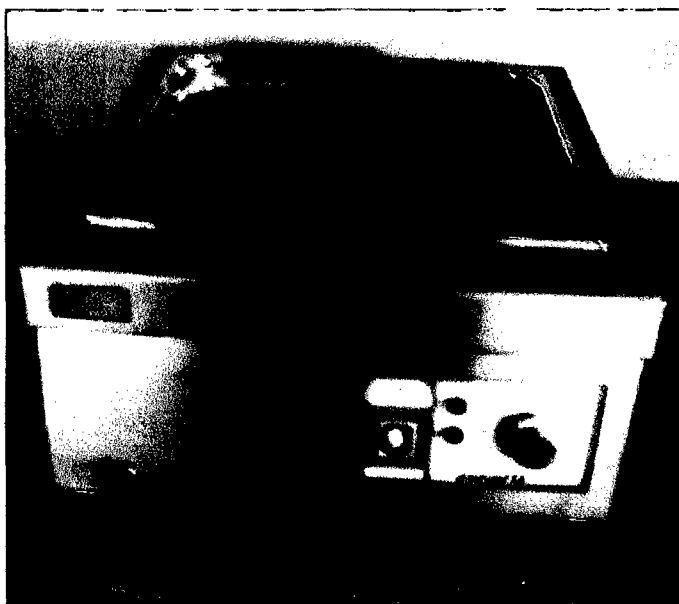


Figura 2. Baño maría termo regulable.

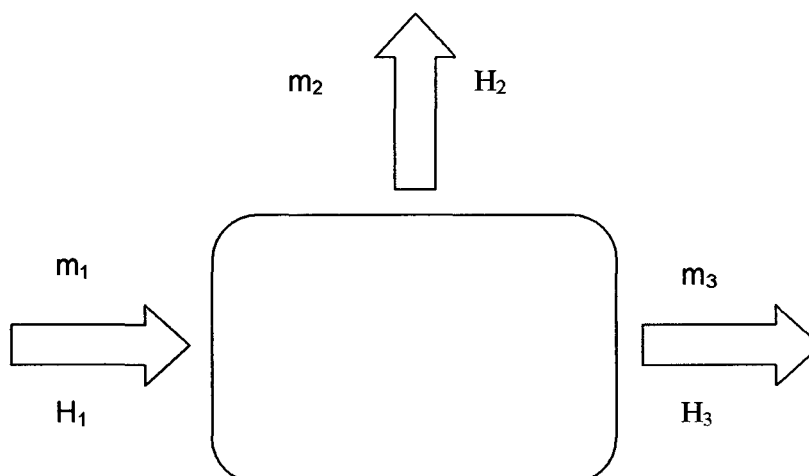


Figura 3. Balance de materia para el acondicionamiento de la pulpa de yacón con reducción de humedad.

Balance de materia general

$$m_1 = m_2 + m_3 \quad (12)$$

Balance de agua

$$m_1 \times H_1 = m_2 \times H_2 + m_3 \times H_3 \quad (13)$$

3.5.3.2. Acondicionamiento de la pulpa de yacón con incremento de humedad.

En el Figura 5, se muestra el diseño experimental que se siguió en la presente investigación.

Se procedió de manera similar a lo descrito anteriormente, pero en esta ocasión se agregó agua en lugar de quitarla y las cantidades necesarias de agua a ser agregadas se calcularon mediante balance de materia (86,78 %H), de la Figura 4, luego se embolsó y almacenó a -16 °C.

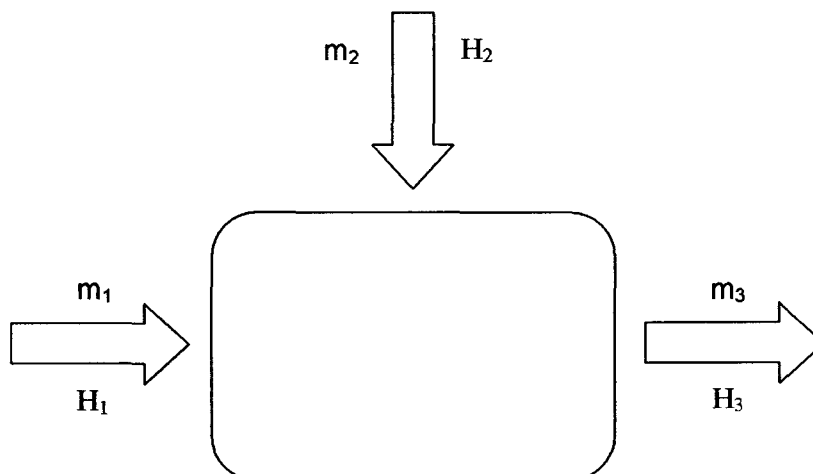


Figura 4. Balance de materia para el acondicionamiento de la pulpa de yacón con incremento de humedad.

Balance de materia general

$$m_3 = m_1 + m_2 \quad (14)$$

Balance de agua

$$m_3 H_3 = m_1 \times H_1 + m_2 \times H_2 \quad (15)$$

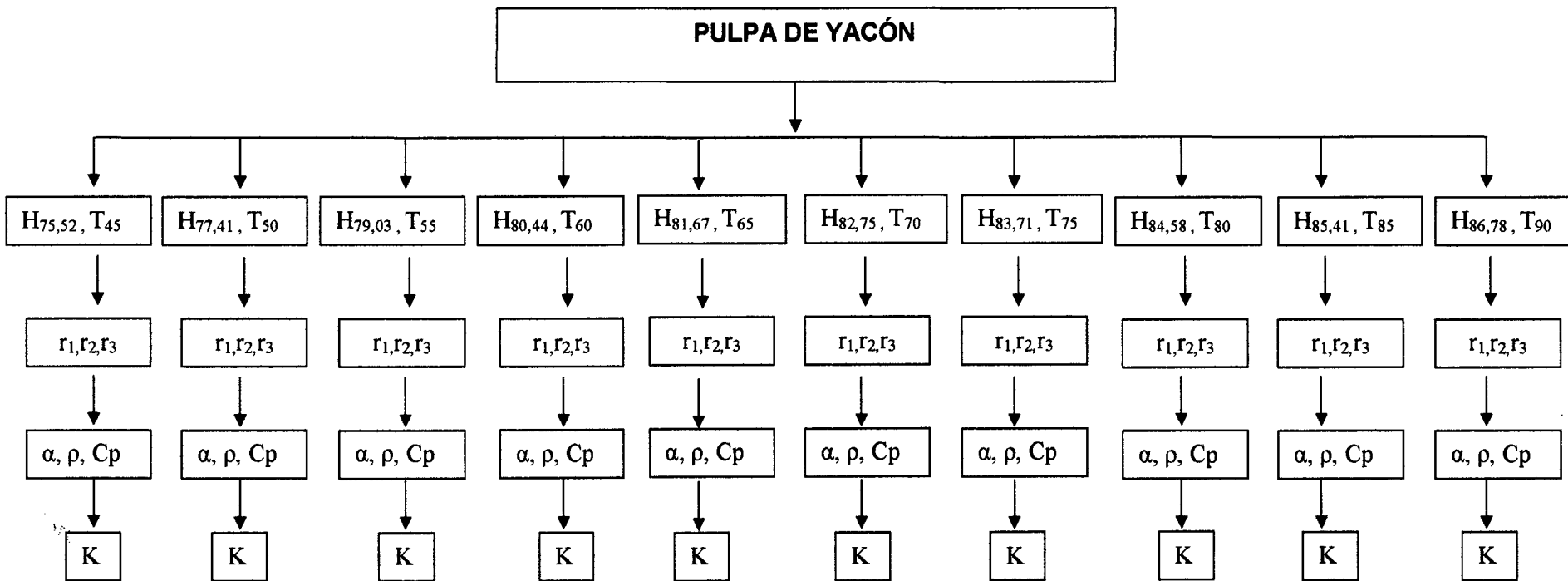


Figura 5. Diseño experimental para la determinación de la conductividad térmica.

T = Temperatura; H = Humedad; α = Difusividad térmica; ρ = Densidad; Cp = Calor específico K = Conductividad térmica

3.5.4. Determinación de la densidad.

La jeringa descartable fue colocada en la estufa a 45 °C por 24 h, la densidad (ρ) se determinó pesando la masa (m) de un volumen conocido (V), como lo menciona MICHAEL *et al.* (2010).

$$\rho = m / V$$

La jeringa se enfrió en un desecador; para tomar el peso de la jeringa vacía, se procedió a llenarla con 10 mL de pulpa de cada tratamiento (el acondicionamiento de las pulpas se detalla en el párrafo siguiente), se pesó la jeringa llena y se procedió a realizar los cálculos.

La pulpa se colocó en vasos de precipitación de 250 mL, luego fueron llevados al baño maría a la temperatura de cada tratamiento, cuando el centro térmico alcanzó la temperatura deseada se procedió aspirar con la jeringa la pulpa de yacón.

3.5.5. Determinación de la difusividad térmica.

Se descongeló la pulpa acondicionada, siguiendo el procedimiento ya descrito, en seguida se programó dos sensores; el primero para registrar la temperatura T_m y el segundo para la temperatura T_o , posteriormente se colocó el segundo sensor en una canastilla dentro del cilindro del DATA TRACE, se agregó 100 g de muestra en el mismo y se hermetizó, utilizando un tapón de plástico y cinta teflón, el cilindro hermetizado se colocó en el Baño maría. Las temperaturas fueron registradas hasta 30 min, cada 30 s. Este procedimiento se repitió para cada tratamiento.

3.5.6. Determinación del calor específico de la pulpa del yacón.

La pulpa acondicionada y descongelada se llevó a baño maría para alcanzar las temperaturas de cada tratamiento de manera similar como está establecido en 3.5.5, estas temperaturas representan la T_1 para cada caso. Se peso 25 g de agua (m_1) en el cilindro del calorímetro previamente tarado y se registró la T_1 . Luego se adicionó al cilindro del calorímetro 25 g de pulpa acondicionada y atemperada (m_2). Se esperó a que se estabilice la temperatura y se midió T_3 , para proceder al cálculo.

3.5.7. Determinación de la conductividad térmica.

Una vez obtenido la difusividad térmica, densidad y calor específico, se procedió al cálculo de la conductividad térmica, mediante el producto de las tres propiedades mencionadas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Grados brix y pH.

La evaluación los grados brix y el pH de la pulpa del yacón dio los siguientes resultados: $(6,60 \pm 0,026)$ de pH y $(12,66 \pm 0,333)$ de grados brix , valores similares a los obtenidos por SALAZAR (2002) quien encontró: 6,01 de pH y 12 de grados brix.

4.2. Obtención de pulpa de yacón.

En el Cuadro 8 se muestran el balance de materia de la obtención de pulpa de yacón, donde el porcentaje de rendimiento de proceso fue de 83,416 %.

Cuadro 8. Balance de materia de la pulpa de yacón.

Operaciones	Ingresas g	Sale g	Continua g	RxO	RxP
Lavado	1005,00	1,67	1003,33	99,83	99,83
Pelado	1003,33	156,33	847,00	84,42	84,28
Picado	847,00	2,00	845,00	99,76	84,08
Licuada	845,00	5,00	840,00	99,41	83,58
Pesado	840,00	0,00	840,00	100,00	83,58
Sellado	840,00	0,00	840,00	100,00	83,58
Congelado	840,00	0,00	840,00	100,00	83,58

Los valores representan el promedio de cada uno de las operaciones, los datos provienen del experimento (n=3).

4.3. Humedad de la pulpa de yacón.

El contenido de humedad de la pulpa del yacón fue de $85,4113 \pm 0,0378$, este valor es similar a lo reportado por MUÑOZ *et al.* (2006) quien determinó la humedad en la pulpa del yacón y dio como resultado 88,78 %.

4.4. Acondicionamiento de pulpa de yacón.

En los Cuadros 9 y 10, se muestran los resultados del agua necesaria a evaporar y agregar respectivamente, para obtener los contenidos de humedad deseados en el estudio.

Cuadro 9. Reducción de humedad en la pulpa de yacón.

Peso inicial (m_1)g	Humedad inicial (H_1)g	Agua a evaporar (m_2)g	Peso final de la muestra(m_3)g	Humedad final(%)
1190	85,41	480,879	709,121	75,5160
1150	85,41	407,215	742,785	77,4114
1170	85,41	355,797	814,203	79,0343
1190	85,41	302,379	887,621	80,4397
1150	85,41	234,715	915,285	81,6686
1120	85,41	172,592	947,408	82,7521
1190	85,41	123,879	1066,121	83,7147
1190	85,41	64,379	1125,621	84,5755

Cabe mencionar que para la muestra a la cual correspondía la humedad de 85,41 % para las evaluaciones, no se agregó ni quito agua, debido a que la humedad que presentó originalmente la pulpa de yacón fue de 85.41 %, cumpliendo el contenido de agua para dicho tratamiento.

Cuadro 10. Incremento de humedad de la pulpa del yacón.

Peso inicial (m_1)g	Humedad inicial (H_1)g	Agua a evaporar (m_2)g	Peso final de la muestra(m_3)g	Humedad final %
1200	85,41	124,92	1324,92	86,7856

Para poder llegar a determinar la conductividad térmica se procedió a reducir las humedades de acuerdo a lo planteado para cada tratamiento, se aumentó la temperatura en el baño maría a 100 °C; con la finalidad de evaporar o agregar el agua necesaria como se observa en los Cuadros 9 y 10, de la misma manera disminuyeron las humedades UNKLESBAY *et al.* (1992), quienes mencionan que el grado de la pérdida de humedad se da con la creciente de temperatura, por lo tanto cada una de las mezclas mostraron una pérdida en el contenido de humedad, al respecto también se estudió las propiedades de la leche con los rangos y humedades como menciona HORI (1983) que en el requesón de leche descremada midió la conductividad térmica en un rango de humedad de 60-95 % .

4.5. Densidad.

Los valores de densidades de la pulpa de yacón se reportan en el Cuadro 11 con sus respectivas humedades y temperaturas para cada tratamiento.

Cuadro 11. Valores de la densidad a diferente contenido de humedad y temperatura.

Humedad final(%)	Temperatura(°C)	Densidad(g/mL)
75,5160	45	1,0667 ± 0,0117
77,4114	50	1,0520 ± 0,0184
79,0343	55	1,0513 ± 0,0043
80,4397	60	1,0487 ± 0,0139
81,6686	65	1,0297 ± 0,0192
82,7521	70	1,0243 ± 0,0072
83,7147	75	1,0220 ± 0,0051
84,5755	80	1,0170 ± 0,0085
85,4113	85	1,0107 ± 0,0101
86,7856	90	1,0097 ± 0,0071

Los valores representan (promedio ± SEM) los datos provienen del experimento (n=3)

Del Cuadro 11 el valor mínimo de densidad ($1,0097 \pm 0,0071$ g/mL) fue con una humedad de 86,7856 % y una temperatura de 90°C; y un valor máximo de densidad de $1,0667 \pm 0,0117$ g/mL a una humedad de 75,5160 %, y una temperatura de 45 °C; la densidad varía en función a la temperatura y a la humedad, a medida que la temperatura se incrementa la densidad disminuye esta tendencia de la disminución de la densidad es similar al comportamiento reportado por MUZILLA *et al.* (1990) quienes mencionan que existe efecto del contenido de humedad en la densidad, estudiando carne de cerdo, los valores de la densidad variaron de 1,02 a 1,06 g/mL, con un valor medio de 1,04 g/mL. MICHAEL *et al* (1980) realizaron estudios en densidad de galletas durante procesos de homeado, encontraron que la densidad está estrechamente relacionado con la temperatura y la humedad durante los procesos de cocción. A su vez MAROUSIS *et al* (1990) mencionan que al incrementar la temperatura

también se incrementa el volumen en consecuencia la densidad disminuye, ALICIA *et al* (1991) mencionan que la temperatura al provocar una expansión de los gránulos de almidón, la densidad de las partículas disminuye.

En el Cuadro 12, se muestran el ANVA de la regresión lineal múltiple, humedad y temperatura vs Densidad.

Cuadro 12. ANVA de la regresión lineal múltiple, humedad y temperatura vs Densidad.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	0,0034308	0,0017154	79,72	0,0000000
Error residual	7	0,0001506	0,0000215		
Total	9	0,0035814			

Se puede observar que existe diferencia altamente significativa ($P < 0,01$), lo cual indica que existe suficiente evidencia estadística para aceptar que la variable respuesta (densidad) tiene dependencia lineal con las variables explicativas (humedad y temperatura), cuyo modelo matemático se detalla a continuación; el objetivo principal de la regresión lineal es construir un modelo que permita predecir el valor de la variable dependiente cuando los valores de las variables predictorias toman valores determinados, dentro de los rango en lo cuales el modelo fue calculado. Como menciona THOMAS (2001), la regresión lineal trata de predecir el problema o estimar la variable respuesta a partir de otra variable llamada predictor o explicativa.

$$D = 1,386 - 0,00405 H - 0,000321 T$$

$$R^2 = 95,8 \%$$

Dónde: D : Densidad

1,386 : Término independiente (intercepto), representa el valor de la densidad cuando asumimos humedad y temperatura de cero. Así como menciona THOMAS (2001) que el intercepto es el valor estimado de la variable respuesta cuando las variables independientes sean cero. Al respecto CALZADA (1976) menciona que la línea de regresión corta al eje de ordenadas y a una distancia del origen cero de este eje igual a "a"

0,00405 : Coeficiente de la regresión para la variable humedad, quiere decir que la densidad disminuye en 0,00405 por cada incremento en una unidad de la humedad. Como lo menciona THOMAS (2001) es el cambio que incrementa en una unidad la variable independiente.

H : Humedad del alimento.

0,000321 : Coeficiente de la regresión para la variable temperatura, es decir que la densidad disminuye en 0,000321 por cada incremento en una unidad de la Temperatura. Como señala MANUEL (1999) la primera forma es determinar una relación de la variable dependiente y con respecto de uno o más variables independientes con el fin de predecir los valores de la variable dependiente.

T : Temperatura.

R² : indica que el 95,8 % de la variabilidad de la densidad es explicado por las variables predictorias humedad y temperatura, según MANUEL (1999) el ajuste es perfecto cuando $R^2 = 1$. Cuando la línea es horizontal $R^2 = 0$, es decir no hay regresión lineal. Por lo tanto, cuando mayor sea el valor de R^2 mejor será el ajuste y más útil la recta de regresión como instrumento de predicción, cabe aclarar previamente que la fórmula presentada

predice adecuadamente el valor de la densidad, pero dentro del rango de humedad y temperatura utilizados en el presente trabajo, para valores fuera de los rangos testeados, será necesario nuevas evaluaciones con la finalidad de conservar la fiabilidad de los resultados.

4.6. Determinación de la difusividad térmica.

En el Cuadro 13 se puede observar los valores obtenidos para la difusividad térmica en función a la humedad y la temperatura.

Cuadro 13. Valores de la difusividad térmica a diferente contenido de humedad y temperatura.

Humedad (%)	Temperatura(°C)	Difusividad Térmica (m ² /s)
75,5160	45	1,2157E-07 ± 2,9653E-09
77,4114	50	1,2750E-07 ± 2,9650E-09
79,0343	55	1,3343E-07 ± 5,1355E-09
80,4397	60	1,3639E-07 ± 2,9650E-09
81,6686	65	1,3936E-07 ± 5,9303E-09
82,7521	70	1,4826E-07 ± 1,1860E-08
83,7147	75	1,5122E-07 ± 1,0272E-08
84,5755	80	1,7790E-07 ± 5,1355E-09
85,4113	85	2,0459E-07 ± 1,3588E-08
86,7856	90	2,1964E-07 ± 7,8901E-09

Los valores representan (promedio ± SEM) los datos provienen del experimento (n=3)

En el Cuadro 13 se muestran los valores de la difusividad térmica con un valor mínimo de 1,2157E-07 ± 2,9653E-09 m²/s con una humedad de 75,5160 % y una temperatura de 45 °C y un valor máximo de difusividad térmica (2,1964E-07 ± 7,8901E-09m²/s) a una humedad de 86,7856 % y una

temperatura de 90 °C, en donde esta propiedad depende de la cantidad de agua que tiene cada alimento en función a su composición, como mencionan UNKLESBAY *et al.* (1992) quienes realizaron estudios en difusividad térmica en extrusión de carne; que los principales factores que hacen variar dicha propiedad son el contenido de agua, temperatura y composición del alimento, porque la difusividad térmica depende de la conductividad térmica, calor específico y la densidad. Al respecto estos datos fueron extraídos por el método de Dickerson (1965) como lo menciona SANTI *et al.* (1979) varios investigadores han desarrollado técnicas para determinar las propiedades termofísicas de los alimentos. Dickerson (1965) desarrolló una técnica que utiliza un tubo cilíndrico.

4.6.1. Análisis de regresión para la difusividad térmica.

En el Cuadro 14, se muestran el ANVA de la regresión lineal múltiple, humedad y temperatura Vs difusividad térmica.

Cuadro 14. ANVA de la regresión lineal múltiple, humedad y temperatura vs difusividad térmica.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	9,52E-10	4,76E-10	53,96	0,00000000
Error residual	7	6,18E-11	8,83E-12		
Total	9	1,01E-09			

Se puede observar que existe diferencia altamente significativa ($P < 0,01$), lo cual indica que existe suficiente evidencia estadística para aceptar

que la variable respuesta (difusividad térmica) tiene dependencia lineal con las variables explicativas (humedad y temperatura), cuyo modelo matemático se detalla a continuación, que el objetivo principal de la regresión lineal es construir un modelo que permita predecir el valor de la variable dependiente cuando los valores de las variables predictorias toman valores determinados, dentro de los rangos en los cuales el modelo fue calculado como menciona THOMAS (2001) la regresión lineal trata de predecir el problema o estimar la variable respuesta a partir de otra variable llamada predictor o explicativa.

$$\alpha = 0,00000134 - 0,00000002 H + 0,00000001 T$$

α : Difusividad térmica

R^2 . = 93,9 %

0,00000134 : Término independiente (intercepto), representa el valor de la difusividad térmica cuando asumimos humedad y temperatura de cero. Así como menciona THOMAS (2001) que el intercepto es el valor estimado de la variable respuesta cuando las variables independientes sean cero. CALZADA (1976) menciona que la línea de regresión corta al eje de ordenadas Y a una distancia del origen cero de este eje igual a "a".

0,00000002 : Coeficiente de la regresión para la variable humedad, quiere decir que la difusividad térmica disminuye en 0,00000002 por cada incremento en una unidad de la humedad. Como lo menciona THOMAS (2001) es el cambio que incrementa en una unidad la variable independiente.

H : Humedad del alimento.

0,00000001 : Coeficiente de la regresión para la variable temperatura, es decir que la difusividad térmica aumenta en 0,00000001 por cada incremento en una unidad de la Temperatura.

T : Temperatura.

R² : indica que el 93,9 % de la variabilidad de la difusividad térmica es explicado por las variables predictorias humedad y temperatura cabe aclarar previamente que la fórmula presentada predice adecuadamente el valor de la difusividad térmica, pero dentro de los rango de humedad y temperatura utilizados en el presente trabajo, para valores fuera de los rangos testeados, será necesario nuevas evaluaciones con la finalidad de conservar la fiabilidad de los resultados. Según MANUEL (1999) el ajuste es perfecto cuando $R^2 = 1$. Cuando la línea es horizontal $R^2 = 0$, es decir no hay regresión lineal. Por lo tanto, cuando mayor sea el valor de R^2 mejor será el ajuste y más útil la recta de regresión como instrumento de predicción.

4.7. Determinación del calor específico de la pulpa del yacón.

El Cuadro 15 contiene los resultados obtenidos en lo referido a la determinación del calor específico.

Según el Cuadro 15, los promedios del calor específico estuvieron en un rango mínimo de $2,3335 \pm 0,1476$ KJ/KgK con una humedad de 75,5160 % y una temperatura de 45 °C, hasta $3,3305 \pm 0,0153$ KJ/KgK con una humedad de 86,7856 % y una temperatura de 90 °C, donde se observa en el Cuadro 15 el calor específico en función a la humedad y la temperatura tiene una forma

creciente ascendentemente como menciona RAMASWAMY y TUNG, M. (1981).

Los resultados del calor específico entre 75 - 85 % de humedad se encuentran en el rango de 3,73-4,02 kJ/kg°C. También al incrementarse la temperatura y transcurrir el tiempo de cocción incrementa el calor específico como menciona BAIK *et al.* (1999) quienes determinaron las propiedades térmicas de una Torta de la taza, durante la cocción el calor específico del pastel a 20 °C de temperatura fue 2,5168 kJ/kgK. A los 13 minutos de cocción aumentó el calor específico a 2,613 kJ/kgK al final de la cocción.

Cuadro 15. Valores del calor específico de la pulpa del yacón a diferente contenido de humedad y diferente temperatura.

Humedad final(%)	Temperatura(°C)	Calor específico(KJ/KgK)
75,5160	45	2,3335 ± 0,1476
77,4114	50	2,4648 ± 0,1434
79,0343	55	2,7110 ± 0,0216
80,4397	60	2,8702 ± 0,0162
81,6686	65	3,0035 ± 0,1544
82,7521	70	3,1159 ± 0,1184
83,7147	75	3,1808 ± 0,0728
84,5755	80	3,2638 ± 0,1336
85,4113	85	3,3005 ± 0,0934
86,7856	90	3,3305 ± 0,0153

Los valores representan (promedio ± SEM) los datos provienen del experimento (n=3)

4.7.1. Análisis de regresión para el calor específico de la pulpa del yacón.

La ecuación que relaciona el calor específico con la humedad y la temperatura se muestra en el ANVA de la regresión lineal múltiple el Cuadro 16. Se puede observar que existe diferencia altamente significativa ($P < 0,01$), lo cual indica que existe suficiente evidencia estadística para aceptar que la variable respuesta (calor específico) tiene dependencia lineal con las variables explicativas (humedad y temperatura).

Cuadro 16. ANVA de la regresión lineal múltiple, humedad y temperatura vs calor específico.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	1,1105700	0,5552800	220,7100000	0,0000000
Error residual	7	0,0176100	0,0025200		
Total	9	1,1281800			

Cuyo modelo matemático se detalla a continuación, que el objetivo principal de la regresión lineal es construir un modelo que permita predecir el valor de la variable dependiente cuando los valores de las variables predictorias toman valores determinados, dentro de los rango en lo cuales el modelo fue calculado. Como menciona THOMAS (2001) la regresión lineal trata de predecir el problema o estimar la variable respuesta a partir de otra variable llamada predictora o explicativa.

$$C_p = - 10,0 + 0,174 H - 0,0188 T$$

C_p : Calor específico

$R^2 = 98,4 \%$

- **10.0** : Término independiente (intercepto), representa el valor del calor específico cuando asumimos humedad y temperatura de cero. Así como menciona THOMAS (2001) el intercepto es el valor estimado de la variable respuesta cuando las variables independientes sean cero. CALZADA (1976) menciona que la línea de regresión corta al eje de ordenadas Y a una distancia del origen cero de este eje igual a "a".

0,174 : Coeficiente de la regresión para la variable humedad, quiere decir que el calor específico aumenta en 0,174 por cada incremento en una unidad de la humedad. Como menciona THOMAS (2001) es el cambio que incrementa en una unidad la variable independiente.

H : Humedad del alimento.

0,0188 : Coeficiente de la regresión para la variable temperatura, es decir que el calor específico disminuye en 0,0188 cada incremento en una unidad de la temperatura.

T : Temperatura.

R^2 : indica que el 98,4 % de la variabilidad del calor específico es explicado por las variables predictorias humedad y temperatura cabe aclarar previamente que la fórmula presentada predice adecuadamente el valor del calor específico, pero dentro de los rangos de humedad y temperatura utilizados en el presente trabajo, para valores fuera de los rangos testeados, será necesario nuevas evaluaciones con la finalidad de conservar la fiabilidad de los resultados. Según MANUEL (1999), el ajuste es perfecto cuando $R^2 = 1$. Cuando la línea es horizontal $R^2 = 0$, es decir no hay regresión lineal. Por lo

tanto, cuando mayor sea el valor de R^2 mejor será el ajuste y más útil la recta de regresión como instrumento de predicción.

4.8. Determinación de la conductividad térmica.

Los valores encontrados de conductividad térmica para los tratamientos propuestos se presentan en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Valores de la conductividad térmica a diferente contenido de humedad y temperatura.

Humedad final(%)	Temperatura (°C)	Conductividad Térmica (W/m°C)
75,5160	45	0,3039 ± 0,0283
77,4114	50	0,3323 ± 0,0330
79,0343	55	0,3802 ± 0,0137
80,4397	60	0,4104 ± 0,0085
81,6686	65	0,4289 ± 0,0042
82,7521	70	0,4722 ± 0,0374
83,7147	75	0,4918 ± 0,0358
84,5755	80	0,5911 ± 0,0355
85,4113	85	0,6809 ± 0,0369
86,7856	90	0,7392 ± 0,0341

Del Cuadro 17, el resultado de la conductividad térmica arrojó un valor mínimo de $0,3039 \pm 0,0283$ W/mK a una humedad de 75,5160 % y a una temperatura de 45 °C y un valor máximo de $0,7392 \pm 0,0341$ con una humedad de 86,7856 % y una temperatura de 90 °C; también va incrementando la conductividad térmica en función a la humedad y la temperatura como lo

mencionan RAMASWAMY y TUNG (1981) la conductividad térmica se encontró entre 0,383 y 0,368 W/mK, En comparación con el valor observado de 0,427 y 0,398 W/m°C. También menciona que la conductividad térmica de la manzana es de 0,55 W/m°C a una temperatura de 20 °C y 85 % de humedad. Otros autores mencionan ALICIA y CALVELO (1991) que estudiaron la conductividad térmica de la papa a 50 y 100 ° C de temperatura. Los resultados oscilaron de 0,545 a 0,957 W/m°C. Según diversos autores la difusividad térmica se obtiene del cociente de la relación entre la conductividad térmica y el calor específico y densidad, lo que fue todo lo contrario para lograr determinar la conductividad térmica se dio como resultado al producto de la difusividad térmica, calor específico y densidad; como mencionan BAIK *et al.* (1999) y UNKLESBAY *et al.* (1992) la difusividad térmica es dependiente de la temperatura se obtiene dividiendo la conductividad térmica y el producto de los calores específicos y densidades.

4.8.1. Análisis de regresión para la conductividad térmica en función de la humedad y la temperatura.

En el Cuadro 18 se muestra la relación de la conductividad térmica con las variables predictoras (humedad y temperatura).

Cuadro 18. ANVA de la regresión lineal múltiple, humedad y temperatura vs conductividad térmica.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	0,1846920	0,0923460	116,6100000	0,0000000
Error residual	7	0,0055440	0,0007920		
Total	9	0,1902350			

Se puede observar que existe diferencia altamente significativa ($P < 0,01$), lo cual indica que existe suficiente evidencia estadística para aceptar que la variable respuesta (conductividad térmica) tiene dependencia lineal con las variables explicativas (humedad y temperatura) cuyo modelo matemático se detalla a continuación, que el objetivo principal de la regresión lineal es construir un modelo que permita predecir el valor de la variable dependiente cuando los valores de las variables predictorias toman valores determinados, dentro de los rango en lo cuales el modelo fue calculado. Como menciona THOMAS (2001) la regresión lineal trata de predecir el problema o estimar la variable respuesta a partir de otra variable llamada predictor o explicativa.

$$K = 3,21 - 0,0510 H + 0,0215 T$$

K: Conductividad térmica

$$R^2 = 97,1 \%$$

3,21 : Término independiente (intercepto), representa el valor de la conductividad térmica cuando asumimos humedad y temperatura de cero. Así como menciona THOMAS (2001) que el intercepto es el valor estimado de la variable respuesta cuando las variables independientes sean cero. CALZADA

(1976) menciona que la línea de regresión corta al eje de ordenadas y a una distancia del origen cero de este eje igual a "a"

- **0,0510** : Coeficiente de la regresión para la variable humedad, quiere decir que la conductividad térmica disminuye en - 0,0510 por cada incremento en una unidad de la humedad. Como lo menciona THOMAS (2001) es el cambio que incrementa en una unidad la variable independiente.

H : Humedad del alimento.

0,0215 : Coeficiente de la regresión para la variable temperatura, es decir que la conductividad térmica aumenta en 0,0215 cada incremento en una unidad de la Temperatura.

T : Temperatura.

R² : indica que el 97,1 % de la variabilidad de la conductividad térmica es explicado por las variables predictorias humedad y temperatura cabe aclarar previamente que la fórmula presentada predice adecuadamente el valor de la conductividad térmica, pero dentro de los rangos de humedad y temperatura utilizados en el presente trabajo, para valores fuera de los rangos testeados, será necesario nuevas evaluaciones con la finalidad de conservar la fiabilidad de los resultados. Según MANUEL (1999), el ajuste es perfecto cuando $R^2 = 1$. Cuando la línea es horizontal $R^2 = 0$, es decir no hay regresión lineal. Por lo tanto, cuando mayor sea el valor de R^2 mejor será el ajuste y más útil la recta de regresión como instrumento de predicción.

V. CONCLUSIONES

- El valor mínimo de conductividad térmica de la pulpa del yacón fue de $0,3039 \pm 0,0283$ W/mK a 75,5160 % de humedad y 45 °C y el valor máximo fue de $0,7392 \pm 0,0341$ W/mK a 86,7856 % de humedad y 90 °C.

El valor mínimo de densidad de la pulpa de yacón fue de $1,0097 \pm 0,0071$ g/cc a 86,7856 % de humedad y 90 °C y el valor máximo fue de $1,0667 \pm 0,0117$ g/cc a 86,7856 % de humedad y 90 °C.

El valor mínimo de difusividad térmica de la pulpa del yacón fue de $1,2157E-07 \pm 2,9653E-09$ m²/s a 75,5160 % de humedad y 45 °C y el valor máximo fue de $2,1964E-07 \pm 7,8901E-09$ m²/s a 86,7856 % de humedad y 90 °C.

El valor mínimo de calor específico de la pulpa del yacón fue de $2,3335 \pm 0,1476$ KJ/KgK a 75,5160 % de humedad y 45 °C y el valor máximo fue de $3,3305 \pm 0,0153$ KJ/KgK a 86,7856 % de humedad y 90 °C .

- El modelo matemático que predice la conductividad térmica de la pulpa del yacón en función de la humedad y la temperatura, es la siguiente:

$$k = 3,21 - 0,0510 H + 0,0215 T.$$

VI. RECOMENDACIONES.

- Utilizar el secador de bandejas para reducir la humedad de la pulpa de una materia prima.
- Determinar la difusividad térmica, calor específico y densidad de la pulpa del yacón ampliando los rangos desde 0 a 100 °C con diferentes humedades para predecir la conductividad térmica mediante un modelo matemático.

VII. ABSTRACT

This work was carried out in the National Agrarian University of jungle laboratories: food engineering, physical and sensory analysis. Yacon is a tuber that is grown in Peru, in the following departments (Cajamarca, Huanuco, Cuzco) and in other countries such as Ecuador, Bolivia, Venezuela and Colombia and grows from 1200 to 1700 m.s.n.m.

The fruits of yacon were collected in the district of Rupa Rupa (Tingo Maria) province of Leoncio Prado, Huanuco Department, they were blended, packaged and stored at -16°C .

Thermal conductivity is one of the thermophysical properties is necessary to know its behavior to describe the various thermal processes and to optimize the design and operation of refrigeration and freezing, are also needed for research and various applications engineering.

The thermal conductivity was determined by the three independent variables such as: thermal diffusivity, specific heat and density.

The purpose of the study was to determine the thermal conductivity of the pulp yacon depending on humidity and temperature, from 75.5160% to 86.7856% moisture at temperatures of $45\text{-}90^{\circ}\text{C}$ respectively with a minimum value of $(.3039 \pm 0.0283)\text{ W / m }^{\circ}\text{C}$ and a maximum value of $(0.7392 \pm 0.0341)\text{ W / m }^{\circ}\text{C}$.

Linear regression of the thermal conductivity problem is to predict or estimate the response variable from another variable called predictive or explanatory shown below.

$$K = 3.21 - 0.0510 H + 0.0215 T$$

where:

K = thermal conductivity.

H = humidity.

T = temperature.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ALICIA, N. ; CALVELO, F. 1991. Thermal Conductivity of Potato between 50 and 100°C. Volume 56, p 586-587.
- A.O.A.C. 1995, ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, Official Methods of Analysis, Ed, Arlington, USA, 37: 2.
- ADAMS, W, 1964, Transmisión de Calor, Mc Graw-Hill Book Company, INC, 557 p.
- BLACK. J s/d. calor específico, calor latente, del vapor y la vaporización. [En línea]: ayura. (<http://ayura.udea.edu.co/~fisica/MATEFISICA/EPISTEMOLOGICA/Archivos/CALORIMETRIA/CALOR%20ESP.LAT.VAPORIZ>, documento, Dic. 2010).
- BAIK, Ó., SABLANI, S., MARCOTTE, M., CASTAIGNE. F. 1999. Modeling the Thermal Properties of a Cup Cake During Baking. Volume p 64, 295-299.
- BAILEY, H..1940 . Dexhzty of dry atilk solids, 15 septiembre, p 275-280.
- BÁRBARA GARREA MOREDA, ALFREDO CURBELO ALONSO, JOSE ARTÍLES VISBAL, LUIS CEDEÑO CAERO, JORGE RAMIREZ SOLIS. 1991. Determinación de la Conductividad y la Difusividad Térmica del Meollo de la Caña de Azúcar. [En línea]: [www imiq \(http://www.imiq.org/documentos/](http://www.imiq.org/documentos/), documentos, Dic. 2010).

- CÁRDENAS, B. conductividad térmica. [En línea] : sisbid (http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/cardenas_lb/conclu.pdf, documentos, Dic. 2010).
- CERRO, J. , GALLARDO, M.. s/f propiedades térmicas de materiales. [En línea]:Termodinámica.(<http://termodinamica.us.es/materiales/transleccion3.pdf>, documentos, Dic. 2010).
- CHOI , OKOS. Propiedades térmicas de los alimentos.1983. [En línea]:ES SRIBD, (<http://es.scribd.com/doc/22440709/Propiedades-Termicas-de-los-Alimentos>, documentos, Dic. 2010).
- CHRISTIE, J. 1982. Procesos de transporte y operaciones unitarias. EROLES, A. México. Ed Continental. S.A.
- CALZADA, J. 1976. Métodos estadísticos. 3era ed, Mexico. Editorial Acribia p 215-217.
- DICKERSON, R. 1969. Thermal properties of food chapt 2 in the freezing preservación of foods 4 th.ed.
- FENNEMA, O., KAREL, M., LUND, D. 1981. Principles of food science,Voll II Physical of foot Preservation, Marcel Dekker, inc,N,Y, 474 pag.
- FELLOWS, P., 1988, Processing Technology, Principles and Practice, Ellis Horwood series in Food and Technology, p 41-61.
- FRAGUELA, A.; INFANTE, J., RAMOS, A. ; REY, J. 2009. Identificación de un coeficiente de conductividad térmica Transitoria. [En línea]: Matemáticas (http://matematicas.uclm.es/cedya09/archive/textos/100_Infante-del-Rio-J.pdf, 21-25 setiembre 2009).

- GRATZEK y TOLEDO. 1993; SWEAT. 1974. Conductividad térmica de frutas y vegetales. [En línea]: VIRTUAL, <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4070035>, documentos, Dic. 2010).
- GARREA, B., CURBELO, A., VISBAL, J., CEDEÑO, L., RAMIREZ, J. 1991. Determinación de la Conductividad y la Difusividad Térmica del Meollo de la Caña de Azúcar. [En línea]: (<http://www.imiq.org/documentos/documentos>, Dic. 2010).
- HORI, T. 1983. Effects of Rennet Treatment and Water Content on Thermal Conductivity of Skim Milk. Volume 48, p 1492-1495.
- HAYES, G. 1992. "Manual De Datos Para Ingeniería De Los Alimentos", Edit. Acribilla S.A., Zaragoza (España) p 67-70, 72, 75, 79, 121-127.
- HOLMAN, J. 1998, Transferencia de Calor, y Masa 9^a ed., McGraw-Hill 2002 (que a su vez cita a Brown y Marco.)
- LEON, J. 1984, Plantas alimenticias andinas, Boletín N°6 (IICA), Lima-Perú, 128 pag.
- LOZANO, J., URBICAIN, M., ROTSTEIN, E. 1979. Thermal conductivity of apples as a function of moisture content, J, Food Sci, p 198-199.
- MANUEL, C. 1999. Estadística inferencial..1era ed. Perú. Ed librería MOSHERA S.R.L. p 258-259.
- MAROUSIS, N., SARAVACOS, G.D. (1990). Density and Porosity in Drying Starch Materials.
- MUÑOZ, J., BLANCO, T., SERVÁN, K., ALVARADO, 2006. Evaluación del contenido nutricional de yacón (*Polimnia sonchifolia*) procedente de sus principales zonas de producción nacional 71 pag [En línea]:

(http://www.usmp.edu.pe/medicina/horizonte/2006_II/Art1_Vol6_N2d
Documentos, 04 nov.2011).

- MUZILLA, M., UNKLESBAY, N., UNKLESBAY, K., HELSEL. 1990. Effect of Moisture Content on Density, Heat Capacity and Conductivity of Restructured Pork/Soy Hull Mixtures. Volume 55, p 1491-1493.
- MICHAEL, B., MAGNE, E., JON EIRIK BRENNVALL. 2010. A novel method for simultaneous and continuous determination of thermal properties during phase transition at *calanus finmarchicus*, Vol 75, p 315-321.
- MOHSENIN, N., 1980, Thermal Properties of Food and Agricultural materials, Gordon and Breach Science publishers, INC, N,Y, USA, 407pag
- PEÑA, G. 2002. Influencia del tamaño de grano en la conductividad térmica a altas temperaturas en polvos aislantes de MgO. [En línea]: redalyc (<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/942/94214010.pdf> documentos, Dic. 2010).
- PELEG, M., 1983, Physical Properties of Food, AVI Publishing Company, INC, Westport, Connecticut, p 13 –16.
- PIECK, D. 2006. Conductividad térmica. [En línea]:[www.ib,\(http://www.ib.cnea.gov.ar/~pieckd/conductividad.pdf](http://www.ib.cnea.gov.ar/~pieckd/conductividad.pdf), documento Dic. 2010).
- RAMASWAMY, H., TUNG, M. .1981. Thermophysical Properties of Apples in Relation to Freezing. Volume 46. p 724-728.
- RENZO, A. 2003. Estudio fitoquímico y nutricional de *Smallanthus*. [En línea]: (http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home/rec/arc_9438.pdf documentos, Dic. 2010).

- SEMINARIO. J Y VALDERRAMA. M.2003. Cultivo y aprovechamiento del yacón. Rev Cient. Colude-Pymagnos, p 81 – 83.
- SHARMA, S,; MULVANEY, S,; RIZVI, S,, 2000, Food Process Engineering, Theory and Laboratory Experiments, a John Wiley and Sons, INC, Publication, Canada, 342 pag.
- SINGH, P,; HELDMAN, D., 1998, Introducción a la Ingeniería de los Alimentos, Editorial Acribia, S,A, Zaragoza, España 544 pag.
- SMITH, J.M., Van Ness, H.C., Abbot, M.M.; “Introducción a la termodinámica en ingeniería química”, 6ª. Edición, Mc Graw Hill, 2003.
- SALAZAR, (2002), Caracterización del tubérculo del yacon (*Smallanthus sonchifolius*) para la elaboración de yogurt batido 56 pag.
- SANTI, R., BHOWMIK., KAN, ICHI HAYAKAWA. 1979. A new method for determining the apparent termal diffusivity of thermally conductive food. Vol. 44, p 469-473.
- THOMAS, M., LITTLE, M., HILLS, J. 2001. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Ed TRILLAS. 2da ed. México 87 pag.
- UNKLESBAY, N., UNKLESBAY, K., HSIEH, K., SANDIK.(1992). Thermophysical Properties of Extruded Beef/Corn Flour Blends, Volume 57, No. 6,1282-1284.
- WATSON, E. HARPER, J, 1987, Elements of Food Engineering, Publishers by van Nostrand Reinhold Company, N,Y, 308 pag.

IX. ANEXOS

Anexo 1 : Datos obtenidos en el experimento de la difusividad térmica de la pulpa del yacón en función de la humedad (75,52 %) y temperatura (45 °C).

1.1. Experimento a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

1.1.1. Primera repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

Tm	45.7
To	22.9

Tm=Temperatura del medio de calentamiento en °C.

To =Temperatura inicial en el centro térmico de la muestra en °C.

Cuadro 19. Primera repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

AGUA		ALIMENTO		$\left[\frac{T_m - T_0}{T_m - T} \right]$	$1,6 \times \left[\frac{T_m - T_0}{T_m - T} \right]$	$\log \left[1,6 \times \frac{T_m - T_0}{T_m - T} \right]$
Θ	T	Θ	T			
0	43,80	0	22,90	0,000000	0,0000000	0,0000000
30	45,70	30	23,00	1,0044053	1,6070485	0,2060290
60	45,60	60	23,20	1,0133333	1,6213333	0,2098723
90	45,70	90	23,80	1,0410959	1,6657534	0,2216107
120	45,80	120	24,90	1,0961538	1,7538462	0,2439915
150	45,80	150	26,20	1,1692308	1,8707692	0,2720202
180	45,90	180	27,60	1,2596685	2,0154696	0,3043763
210	45,90	210	29,00	1,3652695	2,1844311	0,3393384
240	45,80	240	30,40	1,4901961	2,3843137	0,3773634
270	45,90	270	31,70	1,6285714	2,6057143	0,4159268
300	45,80	300	33,00	1,7952756	2,8724409	0,4582511
330	46,00	330	34,10	1,9655172	3,1448276	0,4975968
360	46,00	360	35,10	2,1509434	3,4415094	0,5367490
390	45,80	390	36,10	2,3750000	3,8000000	0,5797836
420	46,00	420	37,00	2,6206897	4,1931034	0,6225356
450	46,10	450	37,80	2,8860759	4,6177215	0,6644277
480	45,80	480	38,50	3,1666667	5,0666667	0,7047223
510	46,30	510	39,20	3,5076923	5,6123077	0,7491415
540	45,40	540	39,80	3,8644068	6,1830508	0,7912028
570	45,70	570	40,30	4,2222222	6,7555556	0,8296611

600	45,30	600	40,80	4,6530612	7,4448980	0,8718587
630	45,00	630	41,30	5,1818182	8,2909091	0,9186022
660	45,80	660	41,70	5,7000000	9,1200000	0,9599948
690	46,30	690	42,10	6,3333333	10,1333333	1,0057523
720	45,90	720	42,50	7,1250000	11,4000000	1,0569049
750	44,80	750	42,80	7,8620690	12,5793103	1,0996568
780	46,10	780	43,10	8,7692308	14,0307692	1,1470815
810	46,00	810	43,40	9,9130435	15,8608696	1,2003270
840	45,90	840	43,60	10,8571429	17,3714286	1,2398355
870	46,10	870	43,80	12,0000000	19,2000000	1,2833012

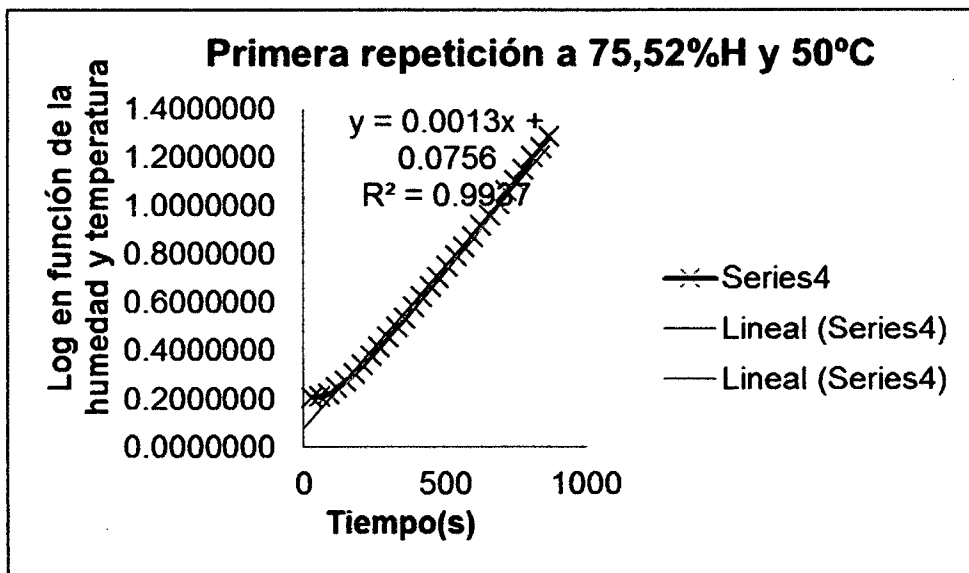


Figura 6. Primera repetición a 75,52 % humedad y 45 °C de temperatura.

$$\alpha = 0,398 \times 0,0013 \times 0,01495 \times 0,01495$$

$$\alpha = 1,1564E-07$$

1.1.2. Segunda repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

T_m	45,9
T_o	24

Cuadro 20. Segunda repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

AGUA		ALIMENTO		$\left[\frac{T_m - T_o}{T_m - T} \right]$	$1,6 \times \left[\frac{T_m - T_o}{T_m - T} \right]$	$\log \left[1,6 \times \frac{T_m - T_o}{T_m - T} \right]$
Θ	T	Θ	T			
0	44,3	0	24,0			
30	45,5	30	24,0	1,0000000	1,6000000	0,2041200
60	45,7	60	24,3	1,0138889	1,6222222	0,2101103
90	45,7	90	25,0	1,0478469	1,6765550	0,2244178
120	45,7	120	26,1	1,1060606	1,7696970	0,2478989
150	45,7	150	27,4	1,1837838	1,8940541	0,2773924
180	45,7	180	28,7	1,2732558	2,0372093	0,3090357
210	45,9	210	30,0	1,3773585	2,2037736	0,3431670
240	45,6	240	31,3	1,5000000	2,4000000	0,3802112
270	45,8	270	32,6	1,6466165	2,6345865	0,4207125
300	46,2	300	33,7	1,7950820	2,8721311	0,4582043
330	45,8	330	34,8	1,9729730	3,1567568	0,4992411
360	45,8	360	35,7	2,1470588	3,4352941	0,5359639
390	46,1	390	36,6	2,3548387	3,7677419	0,5760811
420	45,7	420	37,5	2,6071429	4,1714286	0,6202848

450	46,0	450	38,2	2,8441558	4,5506494	0,6580734
480	46,1	480	38,9	3,1285714	5,0057143	0,6994661
510	45,9	510	39,5	3,4218750	5,4750000	0,7383841
540	46,2	540	40,1	3,7758621	6,0413793	0,7811361
570	46,1	570	40,6	4,1320755	6,6113208	0,8202882
600	45,8	600	41,1	4,5625000	7,3000000	0,8633229
630	46,3	630	41,6	5,0930233	8,1488372	0,9110956
660	46,1	660	42,0	5,6153846	8,9846154	0,9534995
690	45,8	690	42,3	6,0833333	9,7333333	0,9882616
720	46,4	720	42,7	6,8437500	10,9500000	1,0394141
750	46,1	750	43,0	7,5517241	12,0827586	1,0821661
780	45,9	780	43,3	8,4230769	13,4769231	1,1295907
810	46,4	810	43,5	9,1250000	14,6000000	1,1643529
840	46,0	840	43,8	10,4285714	16,6857143	1,2223448
870	45,9	870	44,0	11,5263158	18,4421053	1,2658105
900	46,3	900	44,2	12,8823529	20,6117647	1,3141152
930	46,1	930	44,4	14,6000000	23,3600000	1,3684728
960	45,9	960	44,6	16,8461538	26,9538462	1,4306207
990	46,5	990	44,7	18,2500000	29,2000000	1,4653829
1020	45,9	1020	44,9	21,9000000	35,0400000	1,5445641
1050	45,9	1050	45,0	24,3333333	38,9333333	1,5903216
1080	46,3	1080	45,1	27,3750000	43,8000000	1,6414741
1110	46,0	1110	45,2	31,2857143	50,0571429	1,6994661

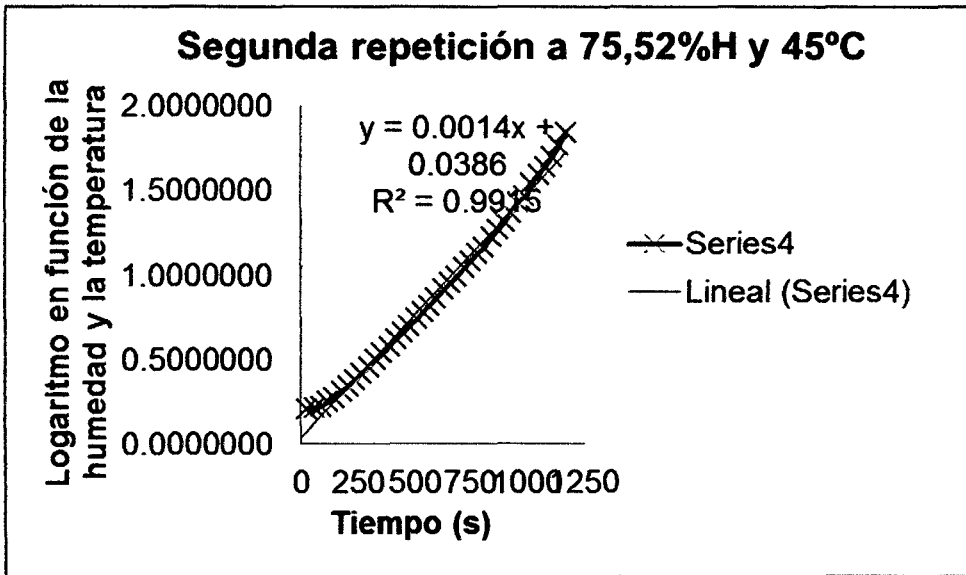


Figura 7. Segunda repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

$$\alpha = 0,398 \times 0,0014 \times 0,01495 \times 0,01495$$

$$\alpha = 1,24536E-07$$

1.1.3. Tercera repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

Tm	45,9
To	24,4

Cuadro 21. Tercera repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

AGUA		ALIMENTO		$\left[\frac{T_m - T_o}{T_m - T} \right]$	$1,6 \times \left[\frac{T_m - T_o}{T_m - T} \right]$	$\log \left[1,6 \times \frac{T_m - T_o}{T_m - T} \right]$
Θ	T	Θ	T			
0	45,6	0	24,4			
30	45,8	30	24,4	1,0000000	1,6000000	0,2041200
60	45,9	60	24,8	1,0189573	1,6303318	0,2122760
90	45,8	90	25,6	1,0591133	1,6945813	0,2290624
120	45,8	120	26,7	1,1197917	1,7916667	0,2532572
150	46,2	150	28,0	1,2011173	1,9217877	0,2837054
180	45,8	180	29,3	1,2951807	2,0722892	0,3164504
210	45,8	210	30,6	1,4052288	2,2483660	0,3518670
240	45,9	240	31,8	1,5248227	2,4397163	0,3873393
270	45,8	270	33,0	1,6666667	2,6666667	0,4259687
300	45,8	300	34,1	1,8220339	2,9152542	0,4646764
330	46,1	330	35,1	1,9907407	3,1851852	0,5031347
360	45,9	360	36,0	2,1717172	3,4747475	0,5409232
390	45,8	390	36,9	2,3888889	3,8222222	0,5823159
420	46,1	420	37,7	2,6219512	4,1951220	0,6227446
450	45,9	450	38,4	2,8666667	4,5866667	0,6614972
480	45,9	480	39,1	3,1617647	5,0588235	0,7040495
510	46,1	510	39,7	3,4677419	5,5483871	0,7441668
540	45,9	540	40,2	3,7719298	6,0350877	0,7806836
570	45,9	570	40,7	4,1346154	6,6153846	0,8205551
600	46,2	600	41,2	4,5744681	7,3191489	0,8644606

630	45,9	630	41,6	5,0000000	8,0000000	0,9030900
660	46,1	660	42,0	5,5128205	8,8205128	0,9454938
690	46,1	690	42,3	5,9722222	9,5555556	0,9802559
720	45,9	720	42,7	6,7187500	10,7500000	1,0314085
750	46,1	750	43,0	7,4137931	11,8620690	1,0741604
780	46,1	780	43,3	8,2692308	13,2307692	1,1215851
810	45,9	810	43,5	8,9583333	14,3333333	1,1563472
840	46,1	840	43,7	9,7727273	15,6363636	1,1941358
870	46,2	870	43,9	10,7500000	17,2000000	1,2355284
900	45,9	900	44,1	11,9444444	19,1111111	1,2812859
930	46,3	930	44,3	13,4375000	21,5000000	1,3324385
960	46,1	960	44,5	15,3571429	24,5714286	1,3904304
990	45,9	990	44,6	16,5384615	26,4615385	1,4226151
1020	46,0	1020	44,8	19,5454545	31,2727273	1,4951658
1050	46,2	1050	44,9	21,5000000	34,4000000	1,5365584
1080	45,9	1080	45,0	23,8888889	38,2222222	1,5823159
1110	46,0	1110	45,1	26,8750000	43,0000000	1,6334685
1140	46,2	1140	45,2	30,7142857	49,1428571	1,6914604
1170	45,9	1170	45,3	35,8333333	57,3333333	1,7584072
1200	46,0	1200	45,4	43,0000000	68,8000000	1,8375884
1230	46,2	1230	45,5	53,7500000	86,0000000	1,9344985

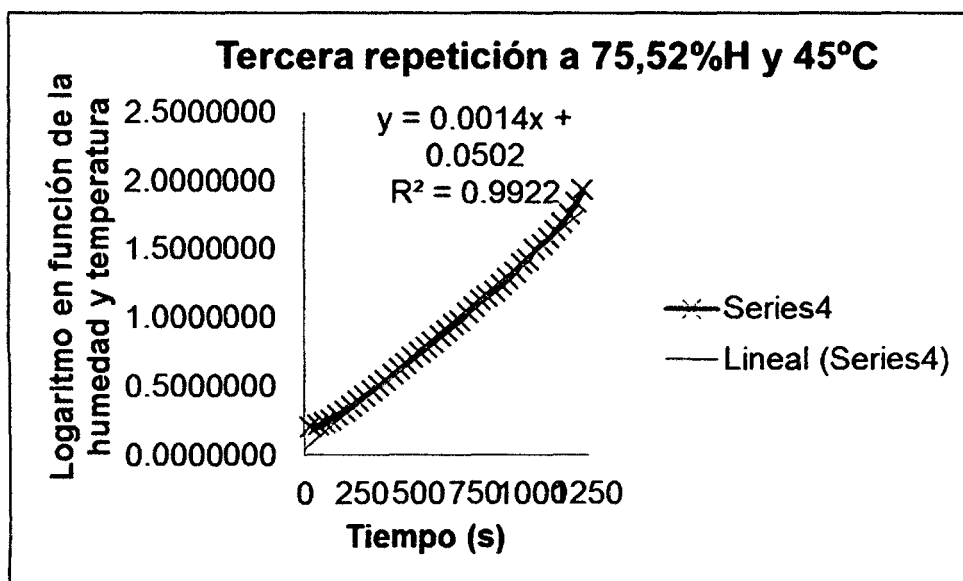


Figura 8. Tercera repetición a 75,52 %humedad y 45 °C de temperatura

$$\alpha = 0,398 \times 0,0014 \times 0,01495 \times 0,01495$$

$$\alpha = 1,24536E-07$$

CALOR ESPECÍFICO

Anexo 2: Datos obtenidos en el experimento de calor específico de la pulpa del yacón en función de la humedad (75,52 %) y temperatura (45 °C).

2.1. Experimento a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

2.1.1. Primera, segunda y tercera repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

Cuadro 22. Primera, segunda y tercera repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

	R ₁	R ₂	R ₃
T ₁	297,1500	297,1500	297,1500
m ₁	0,0250	0,0250	0,0250
Cp agua	417,9740	417,9740	417,9740
T ₂	318,1500	318,1500	318,1500
m ₂	0,0250	0,0250	0,0250
T ₃	301,3500	301,6500	301,8500
C	0,1164	0,1164	0,1164
Cp alim	2,2049	2,4068	2,5445

DENSIDAD

Anexo 3: Datos obtenidos en el experimento de densidad de la pulpa del yacón en función de la humedad (75,52 %) y temperatura (45 °C).

3.1. Experimento a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

3.1.1. Primera segunda y tercera repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

Cuadro 23. Primera segunda y tercera repetición a 75,52 % de humedad y 45 °C de temperatura.

	Peso de la jeringa(g)	Volumen	MP + G	W-(MP+G)	Densidad
R ₁	6,49	10	17,03	10,54	1,054
R ₂	6,62	10	17,18	10,56	1,056
R ₃	6,39	10	17,29	10,90	1,090