



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**Propiedades térmicas de piel y músculo de peces amazónicos, Paco (*Piaractus  
brachypomus*) y Gamitana (*Colossoma macropomum*)**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial**

**AUTORA:**

**Shelly Milagros Vásquez Vargas**

**ASESOR:**

**Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada**

**CO-ASESOR:**

**Ing. Dr. Ricardo Raúl Layza Castañeda**

**Tarapoto – Perú**

**2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**Propiedades térmicas de piel y músculo de peces amazónicos Paco (*Piaractus brachypomus*) y Gamitana (*Colossoma macropomum*)**

**AUTORA:**

**Shelly Milagros Vásquez Vargas**

**Sustentada y aprobada el 29 de octubre del 2021, ante el honorable jurado:**

  
.....  
**Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco**  
**Presidente**

  
.....  
**Ing. Dr. Enrique Navarro Ramírez**  
**Secretario**

  
.....  
**Ing. Aldinger Pezo Pinedo**  
**Vocal**

  
.....  
**Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada**  
**Asesor**

## Declaratoria de autenticidad



**Shelly Milagros Vásquez Vargas**, con DNI N° 71719278, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Propiedades térmicas de piel y músculo de peces amazónicos Paco (*Piaractus brachypomus*) y Gamitana (*Colossoma macropomum*)**.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 29 de octubre del 2021.

  
  
.....  
**Bach. Shelly Milagros Vásquez Vargas**  
DNI N° 71719278

**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres:	Vázquez Vargas Shelly Milagros		
Código de alumno :	71719278	Teléfono:	
Correo electrónico :	milagrosvas@hotmail.com	DNI:	71719278

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de:	Ingeniería Agroindustrial
Escuela Profesional de:	Ingeniería Agroindustrial

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título :	Propiedades térmicas de piel y músculo de peces amagónicos, Paco (Piaractus brachipomus) y Gamitana (Colossoma macropomum).
Año de publicación:	2021

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

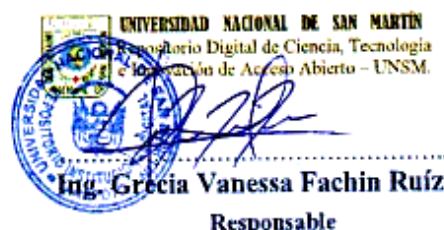
Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

  
Firma y huella del Autor

## 8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto.

Fecha de recepción del documento:

16 / 03 / 2022

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto - UNSM.  
Ing. Grecia Vanessa Fachin Ruíz  
Responsable

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## **Dedicatoria**

Agradezco a Dios por haberme dado la vida, estar presente todos los días en mi corazón y ser el padre celestial que me guía.

A mis padres Segundo y Luz con mucho amor y cariño, por su apoyo incondicional en mis estudios que con mucho esfuerzo, amor y confianza en mí termine la carrera de Ingeniería Agroindustrial.

A mis hermanos Julixa Celinda, Eliana Smith, Segundo Branko, Romario Abdías por sus grandes apoyos durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

## **Agradecimientos**

- ✓ A mi asesor de tesis el Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada por guiar esta investigación y por sus enseñanzas brindadas.
- ✓ Al ingeniero Richer Garay Montes, por su ayuda y orientación en el laboratorio de investigación.
- ✓ A todos los docentes de la facultad de Ingeniería Agroindustrial por las enseñanza y conocimientos brindados.
- ✓ A la Universidad Nacional de San Martín y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida y guiarme en el desarrollo de esta investigación.



## Índice general

Dedicatoria .....	vi
Agradecimientos.....	vii
Resumen .....	xix
Abstract .....	xx
 Introducción.....	 1
 CAPITULO I.....	 3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
1.1. Generalidades de la gamitana ( <i>Colossoma macropomum</i> ).....	3
1.1.1. Descripción taxonómica.....	3
1.1.2. Morfología .....	4
1.1.3. Maduración sexual de la gamitana ( <i>Colossoma macropomum</i> ) .....	4
1.1.4. Hábitos alimenticios.....	4
1.1.5. Composición proximal de la gamitana ( <i>Colossoma macropomum</i> ) .....	5
1.2. Generalidades del paco ( <i>Piaractus brachypomus</i> ) .....	6
1.2.1. Descripción taxonómica.....	7
1.2.2. Características biológicas.....	7
1.2.3. Maduración sexual del paco ( <i>Piaractus brachypomus</i> ).....	7
1.2.4. Composición química del paco en estado fresco. ....	8
1.3. Calorimetría diferencial de barrido.....	8
1.3.1. Aplicaciones de la calorimetría diferencial de barrido. ....	9
1.3.2. Curvas DSC .....	9
1.3.3. Funcionamiento del calorímetro diferencial de barrido.....	10
1.4. Propiedades termofísicas .....	12
1.4.1. Calor específico. ....	12
1.4.2. Entalpía .....	12
1.5. Transiciones térmicas.....	13
1.5.1. Cristalización. ....	13
1.5.2. Fusión.....	13
1.5.3. Transición vítrea. ....	13
1.6. Composición química del músculo de pescado .....	14

1.6.1. Proteínas.....	14
1.6.2. Lípidos .....	16
1.6.3. Componentes nitrogenados no proteicos .....	17
1.6.4. Vitaminas y minerales.....	17
1.7. Clasificación de las proteínas musculares de especies pesqueras.....	17
1.7.1. Proteínas sarcoplasmáticas.....	18
1.7.2. Proteínas del estroma .....	19
1.7.3. Proteínas miofibrilares .....	19
1.7.4. Proteínas contráctiles .....	19
1.8. Desnaturalización proteica.....	20
1.9. Congelación de alimentos .....	21
1.9.1. Fases del proceso de congelación .....	22
1.9.2. Temperatura inicial de Congelación .....	23
CAPÍTULO II.....	25
MATERIAL Y MÉTODOS .....	25
2.1. Lugar de ejecución.....	25
2.2. Materia prima.....	25
2.3. Equipos y Materiales .....	25
2.3.1. Equipos e instrumentos .....	25
2.3.2. Materiales de laboratorio.....	26
2.3.3. Reactivos .....	26
2.4. Desarrollo experimental.....	26
2.4.1. Análisis químico proximal.....	26
2.4.2. Metodología experimental .....	27
2.4.2.1. Descripción del proceso: .....	28
2.4.3. Cálculo de la capacidad calorífica de piel y músculo de las especies (paco y gamitana) en edad (juvenil y adulto). .....	29
2.4.4. Desnaturalización de proteínas en piel y músculo de las especies (paco y gamitana) en edad (juvenil y adulto), en la temperatura de desnaturalización y entalpía de desnaturalización. ....	29
2.4.5. Temperatura de congelación y entalpía de congelación .....	29
2.4.6. Análisis estadístico.....	30
CAPÍTULO III .....	31

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
3.1. Composición química proximal de la piel y músculo de gamitana y paco.....	31
3.2. Determinación de la capacidad calorífica de piel y músculo de las especies gamitana y paco en la edad de juvenil y adulto. ....	33
3.2.1. Capacidad calorífica en el intervalo de las temperaturas de 5°C a 38°C. ....	33
3.3. Determinación de la influencia del tipo de tejido (piel y músculo), de la edad (juvenil y adulto) y la especie (paco y gamitana), en la temperatura de desnaturalización y entalpía de desnaturalización. ....	48
3.3.1. Influencia de la especie y edad en la temperatura y entalpía de desnaturalización de la piel de gamitana y paco. ....	48
3.3.2. Influencia de la temperatura desnaturalización y entalpía de desnaturalización en el músculo de gamitana y paco en la edad juvenil y adulto. ....	50
3.4. Determinación de la temperatura congelación y entalpía de congelación en la piel y músculo de la gamitana y paco en la edad de juvenil y adulto. ....	61
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES .....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	70
ANEXOS.....	80

## Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Resultados del análisis proximal del músculo de gamitana ( <i>Colossoma macropomum</i> ) en estado juvenil y adulto.....	5
Tabla 2. Resultados de la composición proximal del paco en estado juvenil y adulto.....	8
Tabla 3. Principales proteínas musculares de peces y animales, analizadas en la temperatura de pico de desnaturalización en DSC.....	21
Tabla 4. Tiempos de conservación de pescado congelado.....	23
Tabla 5. Punto de congelación de carne, pescado y camarones.....	24
Tabla 6. Análisis proximal de las pieles de gamitana y paco en base seca.....	31
Tabla 7. Análisis proximal del músculo de gamitana y paco en base seca.....	32
Tabla 8. Datos promedio de la capacidad calorífica en la piel y músculo en los intervalos de las en las temperaturas de 5°C; 20°C; 38°C en las especies de gamitana ( <i>Colossoma macropomum</i> ) y paco ( <i>Piaractus brachypomus</i> ) en las edades juvenil y adulto.....	41
Tabla 9. Datos promedio de la capacidad calorífica en la piel y músculo en los intervalos de las temperaturas de -35°C; -10°C en las especies de gamitana ( <i>Colossoma macropomum</i> ) y paco ( <i>Piaractus brachypomus</i> ) en las edades juvenil y adulto.....	46
Tabla 10. Datos promedios de la desnaturalización de las proteínas en la piel de la gamitana ( <i>Colossoma macropomum</i> ) y paco ( <i>Piaractus brachypomus</i> ) en las edades juvenil y adulto.....	52
Tabla 11. Datos promedios obtenidos de la desnaturalización de la miosina en el músculo gamitana ( <i>Colossoma macropomum</i> ) y paco ( <i>Piaractus brachypomus</i> ) en las edades juvenil y adulto.....	55
Tabla 12. Datos promedios obtenidos de la desnaturalización de la proteína sarcoplasmáticas en el músculo gamitana ( <i>Colossoma macropomum</i> ) y paco ( <i>Piaractus brachypomus</i> ) en las edades juvenil y adulto.....	57
Tabla 13. Datos promedios obtenidos de la desnaturalización de la actina en el músculo gamitana ( <i>Colossoma macropomum</i> ) y paco ( <i>Piaractus brachypomus</i> ) en las edades juvenil y adulto.....	59
Tabla 14. Datos promedios de la congelación en piel y músculo.....	64

Tabla 15. Análisis de varianza (ANVA) para la capacidad calorífica a 5°C.....	81
Tabla 16. Nivel de significancia en la capacidad calorífica de 5°C entre prueba de Tukey.....	81
Tabla 17. Análisis de varianza (ANVA) para la capacidad calorífica a 20°C.....	82
Tabla 18. Nivel de significancia de la capacidad calorífica a 20°C entre prueba de Tukey.....	82
Tabla 19. Análisis de varianza (ANVA) para la capacidad calorífica a 38°C.....	83
Tabla 20. Nivel de significancia en la capacidad calorífica a 38°C entre prueba de Tukey.....	83
Tabla 21. Análisis de varianza (ANVA) para la capacidad calorífica a -35°C.....	84
Tabla 22. Nivel de significancia en la capacidad calorífica a -35°C entre prueba de Tukey.....	84
Tabla 23. Análisis de varianza (ANVA) para la capacidad calorífica a -10°C.....	85
Tabla 24. Nivel de significancia en la capacidad calorífica a -10°C entre prueba de Tukey.....	85
Tabla 25. Análisis de varianza (ANVA) para el T° onset (°C) en el colágeno.....	86
Tabla 26. Nivel de significancia en la T° onset (°C) en el colágeno entre prueba de Tukey.....	86
Tabla 27. Análisis de varianza (ANVA) para peak temperature (°C) en el colágeno....	87
Tabla 28. Nivel de significancia en la peak temperature (°C) en el colágeno entre prueba de Tukey.....	87
Tabla 29. Análisis de varianza (ANVA) para el endset (°C) en el colágeno.....	88
Tabla 30. Nivel de significancia en la T (°C) endset en el colágeno entre prueba de Tukey.....	88
Tabla 31. Análisis de varianza (ANVA) para la entalpía J/g en el colágeno.....	89
Tabla 32. Nivel de significancia en la entalpía J/g en el colágeno entre prueba de Tukey.....	89
Tabla 33. Análisis de varianza (ANVA) para el T° onset (°C) en la miosina.....	90
Tabla 34. Nivel de significancia T° onset (°C) en la miosina entre prueba de Tukey....	90
Tabla 35. Análisis de varianza (ANVA) para el peak temperature (°C) en la miosina...	91
Tabla 36. Nivel de significancia para el peak temperature (°C) en la miosina entre prueba de Tukey.....	91
Tabla 37. Análisis de varianza (ANVA) en el temperatura endset (°C) de la miosina...	92

Tabla 38. Nivel de significancia para la temperatura endset ( $^{\circ}\text{C}$ ) de la miosina entre prueba de Tukey.....	92
Tabla 39. Análisis de varianza (ANVA) en la entalpía de desnaturalización de la miosina (J/g).....	93
Tabla 40. Nivel de significancia en la entalpía de desnaturalización de la miosina (J/g) entre prueba de Tukey.....	93
Tabla 41. Análisis de varianza (ANVA) en la temperatura onset de las proteínas sarcoplasmáticas.....	94
Tabla 42. Nivel de significancia para la temperatura onset ( $^{\circ}\text{C}$ ) de la proteínas sarcoplasmáticas entre prueba de Tukey.....	94
Tabla 43. Análisis de varianza (ANVA) en el peak temperature de las proteínas sarcoplasmáticas.....	95
Tabla 44. Nivel de significancia en el peak temperature de las proteínas sarcoplasmáticas entre prueba de Tukey.....	95
Tabla 45. Análisis de varianza (ANVA) en temperatura endset de las proteínas sarcoplasmáticas.....	96
Tabla 46. Nivel de significancia en temperatura endset de las proteínas sarcoplasmáticas entre prueba de Tukey.....	96
Tabla 47. Análisis de varianza (ANVA) en la entalpía de desnaturalización de las proteínas sarcoplasmáticas (J/g).....	97
Tabla 48. Nivel de significancia en la entalpía de desnaturalización de las proteínas sarcoplasmáticas entre prueba de Tukey.....	97
Tabla 49. Análisis de varianza (ANVA) en la temperatura onset en la actina.....	98
Tabla 50. Nivel de significancia en la temperatura onset de la proteína actina entre prueba de Tukey.....	98
Tabla 51. Análisis de varianza (ANVA) en el peak temperatura en la actina.....	99
Tabla 52. Nivel de significancia en el peak temperatura en la proteína actina entre prueba de Tukey.....	99
Tabla 53. Análisis de varianza (ANVA) en el endset en la actina.....	100
Tabla 54. Nivel de significancia en la temperatura endset en la proteína actina entre prueba de Tukey.....	100
Tabla 55. Análisis de varianza (ANVA) en la entalpía de desnaturalización de la actina.....	101



Tabla 56. Nivel de significancia en la entalpía de desnaturalización en la proteína actina entre prueba de Tukey.....	101
Tabla 57. Análisis de varianza (ANVA) en la peak temperatura de congelación de la piel y músculo de las especies paco y gamitana en la edad de juvenil y adulto.....	102
Tabla 58. Nivel de significancia en la peak temperatura de congelación de la piel y músculo entre la prueba de Tukey.....	102
Tabla 59. Análisis de varianza (ANVA) en la entalpía de congelación de la piel y músculo de las especies paco y gamitana en la edad de juvenil y adulto....	103
Tabla 60. Nivel de significancia en la entalpía de congelación de la piel y músculo entre la prueba de Tukey.....	103
Tabla 61. Análisis de varianza (ANVA) en la temperatura onset de congelación de la piel y músculo de las especies paco y gamitana en la edad de juvenil y adulto.....	104
Tabla 62. Nivel de significancia en la temperatura onset de congelación de la piel y músculo entre la prueba de Tukey.....	104

## Índice de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Gamitana adulta.....	3
<i>Figura 2.</i> Paco adulto.....	6
<i>Figura 3.</i> Procesos térmicos detectables en un ensayo de calorimetría diferencial de barrido DSC.....	9
<i>Figura 4.</i> Esquema del equipo de monitoreo del calorímetro diferencial de barrido	11
<i>Figura 5.</i> Flujograma para determinar las propiedades térmicas del paco y gamitana...	27
<i>Figura 6.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en la piel de gamitana juvenil.....	33
<i>Figura 7.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C piel de la gamitana juvenil.....	34
<i>Figura 8.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en la piel de paco juvenil.....	34
<i>Figura 9.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C piel de paco juvenil.....	35
<i>Figura 10.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en la piel de gamitana adulto.....	35
<i>Figura 11.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C piel de la gamitana adulto.....	36
<i>Figura 12.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en la piel de paco adulto.....	36
<i>Figura 13.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C piel de paco adulto.....	37
<i>Figura 14.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en el músculo de gamitana juvenil.....	37
<i>Figura 15.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C en el músculo de gamitana juvenil.....	38
<i>Figura 16.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en el músculo de paco juvenil.....	38
<i>Figura 17.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura c) 5°C a 25°C y d) 25°C a 38°C en el músculo del paco juvenil.....	39

<i>Figura 18.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en el músculo de gamitana adulto.....	39
<i>Figura 19.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C en el músculo de gamitana adulto.....	39
<i>Figura 20.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en el músculo de paco adulto.....	40
<i>Figura 21.</i> Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C en el músculo de paco adulto.....	40
<i>Figura 22.</i> Variación de la capacidad calorífica en la piel y músculo de las especies paco y gamitana en las edades de juvenil y adulto, en la temperatura de 5°C....	42
<i>Figura 23.</i> Variación de la capacidad calorífica en la piel y músculo de las especies paco y gamitana en las edades de juvenil y adulto, en la temperatura de 20°C...	43
<i>Figura 24.</i> Variación de la capacidad calorífica en la piel y músculo de las especies paco y gamitana en las edades de juvenil y adulto, en la temperatura de 38°C...	43
<i>Figura 25.</i> Curvas de capacidad calorífica en función de la temperatura de -10°C a -35°C en la piel del paco y gamitana juvenil.....	44
<i>Figura 26.</i> Curvas de capacidad calorífica en función de la temperatura de -10°C a -35°C en la piel del paco y gamitana adulto.....	44
<i>Figura 27.</i> Curvas de capacidad calorífica en función de la temperatura de -10°C a -35°C en el músculo del paco y gamitana adulto.....	45
<i>Figura 28.</i> Curvas de capacidad calorífica en función de la temperatura de -10°C a -35°C en el músculo de paco y gamitana adulto.....	46
<i>Figura 29.</i> Variación de la capacidad calorífica en la piel y músculo de las especies paco y gamitana en las edades de juvenil y adulto, en la temperatura de -35°C...	47
<i>Figura 30.</i> Variación de la capacidad calorífica en la piel y músculo de las especies paco y gamitana en las edades de juvenil y adulto, en la temperatura de -10°C.	47
<i>Figura 31.</i> Termograma del tejido de la piel en las especies de gamitana y paco en la edad juvenil en el proceso de desnaturalización de las proteínas.....	48
<i>Figura 32.</i> Termograma del tejido de la piel en las especies de gamitana y paco en la edad juvenil en el proceso de desnaturalización de las proteínas.....	49
<i>Figura 33.</i> Termograma del tejido músculo en las especies de gamitana y paco en la edad juvenil en el proceso de desnaturalización de las proteínas.....	50

<i>Figura 34.</i> Termograma del tejido músculo en las especies de gamitana y paco en la edad adulto en el proceso de desnaturalización de las proteínas.....	51
<i>Figura 35.</i> Variación de la temperatura de desnaturalización en la piel de las especies paco y gamitana a diferentes edades; (a) Temperatura Onset, (b) Temperatura máxima (peak temperatura), (c) Temperatura Endset y (d) Entalpía de desnaturalización.....	54
<i>Figura 36.</i> Variación de la temperatura de desnaturalización de la miosina en las especies de paco y gamitana a diferentes edades; (a) Temperatura Onset, (b) Temperatura máxima (peak temperatura), (c) Temperatura Endset y (d) Entalpía de desnaturalización.....	56
<i>Figura 37.</i> Variación de la temperatura de desnaturalización en las proteína sarcoplasmática en las especies de paco y gamitana a diferentes edades; (a) Temperatura Onset, (b) Temperatura máxima (peak temperatura), (c) Temperatura Endset y (d) Entalpía de desnaturalización.....	58
<i>Figura 38.</i> Variación de la temperatura de desnaturalización de la miosina en las especies de paco y gamitana a diferentes edades; (a) Temperatura Onset, (b) Temperatura máxima (peak temperatura), (c) Temperatura Endset y (d) Entalpía de desnaturalización.....	60
<i>Figura 39.</i> Termograma de piel paco juvenil en el DSC.....	61
<i>Figura 40.</i> Termograma de piel gamitana juvenil en el DSC.....	62
<i>Figura 41.</i> Termograma de piel de gamitana adulto en el DSC.....	62
<i>Figura 42.</i> Termograma de piel paco adulto en el DSC.....	62
<i>Figura 43.</i> Termograma de músculo de gamitana juvenil en el DSC.....	63
<i>Figura 44.</i> Termograma de músculo de paco juvenil en el DSC.....	63
<i>Figura 45.</i> Termograma de músculo de paco adulto en el DSC.....	63
<i>Figura 46.</i> Termograma de músculo gamitana adulto en el DSC.....	63
<i>Figura 47.</i> Entalpía de la piel y músculo en las especies paco y gamitana en la edad de juvenil y adulto.....	65
<i>Figura 48.</i> Temperatura onset de la piel y músculo en las especies paco y gamitana en la edad de juvenil y adulto.....	66
<i>Figura 49.</i> Peak temperature de congelación de la piel y músculo en las especies paco y gamitana en la edad de juvenil y adulto.....	66

## Glosario de términos

**DSC:** Calorimetría Diferencial de Barrido.

**DHA:** Docosahecanoico

**EPA:** ácidos eicosapentanoico.

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas.

**IIAP:** Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana.

**NNP:** Nitrogenados no proteicos.

**OTMA:** Óxido de trimetilamina.

**PEAK TEMPERATURE:** temperatura pico

**TMA:** Trimetilamina

**T° ONSET:** Temperatura de inicio.

**T° ENDSET:** Temperatura final.

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar las propiedades térmicas de piel y músculo de dos especies de peces amazónicos: paco (*Piaractus brachypomus*) y gamitana (*Colossoma macropomum*), utilizando un calorímetro diferencial de barrido (DSC). Los ensayos se llevaron a cabo en el rango de temperaturas de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , analizándose los eventos térmicos durante el proceso de congelación y calentamiento. Las muestras fueron obtenidas del mercado Huaico – Tarapoto. En un crisol estándar de aluminio de 50 mg se pesaron entre 15 y 20 mg de muestra, iniciándose la medición, junto a un crisol testigo vacío, en el DSC. Cada ensayo arrojó un termograma, lo que permitió determinar la capacidad calorífica, entalpía de desnaturalización, temperatura de desnaturalización, temperatura de congelación y entalpía de congelación. Para modelar la CP se utilizaron ecuaciones polinomiales de grado 2 y 3. En el intervalo de temperaturas entre  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para piel y músculo de las mencionadas especies, se obtuvieron valores de capacidad calorífica comprendidos desde  $2,605\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  a  $3,505\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  y desde  $2,978\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  a  $3,327\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ ; mientras que en el intervalo de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , los valores de capacidad calorífica obtenidos estuvieron comprendidos entre  $4,007\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  y  $1,606\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ , para piel, y entre  $4,337\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  y  $1,618\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ , para músculo. Para piel de gamitana y paco, los valores de temperatura de desnaturalización ( $T_d$ ) y entalpía ( $\Delta H_d$ ), se encontraron en los intervalos comprendidos entre  $66,13\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $70,71\text{ }^{\circ}\text{C}$  y de  $14,81\text{ J/g}$  hasta  $21,95\text{ J/g}$ . En cuanto a las proteínas presentes en el músculo de gamitana y paco, se obtuvieron valores de  $T_d$  para miosina comprendidos entre  $49,97\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $51,05\text{ }^{\circ}\text{C}$  y valores de  $\Delta H_d$  de  $0,78\text{ J/g}$  a  $1,54\text{ J/g}$ , para proteínas sarcoplasmáticas la  $T_d$  fluctuaron entre  $60,02\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $72,67\text{ }^{\circ}\text{C}$  y los de  $\Delta H_d$  entre  $0,03\text{ J/g}$  y  $0,35\text{ J/g}$ , mientras que para actina se obtuvieron valores de  $72,95\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $83,63\text{ }^{\circ}\text{C}$  para  $T_d$  y de  $0,05\text{ J/g}$  a  $0,39\text{ J/g}$  para  $\Delta H_d$ . En cuanto a temperatura de congelación y entalpía, para piel se obtuvieron valores de  $-0,56\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $88,43\text{ J/g}$  en paco juvenil,  $-0,14\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $95,84\text{ J/g}$  en gamitana juvenil,  $-0,33\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $73,85\text{ J/g}$  en paco adulto y de  $0,37\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $82,18\text{ J/g}$  en gamitana adulto; en tanto que, para músculo, fueron  $0,28\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $186,19\text{ J/g}$  en paco juvenil,  $0,14\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $170,62\text{ J/g}$  en gamitana juvenil,  $0,28\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $160,07\text{ J/g}$  en paco adulto y de  $0,35\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $154,56\text{ J/g}$  en gamitana adulto.

**Palabras clave:** calorímetro diferencial de barrido, capacidad calorífica, entalpía, Temperatura, desnaturalización, congelación.



## Abstract

The objective of this research was to determine the thermal properties of skin and muscle of two Amazonian fish species: pacu (*Piaractus brachyomus*) and gamitana (*Colossoma macropomum*), using a differential scanning calorimeter (DSC). The tests were carried out in the temperature range of  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , analyzing the thermal events during the freezing and heating process. The samples were obtained from the Huaico - Tarapoto market. Between 15 and 20 mg of sample were weighed into a 50 mg aluminum standard crucible and the measurement was started, together with an empty control crucible, using the DSC. Each test yielded a thermogram, which allowed the determination of heat capacity, denaturation enthalpy, denaturation temperature, freezing temperature and freezing enthalpy. Polynomial equations of degree 2 and 3 were used to model the CP. In the temperature range between  $5^{\circ}\text{C}$  and  $38^{\circ}\text{C}$ , for skin and muscle of the aforementioned species, heat capacity values ranging from  $2.605\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  to  $3.505\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  and from  $2.978\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  to  $3.327\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  were obtained; while in the range from  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $-35^{\circ}\text{C}$ , the heat capacity values obtained were between  $4.007\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  and  $1.606\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ , for skin, and between  $4.337\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  and  $1.618\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ , for muscle. For gamitana and pacu skins, the denaturation temperature ( $T_d$ ) and enthalpy ( $\Delta H_d$ ) values were found in the ranges from  $66.13^{\circ}\text{C}$  to  $70.71^{\circ}\text{C}$  and from  $14.81\text{ J/g}$  to  $21.95\text{ J/g}$  respectively. Regarding the proteins present in the gamitana and pacu muscle,  $T_d$  values were obtained for myosin between  $49.97^{\circ}\text{C}$  and  $51.05^{\circ}\text{C}$  and  $\Delta H_d$  values from  $0.78\text{ J/g}$  to  $1.54\text{ J/g}$ , for sarcoplasmic proteins,  $T_d$  values ranged from  $60.02^{\circ}\text{C}$  to  $72.67^{\circ}\text{C}$  and  $\Delta H_d$  values ranged from  $0.03\text{ J/g}$  to  $0.35\text{ J/g}$ , while for actin,  $T_d$  values ranged from  $72.95^{\circ}\text{C}$  to  $83.63^{\circ}\text{C}$  and  $\Delta H_d$  values ranged from  $0.05\text{ J/g}$  to  $0.39\text{ J/g}$ . In terms of freezing temperature and enthalpy, the values obtained for skin were  $-0.56^{\circ}\text{C}$  and  $88.43\text{ J/g}$  in juvenile pacu,  $-0.14^{\circ}\text{C}$  and  $95.84\text{ J/g}$  in juvenile gamitana,  $-0.33^{\circ}\text{C}$  and  $73.85\text{ J/g}$  in adult pacu and  $0.37^{\circ}\text{C}$  and  $82.18\text{ J/g}$  in adult gamitana; whereas, for muscle, they were  $0.28^{\circ}\text{C}$  and  $186.19\text{ J/g}$  in juvenile pacu,  $0.14^{\circ}\text{C}$  and  $170.62\text{ J/g}$  in juvenile gamitana,  $0.28^{\circ}\text{C}$  and  $160.07\text{ J/g}$  in adult pacu and  $0.35^{\circ}\text{C}$  and  $154.56\text{ J/g}$  in adult gamitana.

**Key words:** differential scanning calorimeter, heat capacity, enthalpy, temperature, denaturation, freezing.



## Introducción

La Amazonía Peruana, se caracteriza por poseer una gran variedad de recursos hidrobiológicos, entre las especies tropicales mas destacadas se tiene al paco (*Piaractus brachypomus*) y la gamitana (*Colossoma macropomum*) (Oliva, 2008).

La piscicultura es una actividad que gradualmente esta creciendo en la Región San Martín, y trae consigo la necesidad de aplicación de métodos de conservación del pescado como la refrigeración o el congelamiento que requieren el cálculo de la cantidad de calor que debe extraerse de un producto; también para el cálculo de la potencia de los equipos de congelación, es importante conocer las propiedades térmicas del producto, como la entalpía de desnaturalización y el calor específico. Estas propiedades térmicas se encuentran en tablas publicadas en libros y revistas especializadas para diferentes materiales, sin embargo, en el caso de peces amazónicos no se encuentran disponibles estas propiedades térmicas y es por ello que deben ser determinadas.

Las propiedades termofísicas de los alimentos son muy importantes en la industria alimentaria, son necesarias para la optimización de los procesos y así poder calcular rapidez de enfriamiento o calentamiento, cantidades de energía requeridas para pasteurización, esterilización, congelación, entre otros (Rahman, 2006).

La calorimetría diferencial de barrido permite el estudio de las variaciones térmicas, pudiendo observar calores específicos, puntos de cristalización y fusión y otras transiciones de primer y segundo orden (Ahumada, 2016).

En alimentos, dada su compleja composición y su carácter multifásico, pueden tener lugar transiciones de primer o segundo orden en el intervalo de temperaturas y presiones a las que son manipulados: gelatinización de almidón, desnaturalización de proteínas, cristalización de hielo o azúcares, transiciones vítreas de fases amorfas con biopolímeros o solutos moleculares y bajo contenido de agua (Martinez, 1998).

Los objetivos de la presente investigación fueron:

Objetivo general.

- Determinar las propiedades térmicas, en piel y músculo de dos especies amazónicas paco (*Piaractus brachypomus*) y gamitana (*Colossoma macropomum*) por calorimetría diferencial de barrido.

### Objetivos específicos.

- Determinar la composición química de piel y músculo de dos especies amazónicas paco (*Piaractus brachypomus*) y gamitana (*Colossoma macropomum*) en la edad (juvenil y adulto).
- Determinar la influencia del tipo de tejido (piel y músculo), de la edad (juvenil y adulto) y la especie (paco y gamitana), en la capacidad calorífica de 0°C a 40 °C y de 0 °C a -50 °C.
- Determinar la influencia del tipo de tejido (piel y músculo), de la edad (juvenil y adulto) y la especie (paco y gamitana), en la temperatura desnaturalización y entalpía de desnaturalización en los rangos de 10 °C a 90 °C.
- Determinar la influencia del tipo de tejido (piel y músculo), de la edad (juvenil y adulto) y la especie (paco y gamitana), en la temperatura de congelación y entalpía de congelación.

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Generalidades de la gamitana (*Colossoma macropomum*)

La gamitana *Colossoma macropomum* es uno de los mayores peces escamados de la cuenca del Amazonas y Orinoco (Alcantara, 1985, citado por FONDEPES 2006), vive la mayor parte del tiempo en cuerpos de aguas lénticas o estancados de aguas negras, con pH ácido, cubiertos de vegetación. Sin embargo también se le encuentra en ambientes de aguas blancas y claras como ocurre en la parte media y alta del Huallaga. Este pez es conocido como "gamitana" (Perú), "tambaqui" (Brasil), "cachama negra" (Colombia y Venezuela), "pacu" (Bolivia); puede llegar a pesar hasta 28.5 kg. en las partes altas de la cuenca y medir hasta 1 m. de longitud (Alcántara, 1985, citado por FONDEPES 2006).

Un ejemplar adulto de gamitana se presenta en la Figura 1.



**Figura 1.** Gamitana adulta. (Fuente: IIAP (2000)).

#### 1.1.1. Descripción taxonómica

- ✓ Division : Chordata
- ✓ Clase : Actinoterygii
- ✓ Orden : Cypriniforme
- ✓ Familia : Characidae
- ✓ Subfamilia : Myleinae

- ✓ Género : *Colossoma*
  - ✓ Especie : *Colossoma macropomum*
- Fuente: IIAP,(2002).

### **1.1.2. Morfología**

Los alevinos presentan características particulares que los hacen diferente de los adultos. Incluso hasta los diez centímetros presentan un ocelo negro rodeado de un halo blanco en la línea media y lateral del cuerpo, sus aletas tienen un tono oscuro; del otro lado la aleta anal de color rojo presenta su filo posterior más o menos perpendicular al eje del cuerpo (Alcántara, 2002).

En el estado adulto esta especie presenta una tonalidad de negro y amarillo en el dorso, parte lateral gris oscura y cobrizo, el abdomen es blancuzco con algunas manchas irregulares en el abdomen y la aleta caudal. Tiene una aleta adiposa radiada, el hueso opercular y la cabeza son más anchos que la del paco (Díaz y López, 1993; Uribe, 1996).

### **1.1.3. Maduración sexual de la gamitana (*Colossoma macropomum*)**

La maduración sexual de la gamitana en machos y hembras alcanzan entre tres y cuatro años respectivamente, cuando han obtenido un peso total de 3-6 Kg. (Campos, 2015).

Según el IIAP (2000), alcanza su madurez sexual a los cuatro años, con 55 cm de longitud estándar aproximado. Se reproduce al inicio de la creciente, de octubre a diciembre.

En algunas estaciones que operan en Brasil se han usado los mismos reproductores por un periodo de 12 años. En Iquitos (Perú), los reproductores han sido usados por periodos máximos de cuatro años (Campos, 2015).

### **1.1.4. Hábitos alimenticios**

La gamitana en su ambiente nativo tiene una amplia elección de alimentos, algas filamentosas, partes de plantas acuáticas, tanto frescas como en descomposición, zooplankton, insectos terrestres y acuáticos así hasta caracoles, moluscos, frutas secas, granos duros y blandos (Saint-Paul, 1984, p.50). La mayor proporción de sus dietas está constituida por plancton, hojas, semillas y frutos. Este pez posee largos y poderosos dientes que le permiten comer muchas semillas (Campos y Padilla, 1985, p.25).

### 1.1.5. Composición proximal de la gamitana (*Colossoma macropomum*)

La composición química de los peces varía mucho de especie a especie, aunque además es común encontrar variaciones entre ejemplares de la misma especie.

Según Barboza et al. (1998), la composición química de los peces varía de acuerdo al sexo, estación o cosecha del año en que se captura, tamaño y situación geográfica.

La tabla 1 agrupa los resultados obtenidos de la composición físicoquímica del músculo de (*Colossoma macropomum*) Gamitana en las edades de juvenil y adulto. La composición proximal, varía principalmente en el contenido de humedad y en el contenido de grasa, debido a que estos componentes varían inversamente uno con el otro.

Sikorski (1990), menciona que el pescado es considerado magro cuando presenta altos valores de humedad 83% y bajo cuando el valor máximo de humedad es de 58%. Esta información se puede relacionar con lo reportado por Izquierdo et al. (2000) quienes mencionan que existe una relación inversa entre el contenido de grasa y humedad en el músculo.

**Tabla 1**

*Resultados del análisis proximal del músculo de gamitana en estado juvenil y adulto.*

Características	Juvenil*		Adulto**	
	B.H	B.S	B.H	B.S
Humedad %	79,81	-	70,10	-
Proteína %	17,47	86,53	18,40	61,54
Grasa%	1,59	7,87	9,08	30,37
Ceniza %	1,25	-	2,49	-

Fuente: \*García (2006); \*\*Stewardship (2003).

El contenido en la proteína de las muestras de *Colossoma macropomum* (gamitana) presentó valores de 17,47% y 18,40% para juvenil y adulto respectivamente.

Igualmente Kinsella et al. (1977), al realizar un estudio sobre la composición proximal de algunas especies de agua dulce, indican que el porcentaje de proteína encontrado está dentro de un rango estrecho, desde 17 a 21,3%, pero que el valor más frecuente encontrado es de 19%.

La variación en el contenido de grasa, tanto de una especie a otra, como la existente en ejemplares de la misma especie, generalmente es explicada por diferentes causas: época de captura, edad, sexo, área geográfica (Stansby, 1954).

La acumulación de grasa en la gamitana podría ser un factor problema en el aprovechamiento tecnológico de esta especie, principalmente durante el almacenamiento



por congelación, ya que esto traería problemas de rancidez, cambios de coloración de la carne, olores objetables, etc (Stansby, 1954).

Según Ackman (1980), la importancia del mecanismo del deterioro del pescado congelado es determinada principalmente por el tipo y disposición de los lípidos en este. Las especies grasas están más sujetas a la oxidación y por lo tanto los mecanismos de descomposición, comienzan aún a bajas temperaturas de almacenamiento.

Los cambios objetables que ocurren durante el almacenamiento, debido a la presencia de grasas, son factores que limitan la comercialización (Ackman, 1980).

## 1.2. Generalidades del paco (*Piaractus brachipomus*)

Esta especie se distribuye igual que la gamitana, con la que comparte hábitat y nicho ecológico de la que difiere en su patrón de coloración, presentando un tono gris oscuro en el dorso y blancuzco en los costados, con la parte menor de la cabeza, región de la garganta y parte anterior del vientre de color naranja. Este patrón de coloración se mantiene en los alevinos, juveniles y adultos, en los cuales se atenúa este tono, según el tipo de agua en el que vive. Presenta espinas intramusculares en forma de Y. Es una especie que soporta el manipuleo en las operaciones de cultivo. Tiene el mismo comportamiento reproductivo que la gamitana, se reproduce al inicio de la creciente de los ríos, entre los meses de octubre a diciembre, pudiendo prolongarse incluso hasta marzo. Asimismo requiere de la administración de extractos hormonales para estimular el desove en ambientes controlados. Toda hembra produce 100,000 óvulos por kilogramo de peso (IIAP, 2000).



**Figura 2.** Paco adulto. (Fuente: IIAP 2000).

### 1.2.1. Descripción taxonómica

- ✓ REINO : Animalia
- ✓ FILO : Chordata
- ✓ CLASE : Actinopterygii
- ✓ ORDEN : Characiformes
- ✓ FAMILIA : Characidae
- ✓ GENERO : *Piaractus*
- ✓ ESPECIE : *Piaractus brachypomus*  
Fuente: (Cuvier, 1818)

### 1.2.2. Características biológicas

Este pez puede alcanzar hasta 20 kg de peso en la etapa adulto y es considerado el tercer pez de escamas de mayor tamaño en la Amazonía (Kubitza, 2004; Oba ,2014), después del paiche y la gamitana. Se caracteriza por una tonalidad gris oscura en el dorso y un vientre blancuzco, con ligeras manchas anaranjadas (Zarei y Rajabi-Maham 2017; Clavijo, 2011).

El paco presenta una aleta adiposa carnosa; los juveniles poseen un tono más claro con tonalidades de rojo intenso en la parte anterior del vientre y en las aletas anal y caudal. Posee una baja capacidad de filtración a causa de su estrecho número de branquiespinas (González, 2001).

Su reproducción depende de estímulos externos ,el desove se da solamente una vez al año, en la época de lluvias. Las áreas inundadas son aprovechadas por las larvas y alevinos para su desarrollo, gracias a la gran producción que en éstas se encuentra. Los juveniles se encuentran en las corrientes secundarias y, después los adultos de 4 a 5 años migran masivamente para realizar la reproducción (González, 2001).

### 1.2.3. Maduración sexual del paco (*Piaractus brachypomus*)

El paco alcanza su madurez en su tercer año de edad con un peso que varía entre 2,5 a 3,0 kg. Su hábito alimentario es omnívoro con tendencia a frutos y semillas; acepta sin problemas el alimento artificial (Piscicultura amazónica con especies nativas, 2015).

#### 1.2.4. Composición química del paco en estado fresco.

La composición química del paco en estado fresco es la siguiente:

**Tabla 2**

*Resultados de la composición proximal del paco en estado juvenil y adulto.*

Características	Juvenil*		Adulto**	
	B.H	B.S	B.H	B.S
Humedad %	79,81	-	74,08	-
Proteína %	17,78	88,06	17,70	68,33
Grasa%	1,62	5,42	6,10	23,53
Ceniza %	1,25	-	2,11	-

Fuente: \*García (2006); \*\*Cortez (1998).

En la Tabla 2 la composición del músculo varía según la edad del pez, notándose que en la etapa juvenil presenta mayor contenido de humedad y el adulto tiene un contenido de grasa más elevado.

#### 1.3. Calorimetría diferencial de barrido

El fundamento de la técnica de calorimetría diferencial de barrido, radica en el registro de las variaciones de flujo de calor o de la temperatura, entre la muestra en estudio y una referencia. La muestra se coloca en una cápsula igual a otra vacía que actúa como referencia y se someten al mismo programa de temperatura (Nagasaki, 2012).

Durante el experimento se aplica el principio de balance nulo, es decir, que cualquier cambio en el valor de la entalpía que experimente la muestra, bien sea al crisol de referencia o a la muestra, con el objeto de mantenerlos a la misma temperatura. Como la energía térmica es exactamente igual en magnitud a la energía absorbida o liberada en la transición, el balance de energía proporcionará una medida calorimétrica directa de la energía de transición. Por lo tanto, la técnica de DSC mide la energía suministrada necesaria para mantener muestra y referencia a la misma temperatura. Generalmente el material de referencia es un material inerte que no experimenta ninguna transición o transformación en el intervalo de temperaturas en estudio (Nagasaki, 2012).

### 1.3.1. Aplicaciones de la calorimetría diferencial de barrido.

A continuación se presenta una relación de las aplicaciones más importantes de la Calorimetría Diferencial de Barrido (Alvarado, 2015):

- a. Estudio de transiciones de primer orden: fusión, solidificación, cristalización, etc.
- b. Estudio de polimorfismos
- c. Identificación de polímeros
- d. Estudios de polímeros: curado, transiciones vítreas, fusión, grado de cristalinidad
- e. Estudios de oxidaciones
- f. Determinación de pureza
- g. Determinaciones de calor específico ( $C_p$ )
- h. Estudios cinéticos

### 1.3.2. Curvas DSC

Las curvas de la calorimetría diferencial de barrido (Figura 3) representan en ordenadas el flujo de calor expresado en mJ/s frente a la temperatura o tiempo en abscisas y en ellas se aprecian los tres fenómenos básicos: Procesos exotérmicos, endotérmicos y cambios de capacidad calorífica por desplazamiento de la línea de base (Alvarado, 2015).

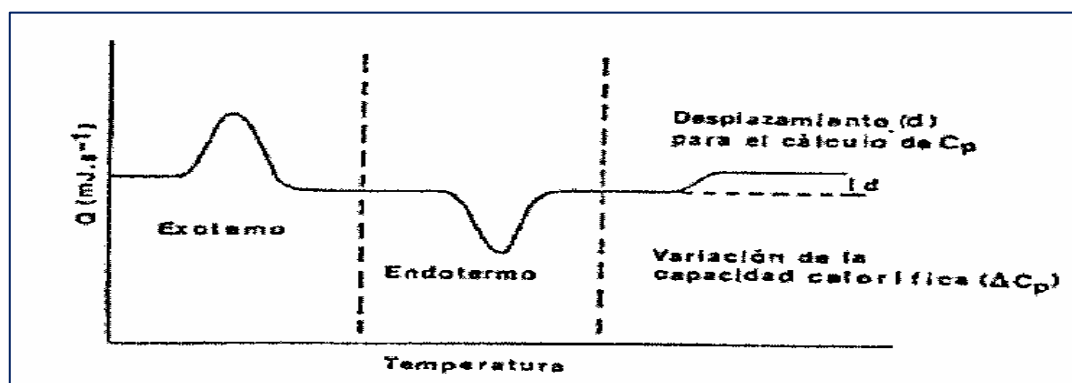


Figura 3. Procesos térmicos detectables en un ensayo de calorimetría diferencial de barrido.

El proceso de cristalización así como las reacciones de descomposiciones son exotérmicos. Los fenómenos de vaporización y de fusión son procesos endotérmicos típicos, y los cambios en la línea de base permiten detectar transiciones vítreas de las muestras.

Las áreas de los picos son proporcionales a los efectos térmicos que experimenta la muestra sometida a un programa de temperatura, lo cual permite efectuar determinaciones calorimétricas cuantitativas (Manich et al., 2004).

Aparte de equipos distintos, existen factores relacionados con la cantidad de muestra y grado de compactación de la misma. Con muestras pequeñas se consigue máxima resolución de los picos, picos de forma más regular, mejor contacto con la base, mayor facilidad en la eliminación de volátiles, minimización del gradiente térmico en la muestra y mejores condiciones para utilizar mayores velocidades de calentamiento. Con muestras de mayor tamaño, se detectan fácilmente pequeños efectos térmicos, se obtienen medidas cuantitativas más precisas y se producen mayor cantidad de volátiles que pueden estar disponibles para otras técnicas analíticas (Manich et al., 2004).

### **1.3.3. Funcionamiento del Calorímetro Diferencial de Barrido**

Es una técnica que permite ensayar materiales en ciclos térmicos a velocidades de calentamiento y enfriamiento controladas, o bien en mantenimientos a temperatura constante. En esta técnica, agrupada dentro de lo que se denominan técnicas de Análisis Térmico (por sus siglas en inglés TA, Thermal Analysis), se somete una muestra a un programa térmico, comparando instantáneamente la temperatura de la muestra con otra térmicamente inerte o bien con la temperatura del horno (Wendlandt, 1986). Es un dispositivo que cuenta con dos calentadores individuales y un controlador, en el cual se puede regularizar el flujo de calor y monitorear la temperatura. Para realizar el experimento se necesita poner las cápsulas o crisoles en estos calentadores, en una cápsula o crisol se coloca la muestra mientras que la otra se la deja vacía para utilizarla como referencia (muestra inerte que no sufre cambios de fase) (Coello y Garcés, 2012).

Al calentarse ambas cápsulas, el programa de computadora se asegura realizar el ensayo a la misma velocidad de calentamiento (Coello y Garcés, 2012).

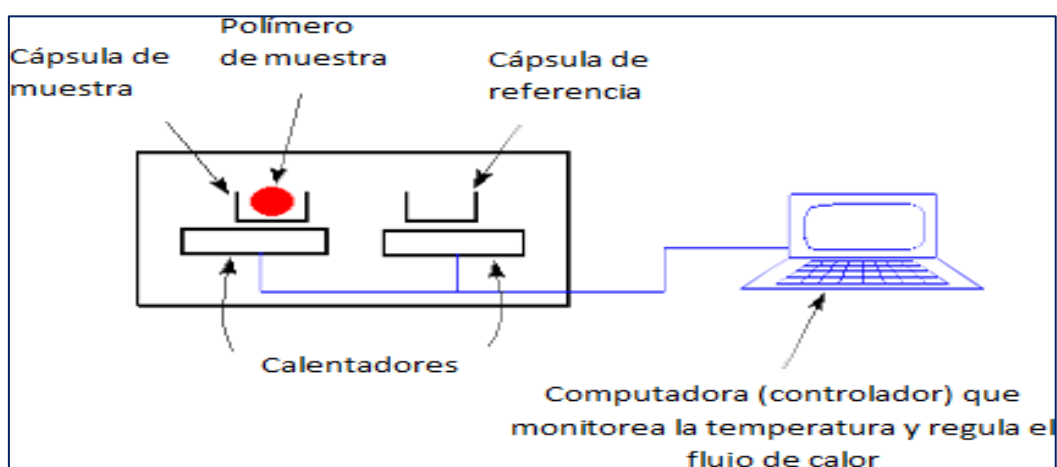
Ya que una cápsula permanece vacía mientras que la otra contiene una muestra de polímero, se puede observar que tanta energía extra se necesita para calentar la cápsula que sujeta dicha muestra con respecto a la referencia, esta cantidad de energía es medida mediante DSC y se ve reflejada a través de un gráfico de flujo de calor vs temperatura conocido como termograma, donde el área bajo la curva representa la entalpía (Coello y Garcés, 2012).

Como regla general, puede decirse que todas las transformaciones o reacciones donde se produce un cambio de energía, pueden medirse por DSC.

Entre los modelos de DSC, existen dos tipos ampliamente conocidos y utilizados: por compensación de potencia y por flujo de calor. En el primer caso, la muestra y la referencia se colocan por separado en hornos idénticos, controlados independientemente uno del otro. Durante el ciclo térmico, se mantiene rigurosamente la igualdad de la temperatura de ambas controlando la potencia entregada a cada horno. De esta manera, bajo condiciones experimentales convenientemente seleccionadas, puede obtenerse la entalpía relativa de transformación entre ellas a partir de la diferencia de potencia entregada a ambos hornos. En el segundo, la muestra a ensayar y la referencia se colocan en un mismo horno. Ambas son montadas sobre un mismo disco metálico, para mantener un contacto térmico adecuado. Al ocurrir un cambio de entalpía en la muestra se produce una diferencia de temperatura entre ésta y la referencia. La entalpía de la muestra en función de la diferencia de temperatura puede calcularse entonces utilizando experimentos de calibración, con hipótesis convenientes sobre las eventuales formas distintas de energía involucradas en el proceso (Bhadeshia, 2002).

El apartamiento en temperatura de la muestra respecto a la referencia puede indicar que el material (o una fracción del mismo) está sufriendo un cambio de estado, un cambio en su estructura cristalina o transiciones del tipo orden-desorden, oxidación, descomposición, etc.

En la Figura 4 se observa un esquema del funcionamiento del Calorímetro Diferencial de Barrido.



**Figura 4.** Esquema del equipo de monitoreo del calorímetro diferencial de barrido. (Fuente: Differential Scanning Calorimetry, Universidad del Sur de Mississippi (2005).

## 1.4. Propiedades termofísicas

Las propiedades termofísicas, son el calor específico, conductividad térmica y difusividad térmica influyen en la transferencia de calor. El conocimiento y dominio de estas es muy importante para el cálculo, diseño de procesos, equipamiento y finalmente lo más importante, la calidad del producto terminado. Estas propiedades están influenciadas por la temperatura y la composición del producto, durante un tratamiento térmico (Rahman, 2006).

Las propiedades termofísicas de los alimentos son muy importantes en la industria alimentaria, son necesarias para la optimización y eficacia de los procesos y así poder calcular rapidez de enfriamiento o calentamiento, cantidades de energía requeridas para pasteurización, esterilización, congelación, entre otros (Rahman, 2006).

### 1.4.1. Calor específico.

Según Orrego (2003) el calor específico es la cantidad de energía, en forma de calor, que gana o pierde un sistema de masa, para que produzca en él un cambio de temperatura de un grado Celsius, sin que se produzca un cambio de estado.

$$Cp = \frac{q}{m\Delta T} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

q: Calor ganado o perdido (J)

m: Masa (kg)

$\Delta T$ : Cambio de temperatura (K)

$Cp$ : Calor específico (J/kgK)

### 1.4.2. Entalpía

Es el contenido calórico o nivel de energía de un material, referido al que tiene a una temperatura arbitraria en el que asigna nivel cero (Generalmente  $-40^{\circ}\text{C}$  para productos congelados  $0^{\circ}\text{C}$  para otros sistemas). Se utiliza mucho este concepto para el estudio de los fenómenos térmicos de sustancias puras o gases como vapor y aire; en el caso de los alimentos tiene su mayor aplicabilidad para los productos congelados. Sus unidades en el sistema SI son J/kg (Lewis, 1993).

La cantidad de calor para calentar o enfriar un material desde una temperatura  $T_1$  hasta  $T_2$  es, para una masa “m” del material; donde  $H_2$  y  $H_1$  son las entalpías a las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente (Lewis, 1993).

$$q = m (H_2 - H_1)$$

H<sub>2</sub>: Entalpía a la temperatura T<sub>2</sub>, (Kj)

H<sub>1</sub>: Entalpía a la temperatura T<sub>1</sub>, (Kj)

## **1.5. Transiciones térmicas**

Hay transiciones térmicas de primer orden que se refiere a transiciones entre estados físicos básicos (sólido, líquido y gaseoso) como lo es la cristalización y la fusión y transiciones térmicas de segundo orden que son aquellas en las que no se observa calor latente de transición y el cambio de la energía interna se evidencia con la ampliación o disminución de la capacidad calórica del sistema, que ocurre mediante un salto o interrupción, como lo es la transición vítrea (Pereira y Oliveira, 2000).

### **1.5.1. Cristalización.**

La cristalización ocurre durante el proceso de congelación, en el cual las moléculas pasan de un estado líquido a sólido. En este fenómeno son importantes dos factores, la velocidad de formación de los núcleos de cristalización y la velocidad de desarrollo de los cristales de hielo. Se ha encontrado que la velocidad de formación de núcleos cristalinos aumenta al disminuir la temperatura, es decir, al aumentar la velocidad de congelación el número de cristales de hielo formados es mayor. En la congelación lenta se generan pocos cristales de hielo pero de gran tamaño a diferencia de la congelación rápida que formará un gran número de cristales de hielo pero de mínimo tamaño (Barreiro y Sandoval, 2006).

### **1.5.2. Fusión.**

La fusión de una sustancia consiste en aplicar suficiente calor para que las moléculas tengan la energía suficiente para causar la ruptura de enlaces donde el sólido sufre un cambio de fase y se convierte en líquido (Wilson y Buffa, 2003).

### **1.5.3. Transición vítrea.**

La transición vítrea es un fenómeno donde un material en estado vítreo se transforma, por aumento de la temperatura o contenido de humedad a un fundido subenfriado, llamado estado cauchoso, o sufre el proceso inverso si ocurre enfriamiento (Le Meste et al., 2002).



## **1.6. Composición química del músculo de pescado**

Según Venugopal y Shagidi (1996), los componentes principales de la carne de pescado son: agua, proteínas y lípidos, los cuales representan aproximadamente el 98 % de la masa total del pescado.

El resto de la masa corporal está representado por componentes menores, como carbohidratos (< 1 %), vitaminas y minerales que juegan un papel muy importante en las reacciones bioquímicas durante la vida de los peces e influyen en los cambios postmortem. Además, señalan que los componentes principales del músculo del pescado varían considerablemente entre los individuos de una misma especie, lo cual depende de la edad, el sexo, el medio ambiente y la estación del año.

Suzuki (1987) reporta que la composición química del músculo de pescado está conformada por 15 a 24 % de proteínas, 0,1 a 22 % de lípidos, 1 a 3 % de carbohidratos, 0,8 a 2 % de sustancias inorgánicas y 66 a 84 % de agua. En los peces se pueden distinguir músculos con apariencia blanca y oscura, por ello se clasifican en músculos blancos y rojos. Existen diferencias notables en la composición química de los dos tipos de músculo, entre las principales están el alto contenido de lípidos y hemoglobina en el músculo oscuro (Huss, 1999).

Cortés y Pacheco (2009) señalan que el músculo de pescado se puede utilizar como alimento directo o como fuente de proteína tecnológicamente funcional para la elaboración de productos manufacturados.

Según Dávalos et al. (2005), el pescado se clasifica en tres categorías según el contenido de grasa en sus músculos: el pescado magro o llamado pescado blanco (menos del 2 % de grasa), el pescado graso o conocido como pescado azul (más del 5 % de grasa) y un grupo intermedio el pescado semi graso (2 a 5 % de grasa).

En general, las especies magras almacenan lípidos sólo en el hígado, mientras que las especies grasas las almacenan en células distribuidas en otros tejidos del cuerpo citados por (Sayas et al., 2009).

### **1.6.1. Proteínas**

Por su función biológica y su solubilidad, las proteínas se han clasificado en tres grandes grupos: proteínas contráctiles o miofibrilares, proteínas sarcoplasmáticas o solubles y proteínas del estroma o insolubles (Badui, 2006).

La proteína del músculo del pescado está compuesta de proteínas sarcoplasmáticas (20 a 30 %) que se localizan en el plasma muscular, proteínas miofibrilares (60 a 80 %) que forman las miofibrillas y las proteínas del tejido conectivo (3 a 10 %) que forman el estroma (Suzuki, 1987; Delabarre-Ladrat et al., 2006).

Las proteínas sarcoplasmáticas están compuestas principalmente por mioglobina, albúminas y enzimas que participan en el metabolismo celular. Esta fracción sarcoplasmática se caracteriza por ser soluble en agua y diluirse en soluciones salinas (Sayas et al., 2009).

Al respecto Suzuki (1987) señala que las proteínas sarcoplasmáticas están formadas por muchos tipos de proteínas solubles en agua, llamadas en conjunto miógeno, que se puede obtener simplemente aplicando presión sobre el músculo de pescado o por extracción con soluciones salinas de baja fuerza iónica. El mismo autor señala que el contenido de proteínas sarcoplasmáticas del músculo de pescado varía con la especie pero por lo general es más alto en pescados pelágicos.

Sayas et al. (2009) indican que las enzimas sarcoplasmáticas incluyen a las implicadas en actividades fisiológicas (respiración, digestión intracelular, división celular, etc.), como las oxidorreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, etc.

Las proteínas miofibrilares son aquellas que componen el aparato contráctil responsable de los movimientos musculares. El punto isoeléctrico está alrededor del pH 4,5 - 5,5 a estos valores de pH las proteínas presentan su menor solubilidad (Pérez et al., 2004). Asimismo, estas proteínas son solubles en soluciones salinas neutras de alta fuerza iónica ( $\geq 0,5$  M) (Hultin et al., 1995).

La actina y la miosina son las proteínas miofibrilares que actúan directamente en el ciclo de contracción y relajación, ambas representan de 65 a 75% de la proteína total de los peces. Otras proteínas que participan indirectamente en este ciclo son las reguladoras tales como la tropomiosina, troponina y actinina, y un tercer grupo está constituido por las llamadas proteínas de andamiaje o de filamento, que juegan un papel estructural en la miofibrilla y la célula muscular (Haard, 1999).

Las proteínas del tejido conectivo forman parte del estroma. No pueden extraerse con agua, soluciones salinas ácidas o alcalinas o soluciones salinas neutras de concentración 0,01 a 0,1 M (Suzuki, 1987). La proteína primaria en este grupo es el colágeno, la molécula de colágeno está compuesta por una proporción muy alta de

aminoácidos no polares, hidrófobos que hacen del colágeno una proteína en gran parte no funcional en carnes procesadas (Xiong, 2007, citado por Park, 2009).

Según Sayas et al. (2009), las proteínas de pescado tienen elevado valor biológico (85 %) debido a su composición de aminoácidos. En particular, el pescado es una excelente fuente de lisina y aminoácidos azufrados (metionina y cisteína).

### **1.6.2. Lípidos**

Los lípidos en los peces grasos son principalmente subcutáneos y se encuentran en dispersión globular, mientras que en los peces magros se depositan en su mayor parte en el hígado (Venugopal y Shahidi, 1996).

Los lípidos más importantes de la masa muscular son los triglicéridos, una molécula de glicerol unida covalentemente a través de enlaces tipo éster a tres cadenas de ácidos grasos de diferente o igual longitud y nivel de saturación (Jaczynski et al., 2009).

Los triglicéridos del pescado no tienen cargas eléctricas y no forman enlaces de hidrógeno con el agua; por esta razón se llaman componentes apolares o hidrofóbicos (Jaczynski et al., 2009).

Otro tipo de lípidos son los fosfolípidos, componentes integrales de las membranas celulares. Estos pueden formar enlaces hidrofóbicos con otros compuestos químicos y, al mismo tiempo, interactuar con agua y proteínas cargadas (Jaczynski et al., 2009).

Los lípidos polares de los sistemas de membrana en el músculo contienen un porcentaje más alto de ácidos grasos altamente poliinsaturados que los triglicéridos neutros. Mientras que el alto contenido de lípidos neutros de las especies grasas, y especialmente del músculo oscuro, está relacionado con la necesidad de estas especies para una fuente de energía sostenible, la naturaleza altamente insaturada de los lípidos de la membrana es necesaria para los requerimientos metabólicos funcionales de la membrana (Bell et al., 1986).

Hultin et al. (2005) citados por Chomnawang y Yongsawatdigul (2013), señalan que los fosfolípidos de membrana son más susceptibles a la oxidación que los triglicéridos y aunque su contenido en el músculo es menor que el de triglicéridos, tienen mayor injerencia en el desarrollo de la rancidez.

Asimismo, Jaczynski et al. (2009) mencionan que los fosfolípidos son difíciles de separar de los homogeneizados de pescado por sus características anfífilas. A diferencia de los productos musculares de origen terrestre, las reacciones de oxidación son más

frecuentes en los productos de pescado graso debido al alto nivel de insaturación de sus lípidos. Aunque los ácidos grasos polinsaturados han sido correlacionados con una buena salud cardiovascular, son altamente susceptibles a la oxidación. La mayor parte de esos beneficios se han relacionado con los ácidos eicosapentanoico (EPA) y docosahexanoico (DHA), lo cual ha originado productos de alto valor agregado a suplementos alimenticios que contienen estos ácidos grasos.

### **1.6.3. Componentes nitrogenados no proteicos**

Los componentes nitrogenados no proteicos (NNP) del músculo de pescado incluyen aminoácidos libres, péptidos, nucleótidos, óxido de trimetilamina (OTMA), creatina, amonio, bases púricas y, en el caso de los peces cartilagosos, urea. Cuantitativamente, el principal componente de la fracción NNP es la creatina; cuando el pez está en reposo, la mayor parte de la creatina es fosforilada y proporciona energía para la contracción muscular.

El óxido trimetilamina (OTMA) es muy abundante en el músculo de peces marinos, pero escaso en los de agua dulce. Constituye una parte importante de la fracción nitrogenada no proteica en 1 a 5 %; la cantidad de OTMA depende de la especie, estación del año y área de pesca (Huss, 1999). Cuando el pez se deteriora, el OTMA se reduce a trimetilamina (TMA), que produce el olor típico a pescado descompuesto (Venugopal y Shahidi, 1996).

### **1.6.4. Vitaminas y minerales**

La cantidad de vitaminas y minerales es específica de las especies y depende de la estación del año. El pescado es rico en vitaminas liposolubles A, D y E, a menudo en cantidades superiores a las encontradas en músculos de animales terrestres (Sayas et al., 2009). Con respecto a los minerales, la carne de pescado se considera como una fuente importante de calcio y fósforo, así como de hierro y cobre. Los peces del mar tienen alto contenido de yodo. Cabe destacar el alto contenido de sodio (122 mg/100 g), lo cual hace al pescado apropiado para ciertos regímenes alimentarios (Sayas et al., 2009).

## **1.7. Clasificación de las proteínas musculares de especies pesqueras.**

Los tipos de proteína presentes en el músculo se han clasificado en tres grandes grupos, de acuerdo a su función biológica y su solubilidad: proteínas sarcoplásmicas o solubles, proteínas del estroma y, proteínas contráctiles o miofibrilares.

Las proteínas sarcoplasmáticas, solubles en soluciones acuosas o soluciones salinas diluidas (0,1 M), constituyen alrededor de 15 % del total de proteínas, siendo la mayoría de ellas enzimas. Las proteínas del estroma, también denominadas del tejido conectivo, son solubles en soluciones salinas concentradas, estas constituyen aproximadamente el 3 % del total de las proteínas en teleósteos y cerca del 10 % en elasmobranquios (comparado con el 17 % en mamíferos) (Sen, 2005).

Por último, las proteínas estructurales que componen las unidades funcionales de las fibras musculares (miofibrillas), son llamadas proteínas miofibrilares. Ellas constituyen entre el 65 y 76 % de las proteínas del músculo de especies pesqueras, siendo estas extractables en soluciones salinas concentradas (0,6 M). Están constituidas principalmente por miosina que es la proteína estructural más importante del músculo (60 % del total de proteínas miofibrilares), constituyente del filamento grueso, y actina, componente principal del filamento delgado que representa el 15-30 % de las proteínas miofibrilares del músculo (Strasburg et al., 2010; Chen et al., 2015).

### **1.7.1. Proteínas sarcoplasmáticas**

La mayor parte de estas proteínas son enzimas, fundamentalmente globulinas y albúminas que participan en diversas rutas metabólicas celulares, también se encuentran dentro de este grupo enzimas como las catepsinas y la hemocianina (Zielinski et al., 2001; Strasburg et al., 2010).

La hemocianina, es una proteína conjugada hidrosoluble de elevado peso molecular, tiene un grupo prostético de naturaleza no peptídica y un grupo protéico oligomérico en forma de racimo (Van Holde et al., 2001). Esta proteína contiene dos átomos de cobre en su sitio activo, entre los que se inserta oxígeno. Es responsable de la coloración azul de la sangre de los cefalópodos, y del transporte de oxígeno intracelular (Van Holde et al., 2001), su función es equivalente a la que la hemoglobina realiza en la sangre y músculo de otros animales. La pérdida de su actividad biológica juega un papel importante en la conversión del músculo en carne, en la muerte de los animales.

Entre los constituyentes no proteicos solubles del sarcoplasma se encuentran diversos compuestos nitrogenados tales como aminoácidos y nucleótidos, algunos ácidos orgánicos, como el ácido láctico (principal producto final de la glucólisis), cofactores enzimáticos e iones inorgánicos.

### **1.7.2. Proteínas del estroma**

El tejido conectivo está formado por varias fibras, diversos tipos de células y la sustancia fundamental amorfa. Esta última, como lo indica su nombre, es una mezcla carente de estructura formada por carbohidratos, proteínas y lípidos. El tejido conectivo contribuye a mantener la integridad de los músculos, fascículos de fibras y fibras musculares, mediante el epimisio, perimisio y endomisio, respectivamente (Gálvez et al., 2006).

El tejido conectivo está conformado por diversas proteínas fibrosas, entre las que se pueden mencionar el colágeno, la elastina y la reticulina. El colágeno es la principal proteína de este tejido, este componente comprende a una familia de 27 isoformas proteicas diferentes que se encuentran distribuidas en los distintos tejidos, y es muy importante dado que contribuye de modo significativo a la dureza de la carne (Strasburg et al., 2010). Su monómero, llamado tropocolágeno, es una molécula de forma cilíndrica, integrada por tres cadenas polipeptídicas de peso molecular de 100,000 Da cada una, que se enrollan a lo largo de un eje para producir una triple hélice; las tres proteínas se enlazan entre sí a través de muchas uniones intermoleculares cruzadas que le confieren gran rigidez a la estructura y solubilidad muy baja; a su vez, la interacción de las moléculas de tropocolágeno produce fibras que dan origen al colágeno propiamente dicho (Strasburg et al., 2010). El colágeno en músculo de calamar se encuentra en mayor proporción que en el de pescados, su contenido en el manto de calamar puede llegar hasta un 11 o 13 %, jugando un rol significativo en los cambios texturales durante la cocción de este (Kolodziejska et al., 1987).

### **1.7.3. Proteínas miofibrilares**

Son las que conforman estructuralmente el tejido muscular y, además, las que transforman la energía química en mecánica durante la contracción y relajación de los distintos músculos. Basándose en su localización y función, se pueden clasificar en proteínas contráctiles, reguladoras de la contracción y estructurales del sarcómero.

### **1.7.4. Proteínas contráctiles**

Son las proteínas que participan en el proceso físico de la contracción muscular, sus principales constituyentes son la miosina y actina, dispuestas en los filamentos gruesos

y delgados, respectivamente (Greaser, 2001). En invertebrados, los filamentos gruesos se distinguen de los correspondientes de vertebrados por su alto contenido en una proteína insoluble en agua, que se denominada paramiosina (Levine et al., 1976). Esta proteína constituye el corazón del filamento grueso, el cual está cubierto por una capa cortical de miosina (Cohen et al., 1971; Elfvin et al., 1976).

### **1.8. Desnaturalización proteica**

La desnaturalización es un proceso o una secuencia de procesos en los cuales el arreglo de las cadenas de polipéptidos dentro de la molécula es cambiado desde el típico alineamiento de las proteínas nativas hacia un arreglo más desordenado (Ziegler y Acton, 1984).

Durante el calentamiento, las proteínas experimentan procesos de desnaturalización y agregación los cuales causan disminución de la solubilidad (Li-Chan et al., 1985).

La miosina sufre una serie de reacciones de desnaturalización durante el calentamiento, donde se llevan a cabo algunos cambios conformacionales característicos de las regiones de la cabeza y cola de la molécula de miosina (Samejima et al., 1981).

En consecuencia, se encontró que la porción de la cabeza y la cola tienen funciones sobre la agregación y la capacidad de formación de la red tridimensional (gel), respectivamente, a altas temperaturas. Cuando la proteína solubilizada es calentada pierde su conformación nativa y empieza a desdoblarse con un incremento en la hidrofobicidad superficial y un decremento en los grupos reactivos totales (Totosaus, 1996).

Esto demuestra que los residuos hidrofóbicos y los grupos sulfhidrilo (-SH) emergen a la superficie molecular como un resultado del desdoblamiento, que tiende a incrementar la interacción hidrofóbica y las uniones disulfuro entre las moléculas de proteína (Ziegler y Acton, 1984), de forma que permitan el inicio de la tercera etapa, es decir, la constitución de la red tridimensional de proteína.

En la Tabla 3 se presentan valores de temperatura de desnaturalización de proteínas musculares de peces y de otros animales analizados mediante DSC:

**Tabla 3**

*Principales proteínas musculares de peces y animales, analizadas en la temperatura de pico de desnaturalización en DSC.*

<b>Analizado en:</b>	<b>Miosina (°C)</b>	<b>Proteínas Sarcoplasmáticas (°C)</b>	<b>Actina (°C)</b>	<b>Referencias</b>
Músculo de Bacalao	43,5 ± 0,2	59,3 ± 0,9	73,6 ± 0,7	Larrea et al. (2001)
Músculo de Calamar	44,44 ± 1,3	58,69 ± 1,3 - 66,46 ± 0,3	78,8 ± 1,6	Ortiz,M (2019)
Músculo de Conejo	60	67	80	Wright et al. (1977)
Cojinoba Palmera	45,3 ± 0,4	53,9 ± 0,1	74,4 ± 2,0	Wachtendorff et al. (2015)

Fuente: Thorarinsdottir et al. (2002).

### 1.9. Congelación de alimentos

Es aquella operación unitaria en la que la temperatura del alimento se reduce por debajo de su temperatura de congelación, con lo que una proporción elevada del agua que contienen cambia de estado formando cristales de hielo, obstaculizando toda la actividad microbiológica y disminuyendo considerablemente la actividad enzimática; haciendo que el producto sea estable durante una cantidad de tiempo determinada (Gruda, 1988; Fellows, 1994).

Orrego (2003) define a la congelación como el proceso de preservación originado por la reducción de la temperatura por debajo de aquella en la que comienzan a formar cristales en un material alimenticio. Debe su poder conservador a la casi total eliminación del agua líquida por transformación en hielo (reducción de la actividad de agua), obstaculizando la actividad microbiológica y enzimática, y a la reducción de la actividad biológica por el descenso de la temperatura que generalmente se lleva hasta un valor entre -10 °C y -20 °C.

La congelación representa para muchos alimentos el mejor medio de conservación a largo plazo, pues asocia los efectos favorables de las bajas temperaturas a los de la transformación del agua en hielo. En efecto, ningún microorganismo puede desarrollarse a temperaturas inferiores a -10 °C; por lo tanto, el usual almacenamiento de productos congelados a -18 °C, impide toda actividad microbiana; además, la velocidad de la mayoría de las reacciones químicas queda notablemente reducida (ley de Arrhenius) y las reacciones metabólicas celulares se paralizan completamente (Cheftel et al., 2000).

Actualmente en la industria de alimentos, los productos congelados son cada vez más comunes; lo cual se debe a la necesidad o conveniencia original de conservar a los



alimentos por más tiempo. Las técnicas de congelamiento son muy variadas y el método a usar depende del destino y/o las características del alimento (Rahman y Vélez, 2007).

Se puede afirmar que las características de un pescado que se congela van a aparecer en el momento de la descongelación, para mejorarlas o para empeorarlas; por lo que, para obtener un congelado de calidad será necesario vigilar y seleccionar el producto fresco, controlando escrupulosamente las operaciones previas, las del proceso en sí mismo y las de almacenamiento posterior (Rodríguez, 2011).

### 1.9.1. Fases del proceso de congelación

El proceso de congelación incluye una serie de fases: subenfriamiento, nucleación y crecimiento de los cristales formados, que están estrechamente influenciadas por variables termodinámicas, cinéticas y de producto (Casp y Abril, 1999).

**a) Subenfriamiento:** Antes de que se produzca la cristalización hay que colocar el producto en un estado termodinámicamente inestable, que propicie el comienzo de la formación de agregados submicroscópicos de agua que produzcan la interfase adecuada, necesaria para la transformación de líquido a sólido. Esto se consigue con el subenfriamiento, proceso que consiste en enfriar el producto por debajo de su punto de congelación (Casp y Abril, 1999).

**b) Nucleación:** La cristalización se inicia cuando las condiciones son apropiadas para que se produzca la agregación de un grupo de moléculas en una diminuta partícula ordenada, que se conoce como núcleo de cristalización (Casp y Abril, 1999).

A temperaturas inferiores al punto de fusión (estado de subenfriamiento), los agregados desarrollan una interfase con el líquido subenfriado termodinámicamente inestable. Cuando el tamaño del agregado se incrementa van ampliándose también sus probabilidades de crecimiento, hasta que alcanza el llamado *radio crítico*. Más allá del radio crítico el agregado se considera un núcleo de cristalización activo y el proceso de crecimiento se convierte en espontáneo. Los factores que afectan al tamaño crítico del núcleo influyen la energía interfacial, el calor latente de fusión, y el grado de subenfriamiento (Casp y Abril, 1999).

La nucleación puede ser homogénea o heterogénea. La nucleación homogénea se produce en sistemas puros y lleva a la formación de cristales tridimensionales. La nucleación heterogénea tiene lugar cuando el medio no es totalmente puro y los agregados

de agua se unen sobre un agente de nucleación extraño, como pueden ser las paredes del recipiente o alguna partícula de material insoluble. Esta condición incrementa la estabilidad facilitando el proceso (Casp y Abril, 1999).

**c) Crecimiento de los cristales:** El crecimiento de los cristales se produce cuando el número de moléculas de agua capaces de difundirse a lo largo de la interfase, y de situarse orientadas en una posición de crecimiento del cristal, es mayor de las que se separan del mismo (Casp y Abril, 1999).

El mecanismo y la velocidad de crecimiento de los cristales dependen de la morfología de su superficie. Mientras la superficie sea rugosa y con muchos pliegues el crecimiento será continuo, pero cuando se vaya alisando se reducirá la velocidad de crecimiento (Casp y Abril, 1999).

Si consideramos el crecimiento de cristales en una solución acuosa, a medida que se va separando el hielo (sustancia pura), la concentración del soluto en el líquido restante se incrementa, por lo tanto se producirá una depresión en la temperatura de congelación de la fase no congelada. Es decir, la temperatura de congelación se irá reduciendo en la medida que los cristales vayan creciendo (Casp y Abril, 1999).

**Tabla 4**

*Tiempos de conservación de pescado congelado.*

Producto	Meses de conservación	
	18 °C bajo cero	25 °C bajo cero
Pescado graso	2-4	5-7
Pescado blanco y marisco	3-4	6-8
Pescado planos	4-6	7-9

Fuente: FAO, 2010

La descongelación del pescado debe realizarse de tal forma que la temperatura del entorno no debe superar los 20 °C. Si el producto permanece mucho tiempo en la zona crítica (0 a -5°C) pueden producirse desnaturalizaciones proteicas (Zuta, 2011).

### **1.9.2. Temperatura inicial de Congelación**

La temperatura inicial de congelación es la temperatura a la que los primeros cristales de hielo aparecen en una temperatura, donde ambas fases, líquida (agua) y sólida (cristales de hielo), coexisten en equilibrio. Los alimentos son sistemas multicomponente,

en la que hay minerales y compuestos orgánicos, incluyendo ácidos, grasas, gases, proteínas, sales y azúcares, dispersos en agua, que es el principal componente de los alimentos. La temperatura inicial de congelación de un alimento es menor que la del agua pura. Debido al alto contenido de agua en la mayoría de los alimentos, un gran número de los alimentos crudos tienen una

temperatura inicial de congelación entre 0 °C y -3,9 °C. Otros alimentos de bajo contenido de agua alcanzan temperaturas iniciales de congelación más bajas como consecuencia de su alto contenido de sólidos. La temperatura de los alimentos al someterse al proceso de congelación se mantiene relativamente constante (meseta) hasta que la mayor parte del agua esté congelada; después de esto la temperatura disminuye hasta llegar a la temperatura de almacenamiento o del medio de congelación (Desrosier, 1970).

A continuación se muestra el punto de congelación de carne, pescado y camarones.

**Tabla 5**

*Punto de congelación de carne, pescado y camarones.*

<b>Material</b>	<b>Contenido de agua (% base húmeda)</b>	<b>Punto de congelación de equilibrio °C</b>
Carne de vaca	80,00	-0,80
Carne de vaca	70,00	-1,01
Carne de vaca	60,00	-2,00
Carne de vaca	50,00	-2,80
Cordero	74,50	-1,74
Cerdo	74,50	-1,75
Pollo	76,00	-0,79
Carpa	80,30	-1,00
Carpa	50,00	-3,57
Salmón	64,00	-2,20
Caballa	57,00	-2,20
Camarón	70,80	-2,20

Rahman y Driscoll, (2007).

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **2.1. Lugar de ejecución**

La investigación se realizó en el laboratorio de investigación y el laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales (ANACOMPA) de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto (UNSM-T) y otros análisis en el Laboratorio de Química y Calidad Total de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

#### **2.2. Materia prima**

Se utilizaron dos tipos de especies en las edades de juvenil y adulto que fueron adquiridas en el mercado Huayco ubicada en la provincia de San Martín, distrito de Tarapoto:

- Paco (*Piaractus brachypomus*)
- Gamitana (*Colossoma macropomum*)

#### **2.3. Equipos y Materiales**

##### **2.3.1. Equipos e instrumentos**

- Balanza analítica 0,001 mg, marca AND, modelo BM-22, procedencia Japon
- Calorímetro Diferencial de Barrido DSC, marca TA Instruments, modelo Discovery 2500, procedencia USA.
- Computador a con software TA Instruments
- Selladora de crisoles, marca TA Instruments
- Nitrógeno analítico (pureza 99,9 %)
- Crisoles de aluminio de 51 mg
- Extractor soxhlet, Marca PESACON
- Equipo kjeldhal, marca P SELECTA, procedencia española
- Estufa con aire forzado, marca POL-EKO, modelo APARATURA SP, procedencia USA.
- Balanza analítica marca AND modelo GH-200

### 2.3.2. Materiales de laboratorio

- Bisturí
- Placas Petri
- Pipeta digital de 5 ml.
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Vasos de precipitación de 500 ml y 50 ml.
- Probeta de 100 ml.
- Pinzas
- Campana de desecación
- Cuchillo
- Tabla de picar

### 2.3.3. Reactivos

- Ácido sulfúrico al 97%
- Hidróxido de sodio al 40%
- Catalizador (sulfato de potasio, sulfato de hierro 11 y sulfato de cobre).
- Agua destilada
- Éter de petróleo

## 2.4. Desarrollo experimental

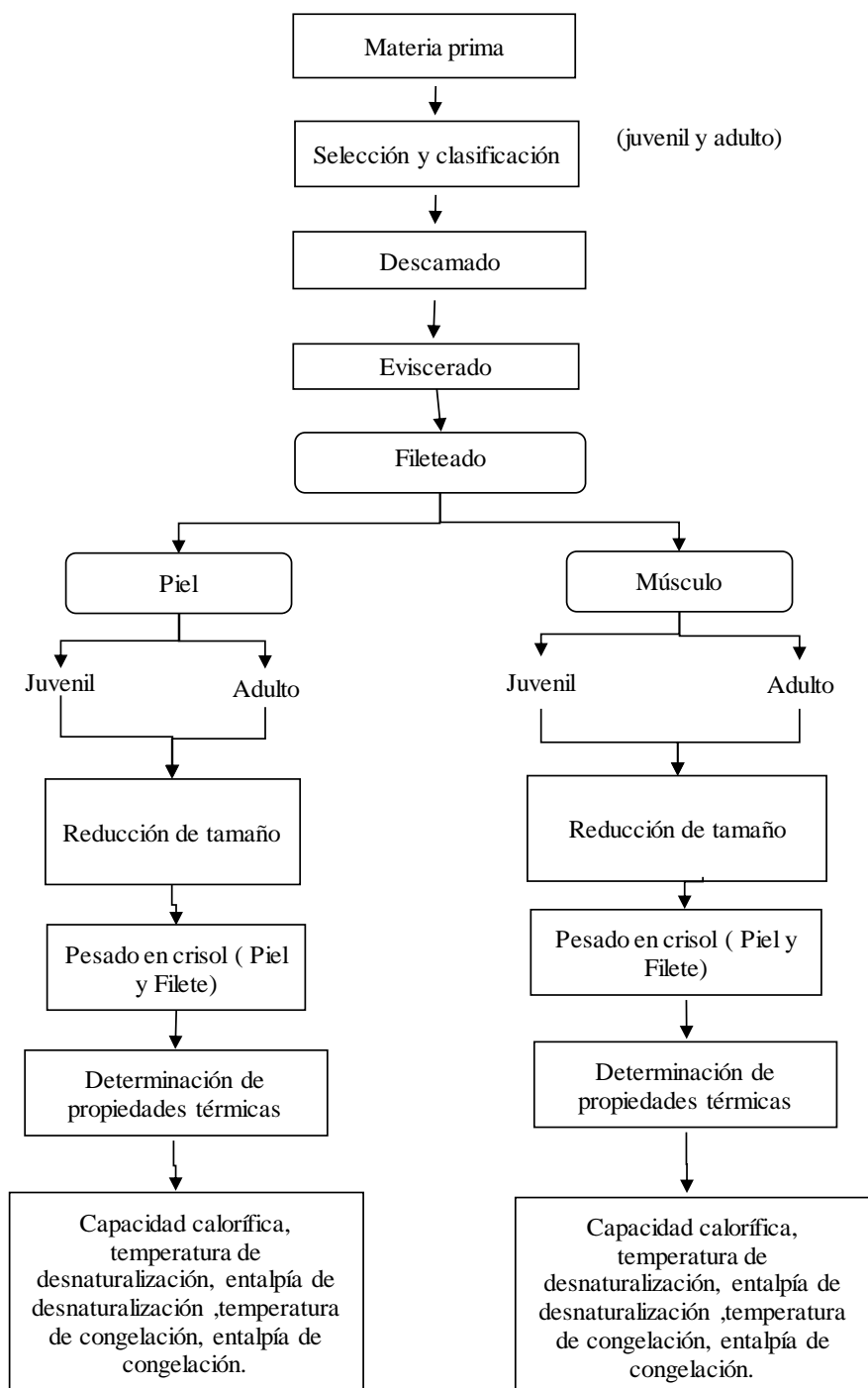
### 2.4.1. Análisis químico proximal

Se determinó la composición química de la piel y músculo de la gamitana y paco.

- **Humedad:** Método de la AOAC (2019). Método 952.08
  
- **Proteína Total:** Método de la AOAC (2019). Método 940.25  
Se utilizó el equipo kjeldhal, el porcentaje de nitrógeno se multiplicó por el factor 6,25
  
- **Grasa Total:** Método de la AOAC (2019). Método 948.15.

## 2.4.2. Metodología experimental

Diagrama de flujo para determinar las propiedades térmicas del paco y gamitana en el equipo de calorimetría diferencial de barrido.



**Figura 5.** Diagrama de flujo para determinar las propiedades térmicas del paco y gamitana.

### 2.4.2.1. Descripción del proceso:

1. **Materia prima:** Se utilizaron pescados adquiridos en el mercado Huayco como gamitanas y pacos ambos en estados juveniles y adultos.
2. **Selección y clasificación:** Se seleccionaron los pescados en buen estado.
3. **Descamado:** Se realizó con cuchillos de acero inoxidable y con un bisturí de acero inoxidable.
4. **Eviscerado:** Se realizó manualmente la separación de las vísceras, agallas, tejidos oscuros.
5. **Fileteado:** Se separó la piel del músculo y se realizó un fileteado para realizar análisis proximal.
6. **Reducción de tamaño:** Se realizó pequeños cortes con pesos desde 15 a 20 mg para el análisis en el DSC.
7. **Pesado en crisol:** Se hizo el pesado de las cápsulas (pan) herméticas de aluminio para el análisis en el DSC.
8. **Determinación de las propiedades térmicas:** Las muestras fueron analizadas en el calorímetro diferencial de barrido. El flujo de nitrógeno en el horno fue de 50ml/min manteniéndolo constante durante todo el experimento, para la determinación de la capacidad calorífica las temperaturas fueron medidas desde 0°C a 40°C y de 0°C a -50°C, para los análisis de desnaturalización se considero de 10°C hasta 90°C, para los análisis de congelación fue de 10 °C hasta -50 °C con un incremento de temperatura a razón de 5 °C/min manteniéndose en equilibrio, luego un calentamiento de -50 °C hasta 10 °C a una velocidad de 5 °C/min con purga de nitrógeno. Todos los análisis se realizaron empleando un crisol vacío de referencia.
9. **Análisis de datos:** Los análisis fueron realizados aplicando el software de análisis de calor proporcionado por TA Instruments (Delaware, USA) empresa fabricante del equipo DSC, para calcular la capacidad calorífica, temperatura desnaturalización y congelación a partir del flujo de calor, utilizando un crisol vacío como referencia.

#### **2.4.3. Cálculo de la capacidad calorífica de piel y músculo de las especies (paco y gamitana) en edad (juvenil y adulto).**

Para determinar la capacidad calorífica las muestras fueron escaneadas a una velocidad de calentamiento de 5 ° C / min en un intervalo de 0°C hasta 40 °C y de -50°C a 0°C. Sin embargo se hizo un ajuste de temperatura de 5°C a 38 °C como de -10°C a -35°C donde la muestra se adecua para predecir un modelo de regresión polinomial, la capacidad calorífica se ajustó a un modelo polinomial de grado 2 y 3.

Se utilizó como muestra los tejidos de piel y músculo de cada especie de pescado en el estado de juvenil y adulto, realizando la determinación por triplicado utilizando un peso de alrededor de 15 mg en cápsulas (crisol) herméticas de aluminio, que posteriormente fueron cerradas utilizando una selladora marca TA Instruments. Se utilizó como referencia una cápsula (crisol) vacía sellada herméticamente.

#### **2.4.4. Desnaturalización de proteínas en piel y músculo de las especies (paco y gamitana) en edad (juvenil y adulto), en la temperatura de desnaturalización y entalpía de desnaturalización.**

Se realizó mediante la metodología del DSC modulado con un intervalo de temperatura oscilante entre 10 °C y 90 °C. La velocidad de calentamiento lineal fue de 3°C/min, y la condición de modulación de calentamiento por un período de 60 s con una amplitud de 2°C. Se utilizó como muestra los tejidos de piel y músculo de cada especie de pescado en el estado de juvenil y adulto cada muestra por triplicado utilizando un peso alrededor de 15-20 mg en cápsulas (crisol) herméticas de aluminio, que posteriormente fueron tapadas utilizando una selladora marca TA Instruments. Se utilizó como referencia una cápsula vacía. En los termogramas obtenidos se determinó la temperatura inicial (onset) y final (endset) de desnaturalización de las proteínas, el pico de temperatura (peak temperature) máxima y la entalpía de desnaturalización de cada proteína ( $\Delta H$  total (J/g)).

#### **2.4.5. Temperatura de congelación y entalpía de congelación**

Se determinó la temperatura y entalpía de congelación, empleando un equipo de calorimetría diferencial de barrido – DSC, modelo Discovery 2500 de TA Instruments procedencia USA.



La metodología utilizada consistió en un enfriamiento en el intervalo de 10 °C hasta -50 °C a una velocidad de 5 °C/min manteniéndose en equilibrio en el punto final, luego se aplicó un calentamiento de -50 °C hasta 10 °C a una velocidad de 5 °C/min. El muestreo de los tejidos de piel y músculo en la etapa de juvenil y adulto se realizó de acuerdo a lo descrito en el ítem 2.4.4.

#### **2.4.6. Análisis estadístico**

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial de 2x2x2, teniendo entre ellas como primer factor Especie (paco y gamitana), Edad (juvenil y adulto) y el tipo de tejido (piel y músculo), realizándose tres repeticiones, a los datos obtenidos se les realizó análisis de varianza (ANOVA). Los resultados fueron comparados utilizando la prueba de Tukey. Las diferencias se consideraron significativas al nivel del 5% y fueron calculadas utilizando el software estadístico SAS.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Composición química proximal de la piel y músculo de gamitana y paco.

En las muestras de piel y músculo se determinaron la humedad, proteína y grasa, antes de ser analizadas en el equipo DSC. En las tablas 6 y 7 se presenta la composición química proximal de piel y músculo de las especies gamitana y paco en el estadio de juvenil y adulto.

**Tabla 6**

*Análisis proximal de la piel de gamitana y paco.*

Especie	Gamitana		Paco	
	Juvenil	Adulto	Juvenil	Adulto
Humedad (B.H)	62,0± 0,17*	67,4**	60,47± 0,64*	64,5**
Proteína (B.S)	79,56± 0,01*	79,44**	84,16± 0,74*	76,62**
Grasa (B.S)	16,39± 0,40*	11,96**	13,26± 0,35*	18,87**

\* Datos obtenidos a partir de laboratorio ANACOMPA

\*\* Datos obtenidos a partir de laboratorio Calidad Total – UNALM.

Dado que no se hallaron informes sobre el análisis proximal de piel de gamitana y paco en la edad de juvenil y adulto, se realiza una comparación de los resultados de estas especies con la piel de cachama y tilapia.

En la tabla 6 se observa que el porcentaje de humedad de la piel de gamitana y paco en la edad juvenil fue 62 % y 60,47% y en edad adulto fue 67,4% y 64,5% respectivamente.

Según los resultados de la investigación de Serrano (2011), la humedad de la piel de cachama fue de 64,30% y tilapia de 67,50 %, valores de humedad similares a los obtenidos en el presente trabajo.

Cabe resaltar que el porcentaje de proteína no varía mucho en ambas especies en ambas edades, obteniéndose valores para porcentaje proteína de 76,62 % hasta 84,16 %. En los reportes de Serrano (2011), el porcentaje de proteína en la piel de tilapia es de 76,13 % y en la cachama de 31,58 %, que resultan inferiores a los obtenidos en las pieles de Paco y Gamitana. En lo que respecta a la grasa los valores estudiados son menores a los reportados por Serrano (2011), que son de 43,83 % y 82,60 %.

Bravo et al. (2019) reporta la piel de doncella en base seca que obtuvo 59,73% de humedad, con un porcentaje de grasa de 18,66% y con un contenido proteico de 80,14%.

A continuación se presenta, en la tabla 7, el análisis proximal del músculo de gamitana y paco en la edad de juvenil y adulto.

**Tabla 7**

*Análisis proximal del músculo de gamitana y paco.*

Especie	Gamitana		Paco	
	Juvenil	Adulto	Juvenil	Adulto
<b>Análisis proximales (%)</b>				
<b>B.S</b>				
Humedad(B.H)	78,40±0,44*	73,3**	79,67±0,50*	75,3**
Proteína(B.S)	87,78±0,86*	71,54**	89,52±0,76*	76,92**
Grasa(B.S)	8,66±0,35*	22,85**	8,76±0,37*	10,53**

\* Datos obtenidos a partir de laboratorio ANACOMPA

\*\* Datos obtenidos a partir de laboratorio UNALM

Como se observa en la tabla 7 los análisis proximales realizados al músculo de gamitana y paco en la edad juvenil y adulto arrojaron resultados muy parecidos en trabajos de investigación.

García (2006) reportó resultados en gamitana juvenil: 79,81 % en humedad 86,53 % en proteína y 7,87 % en grasa. Paco juvenil: 79,81% en humedad; 88,06 % en proteína y 5,42 % en grasa.

Según González et al. (2007), la composición química de los peces difiere por muchos factores, dependiendo de la especie, diferencias anatómicas del pez, edad, sexo, ubicación, tipo de pesca y estación del año.

La composición proximal obtenida para músculo de gamitana y paco en edad adulto en la presente investigación (Tabla 7) presenta una pequeña variación entre especies.

Stewardship (2003), en su investigación obtuvo valores para gamitana adulto de 70,10 % en humedad, 61,54 % en proteína y 30,37 % grasa. De igual manera, Cortez (1998), en su investigación en paco adulto reportó valores de 74,08 % en humedad, 68,33 % en proteína y 23,53 % en grasa.

Kodaera et al. (2001) indican que la humedad varía de 66 - 81 % en base húmeda en pescado de agua dulce. Sikorski (1990), hace referencia que el pescado es considerado

magro cuando presenta altos valores de humedad (83%) y graso cuando el valor máximo de humedad es 58%. Esta información se puede relacionar con lo reportado por Izquierdo et al. (2000), mencionan que hay una relación inversa entre el contenido de grasa y humedad en el músculo.

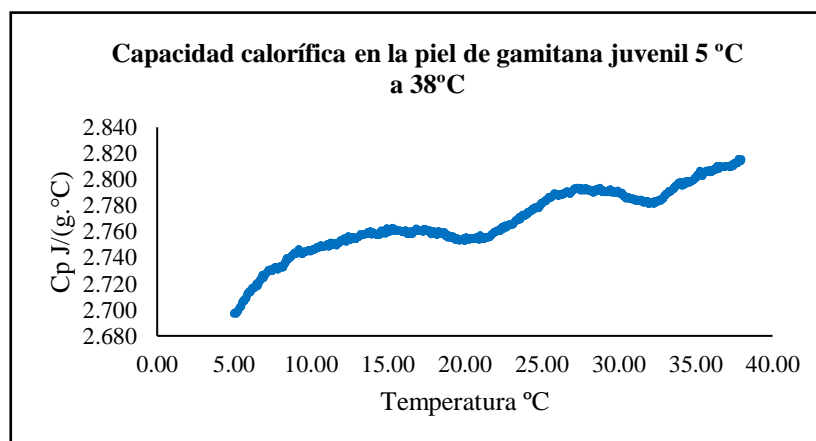
Según Kinsella et al. (1977), la composición proximal de algunas especies de agua dulce, indican que el porcentaje de proteína está dentro de un rango estrecho, desde 17 a 21,3% en base húmeda

De acuerdo a lo mencionado, el bajo contenido graso en el músculo puede estar en relación a la dieta alimenticia suministrado en el cultivo. Por otro lado Goulding (1997) menciona que los niveles de grasa del pescado en ambientes controlados son menos fluctuantes debido a una dieta controlada y muchas veces balanceada de acuerdo a la edad, sexo y desarrollo del pez.

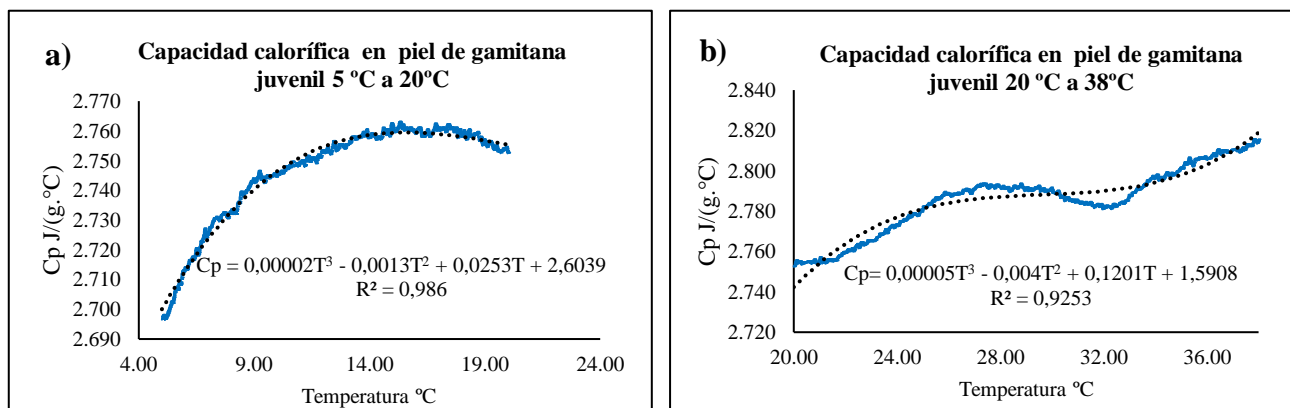
### 3.2. Determinación de la capacidad calorífica de piel y músculo de las especies gamitana y paco en la edad de juvenil y adulto.

#### 3.2.1. Capacidad calorífica en el intervalo de las temperaturas de 5°C a 38°C.

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de la capacidad calorífica (promedio de tres repeticiones) de la piel de gamitana juvenil en las temperaturas figura 7 de 5°C a 20°C y 20°C a 38°C. Los valores experimentales se ajustaron a un modelo polinomial de grado 2 y 3, con un valor de  $R^2$  por encima de 0,80.



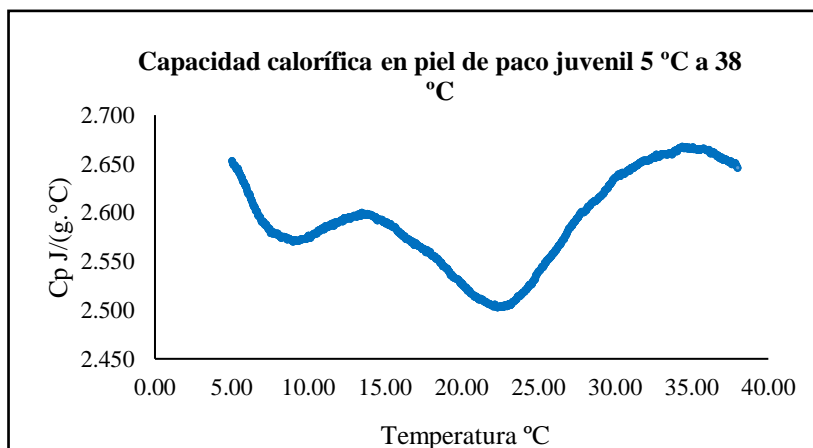
**Figura 6.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en la piel de gamitana juvenil.



**Figura 7.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C piel de la gamitana juvenil.

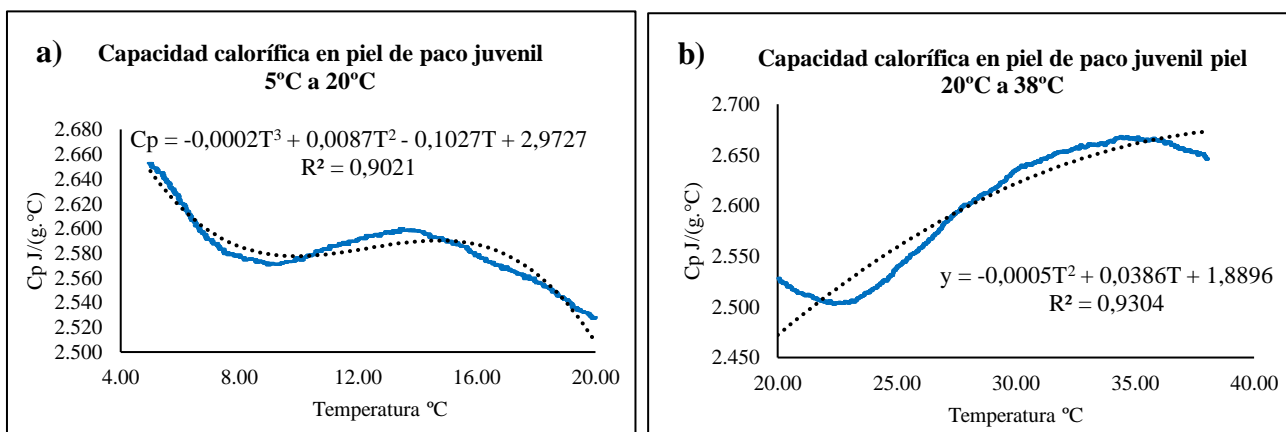
Si bien la capacidad calorífica varía con la temperatura como se observa en la Figura 7 la capacidad calorífica de la piel fue 2,697 J/ g. °C; 2,753 J/ g. °C y 2,830 J/ g. °C, para las temperaturas de 5°C, 20°C y 38 °C, respectivamente.

A partir de los valores de la capacidad calorífica obtenidos a diferentes temperaturas con tres repeticiones y promediándolas, se obtuvieron las Figuras 8 y 9 que fueron ajustados para obtener la ecuación polinomial de grado 2 y 3 donde se observa la influencia de la temperatura en los valores de la capacidad calorífica.



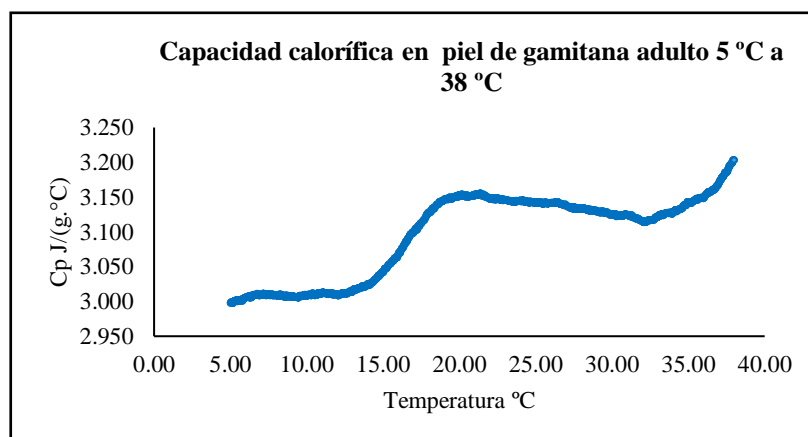
**Figura 8.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en la piel de paco juvenil.

Puede notarse que en la temperatura de 25 °C hay una caída de la capacidad calorífica y luego asciende, comportamiento puede estar influenciado por la composición de la piel .La capacidad calorífica en la piel es 2,653 J/g. °C; 2,528 J/g. °C; 2,626 J/ g. °C, para las temperaturas de 5°C, 25°C y 38 °C, respectivamente.



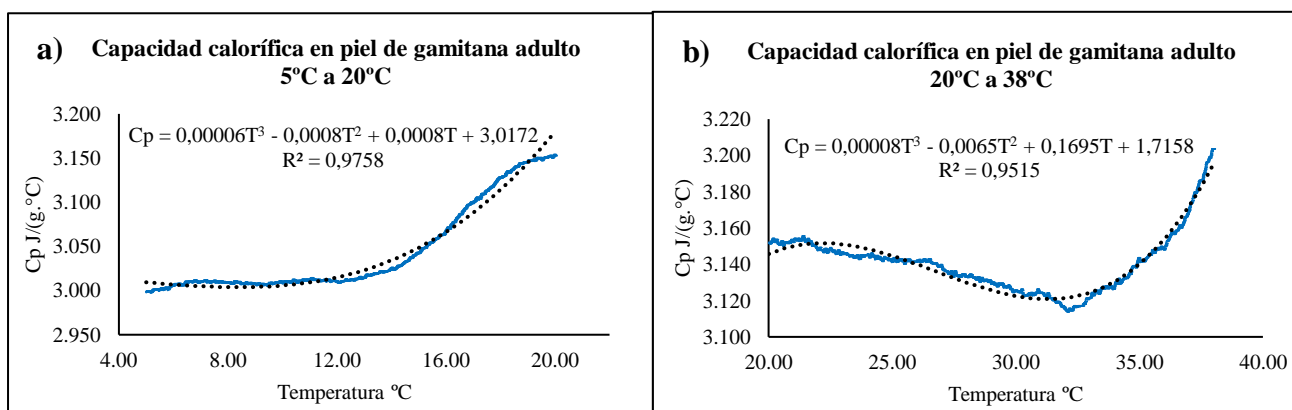
**Figura 9.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C piel de paco juvenil.

Observando la Figura 10 tenemos que la piel de gamitana adulto presenta valores de capacidad calorífica 2,998 J/g. °C; 3,152 J/g. °C; 3,204 J/g. °C, para las temperaturas de 5°C, 20°C y 38 °C, respectivamente.



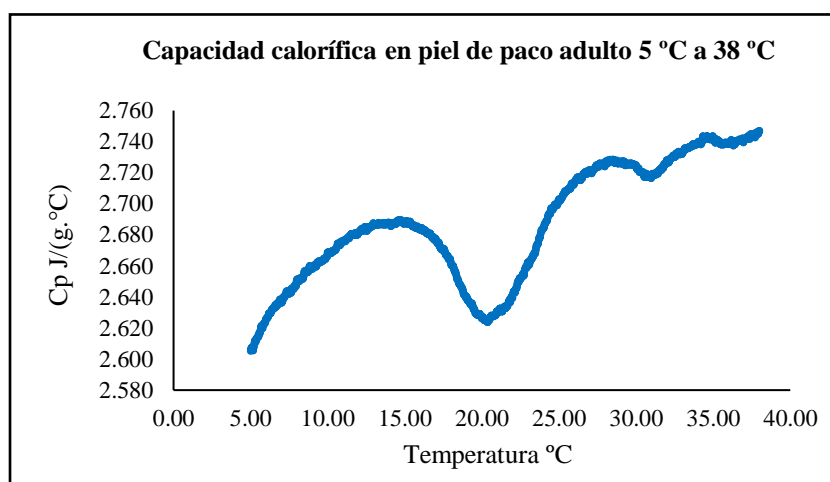
**Figura 10.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en la piel de gamitana adulto

Existe una tendencia al incremento de la capacidad calorífica debido al aumento de la humedad de las muestras Figura 11. Según Shmalko et al. (1996), se sabe que el calor específico aumenta con el aumento del contenido de humedad. La humedad en la piel de gamitana juvenil alcanza 62% y un adulto con 67,40 %.



**Figura 11.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C piel de la gamitana adulto.

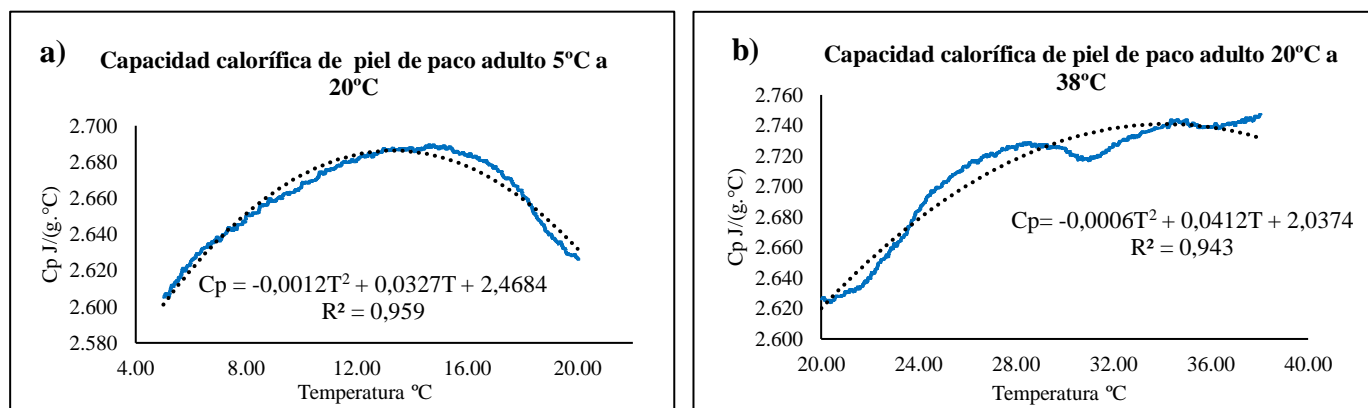
Como se puede observar en la Figura 12 la capacidad calorífica en la piel de paco adulto en las temperaturas de 5 °C a 38°C.



**Figura 12.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en la piel de paco adulto.

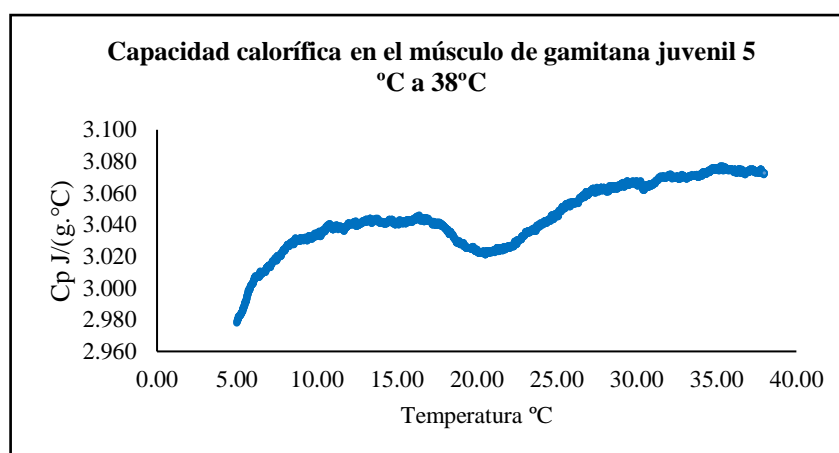
Mediante la Figura 13 se pudo obtener la ecuación polinomial de grado 2 para piel de paco adulto con  $R^2$  de 0,959 en el rango de temperaturas de 5°C a 20°C y 20°C a 38°C es 0,943, respectivamente.

Los valores de la capacidad calorífica a diferentes temperaturas en la piel con una humedad de 64,5 % son: 2,605 J/g. °C; 2,626 J/ g. °C; 2,747 J/g. °C, para las temperaturas de 5°C, 20°C y 38 °C, respectivamente.



**Figura 13.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C piel de paco adulto.

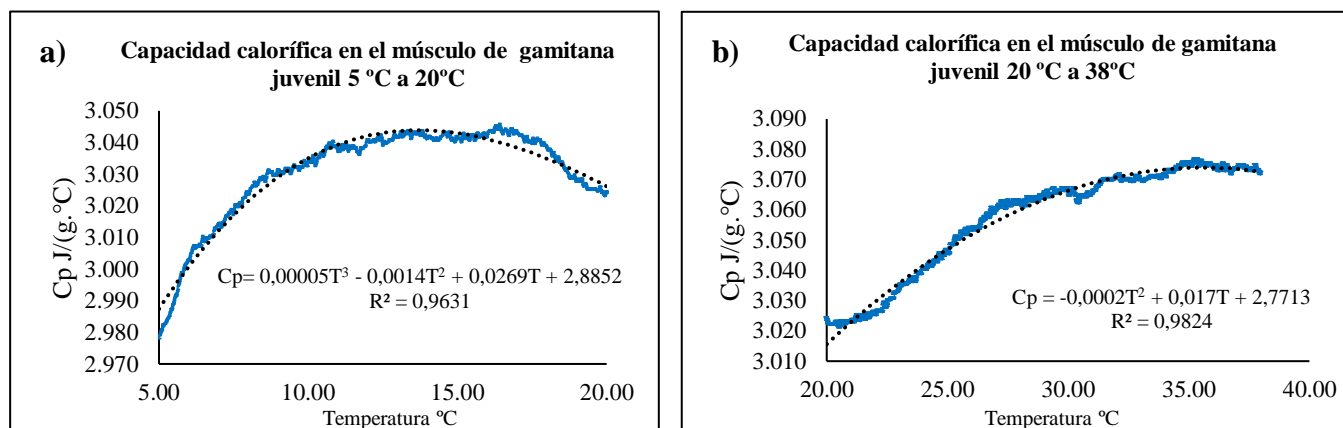
Como se puede observar en la Figura 14 la capacidad calorífica en el músculo de la gamitana juvenil en las temperaturas de 5 °C a 38°C.



**Figura 14.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en el músculo de gamitana juvenil.

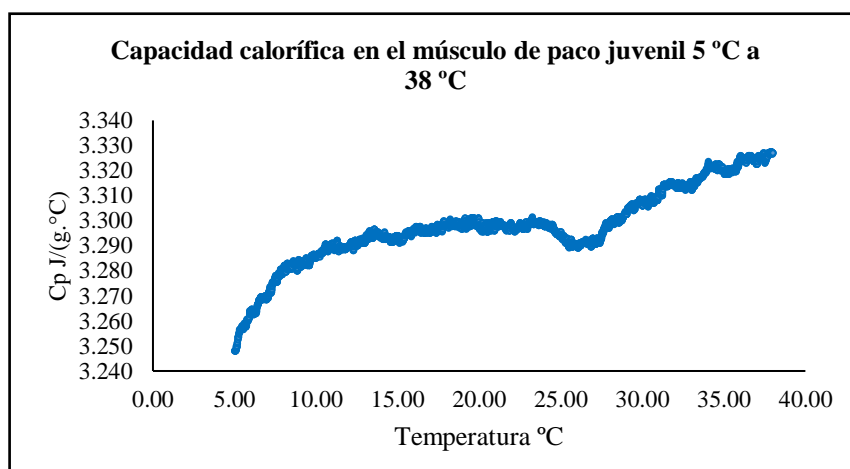
En la Figura 15 se obtuvieron valores de capacidad calorífica 2,978 J/ g. °C; 3,024 J/g. °C y 3,073 J/g. °C, para las temperaturas de 5°C, 20°C y 38 °C, respectivamente. Existe una tendencia al incremento de la capacidad calorífica debido al aumento de la humedad de las muestras. Según Shmalko et al. (1996), se sabe que el calor específico aumenta con el aumento del contenido de humedad. La humedad en la piel de gamitana juvenil en músculo con 78,40 %.





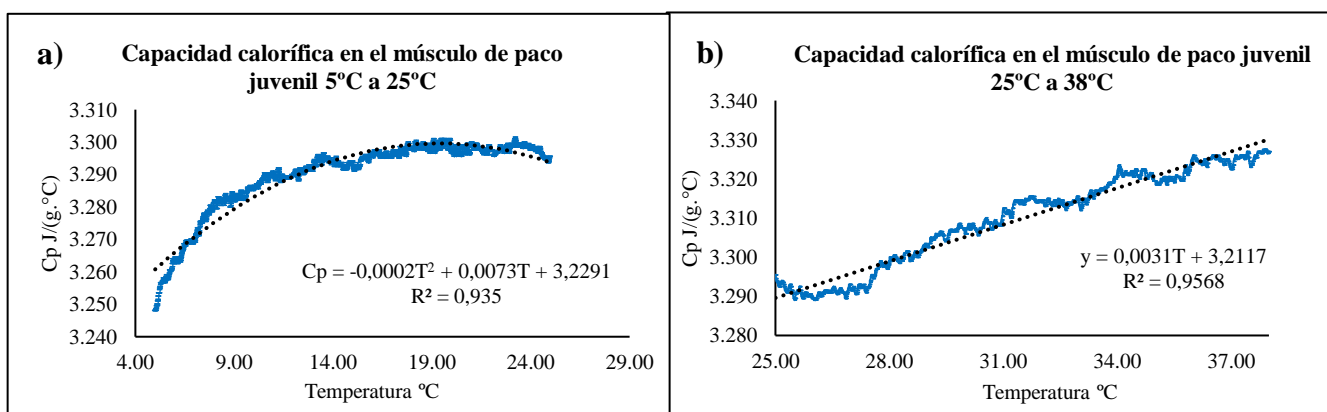
**Figura 15.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C en el músculo de gamitana juvenil.

Se puede observar la Figura 16 que la capacidad calorífica del músculo es mayor a la piel estas variaciones se deben principalmente, a diferencias en el contenido de humedad, la humedad en pieles de juvenil y adulto se encuentran desde 60% a 64% en músculos desde 73% a 79%.



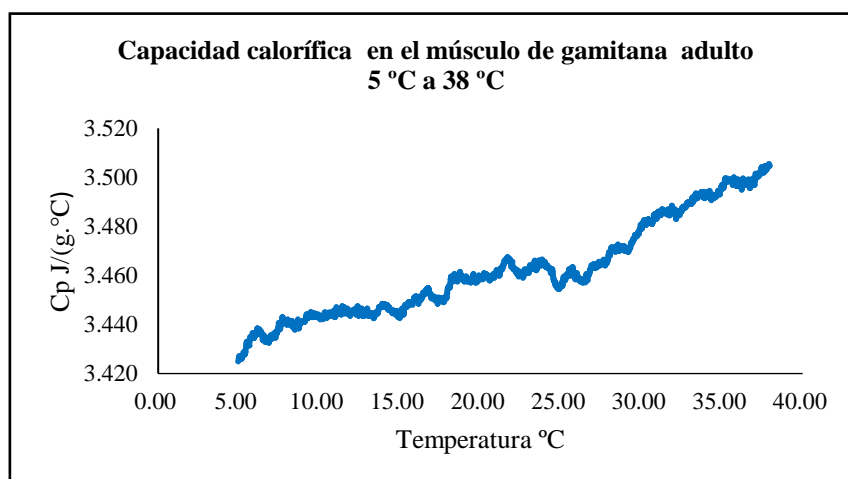
**Figura 16.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en el músculo de paco juvenil.

En la Figura 17 se observa los valores de capacidad calorífica que fueron de 3,248 J/g. °C; 3,297J/ g. °C; 3,327 J/g. °C, para las temperaturas de 5°C, 25°C y 38 °C, respectivamente.

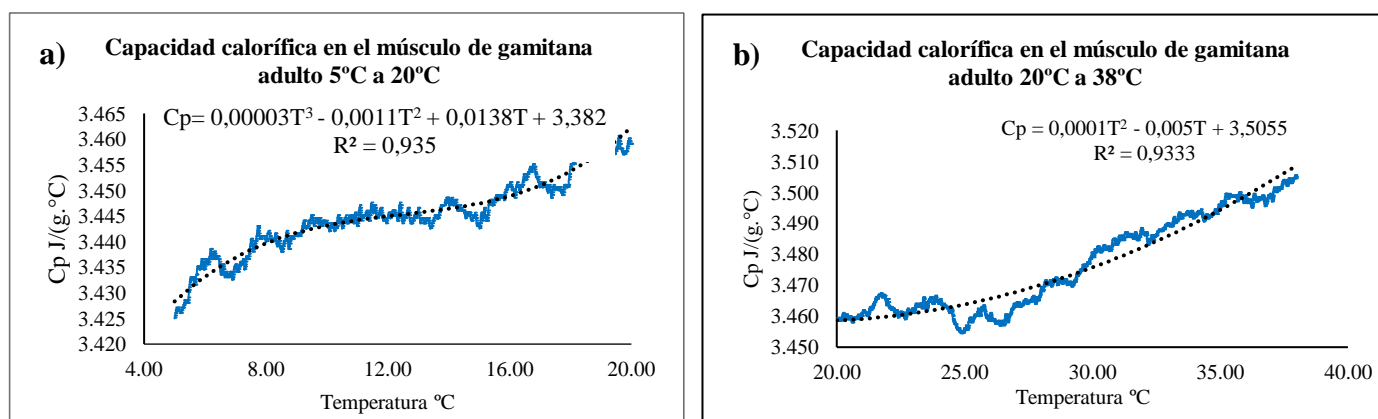


**Figura 17.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura c) 5°C a 25°C y d) 25°C a 38°C en el músculo del paco juvenil.

Observando la Figura 18 tenemos la gráfica con la capacidad calorífica de 5°C a 38°C. Cabe destacar que para el músculo gamitana adulto Figura 19 los valores de capacidad calorífica son: 3,425 J/g. °C; 3,459 J/g. °C; 3,505 J/g. °C, para las temperaturas de 5°C, 20°C y 38 °C, respectivamente.

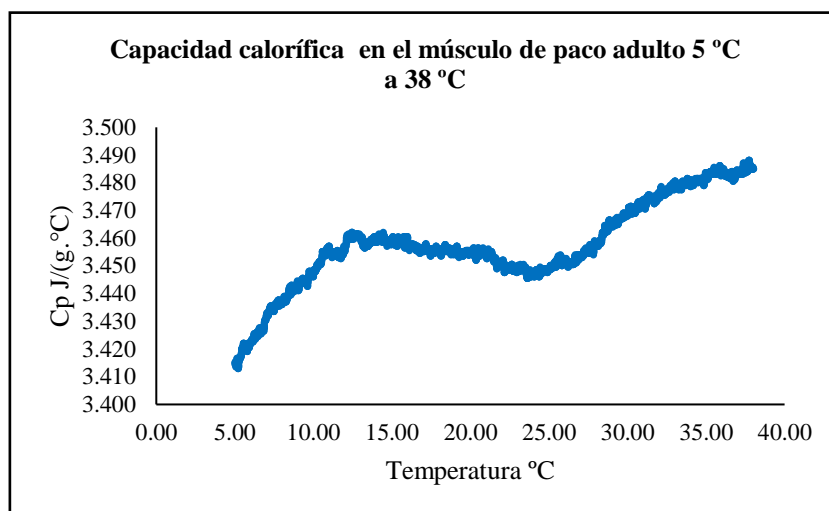


**Figura 18.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en el músculo de gamitana adulto.

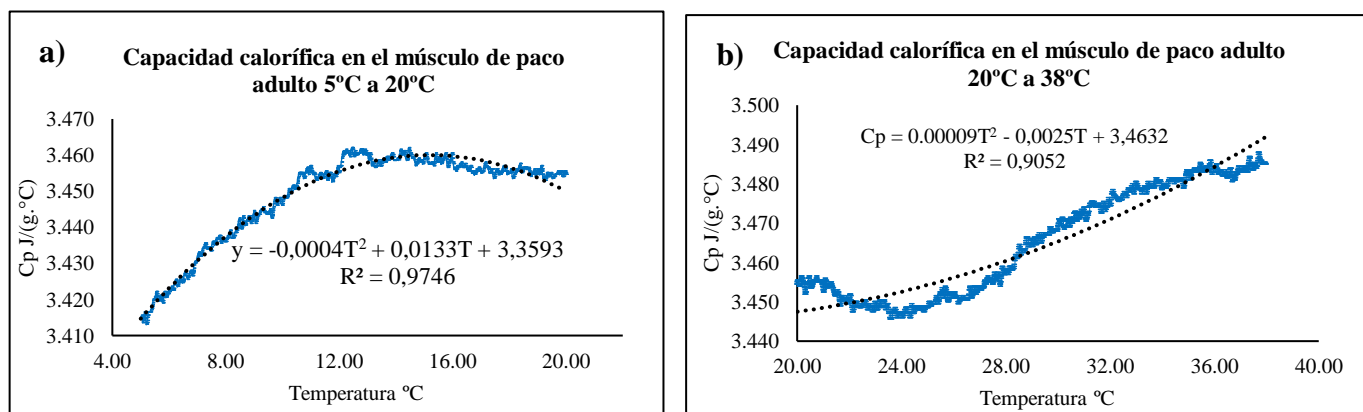


**Figura 19.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C en el músculo de gamitana adulto.

Para el músculo de paco adulto Figura 20 con una humedad 75,3% los valores de capacidad calorífica 3,415 J/g. °C; 3,455 J/g. °C; 3,485 J/g. °C, para las temperaturas de 5°C, 20°C y 38 °C, respectivamente.



**Figura 20.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura en el músculo de paco adulto.



**Figura 21.** Comportamiento de la capacidad calorífica en función de la temperatura a) 5°C a 20°C y b) 20°C a 38°C en el músculo de paco adulto.

Finalmente a partir de los datos obtenidos de la capacidad calorífica en la piel y músculo de gamitana y paco en el estado de juvenil y adulto, se observa que si bien el comportamiento es similar tanto en piel y músculo, existe diferencia en cuanto a la capacidad calorífica en la piel que tiene una humedad baja con respecto al músculo.

Unklesbay et al. (1999) mencionan que los valores de calor específico más bajos generalmente ocurren con los menores valores de contenido de humedad. Sin embargo al no encontrar investigaciones de propiedades térmicas en peces de aguas continentales es necesario, referenciar investigaciones que tengan un comportamiento similar a los

termogramas registrados por el DSC y explicar que componentes sufren cambios con la temperatura. En la investigación de Sasaki et al. (2006), DSC sobre tejido adiposo en porcinos hallan que la grasa empieza su punto de fusión a los 26,6 °C con un pico de 31,1°C, es decir que en las gráficas la grasa presente en la piel y músculo de las especies

muestran este comportamiento en estas temperaturas. Sin embargo en la piel de gamitana adulto existe un ascenso de la capacidad calorífica en la temperatura de 20°C. En los resultados de Marcotte et al. (2008), el jamón en la temperatura de 20°C presenta un pico con una capacidad calorífica de 3,224 J / kg.K y después se muestra un comportamiento lineal.

Se realizó un análisis de varianza con el objetivo de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en la capacidad calorífica, con respecto a los intervalos de la temperatura 5°C; 20°C; 38°C en el tejido de piel y músculo, estudiadas en las especies en la edad de juvenil y adulto. A continuación se muestra en la tabla 8 con los datos promedio encontrados.

**Tabla 8**

*Datos promedio de la capacidad calorífica en la piel y músculo en los intervalos de las en las temperaturas de 5°C; 20°C; 38°C en las especies de gamitana (Colossoma macropomum) y paco (Piaractus brachypomus) en las edades juvenil y adulto.*

Especie	Edad	Tipo de tejido	5 °C	20 °C	38 °C
Gamitana	Juvenil	Piel	2,697 <sup>d</sup> ± 0,03	2,753 <sup>d</sup> ± 0,02	2,816 <sup>d</sup> ± 0,01
		Músculo	2,978 <sup>c</sup> ± 0,00	3,024 <sup>c</sup> ± 0,03	3,073 <sup>c</sup> ± 0,02
	Adulto	Piel	2,998 <sup>c</sup> ± 0,01	3,152 <sup>c,b</sup> ± 0,00	3,204 <sup>c,b</sup> ± 0,01
		Músculo	3,425 <sup>a</sup> ± 0,08	3,459 <sup>a</sup> ± 0,02	3,505 <sup>a</sup> ± 0,08
Paco	Juvenil	Piel	2,653 <sup>d</sup> ± 0,04	2,528 <sup>e</sup> ± 0,00	2,640 <sup>e</sup> ± 0,02
		Músculo	3,248 <sup>b</sup> ± 0,06	3,297 <sup>b</sup> ± 0,05	3,327 <sup>b</sup> ± 0,06
	Adulto	Piel	2,605 <sup>d</sup> ± 0,09	2,626 <sup>e,d</sup> ± 0,10	2,747 <sup>e,d</sup> ± 0,08
		Músculo	3,415 <sup>a</sup> ± 0,07	3,455 <sup>a</sup> ± 0,06	3,485 <sup>a</sup> ± 0,06

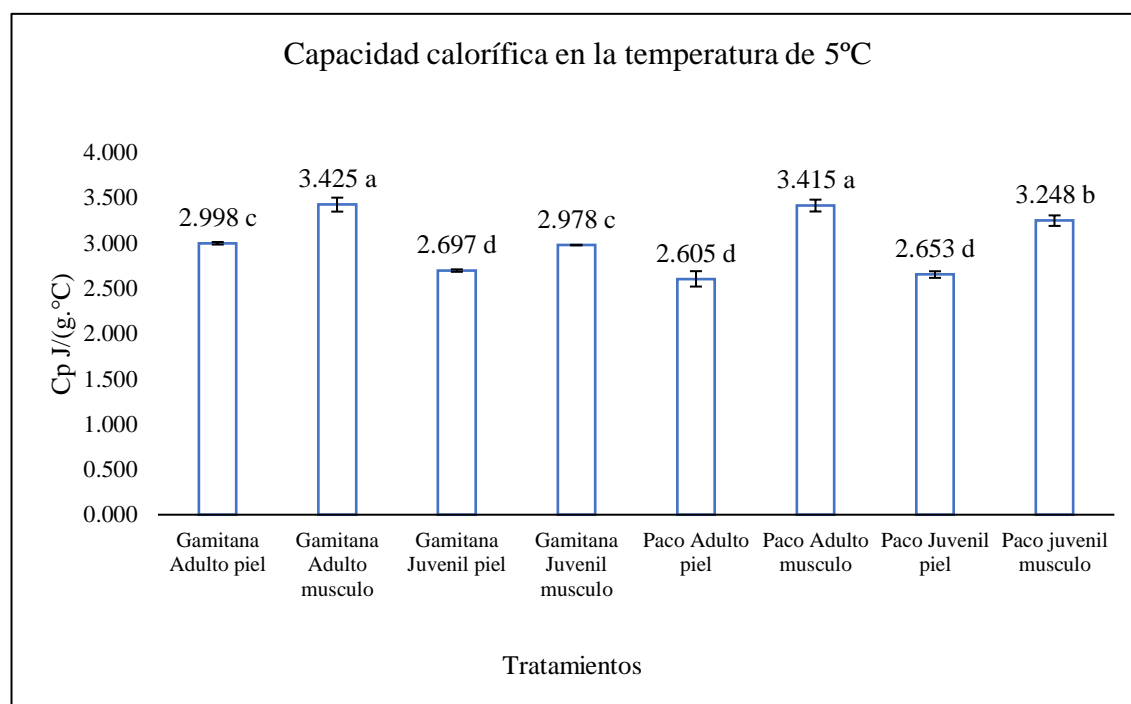
Medias con diferente letra son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Se observa en la tabla 15 (Anexo 1), la diferencia de la capacidad calorífica en 5°C son altamente significativos ( $p < 0,05$ ) con respecto a las, edades, tipo de tejido y en las

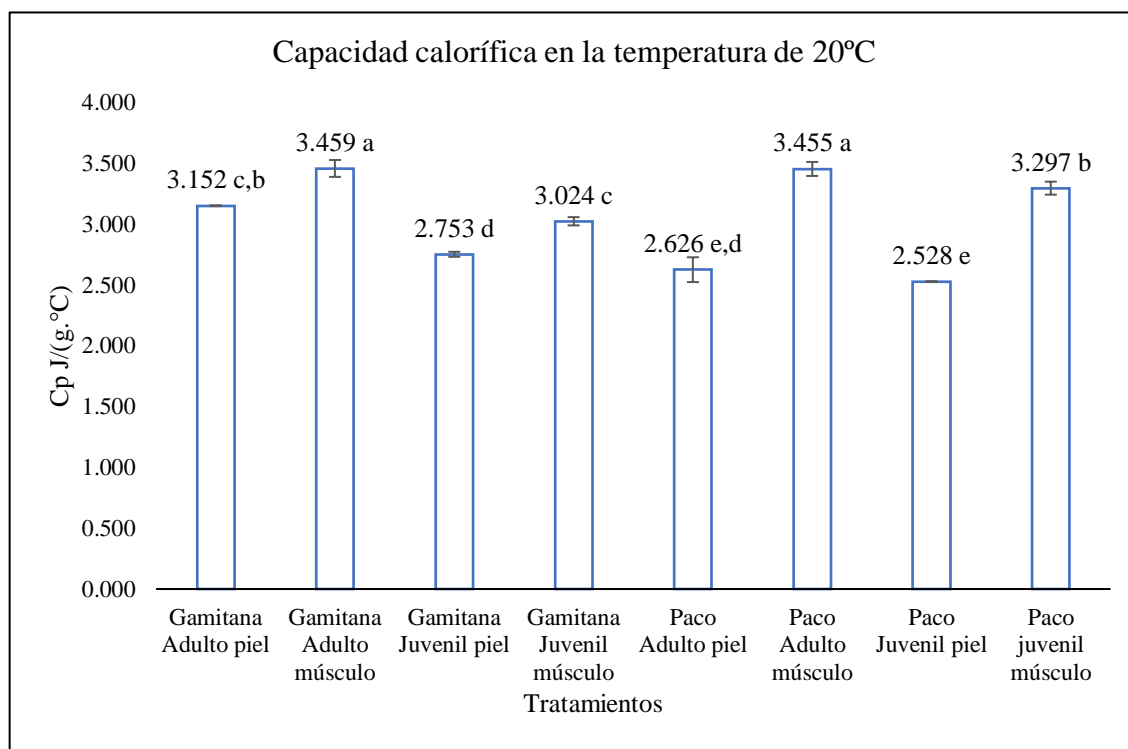
interacciones especies por edades, especies por tejido y edades por tejido. Sin embargo en especies y en la interacción especies por edades por tipo de tejido no hay diferencia estadística ( $p>0,05$ ).

De igual modo la capacidad calorífica en 20°C muestra una diferencia altamente significativa ( $p<0,05$ ) (Anexo 1, tabla 17) en especies, edades, tipo de tejido y en las interacciones especies por edades, especies por tipo de tejido, mientras que en las interacciones edades por tipo de tejido y en la interacción especies por interacción especies por edades por tipo de tejido no existe diferencia estadísticamente ( $p>0,05$ ).

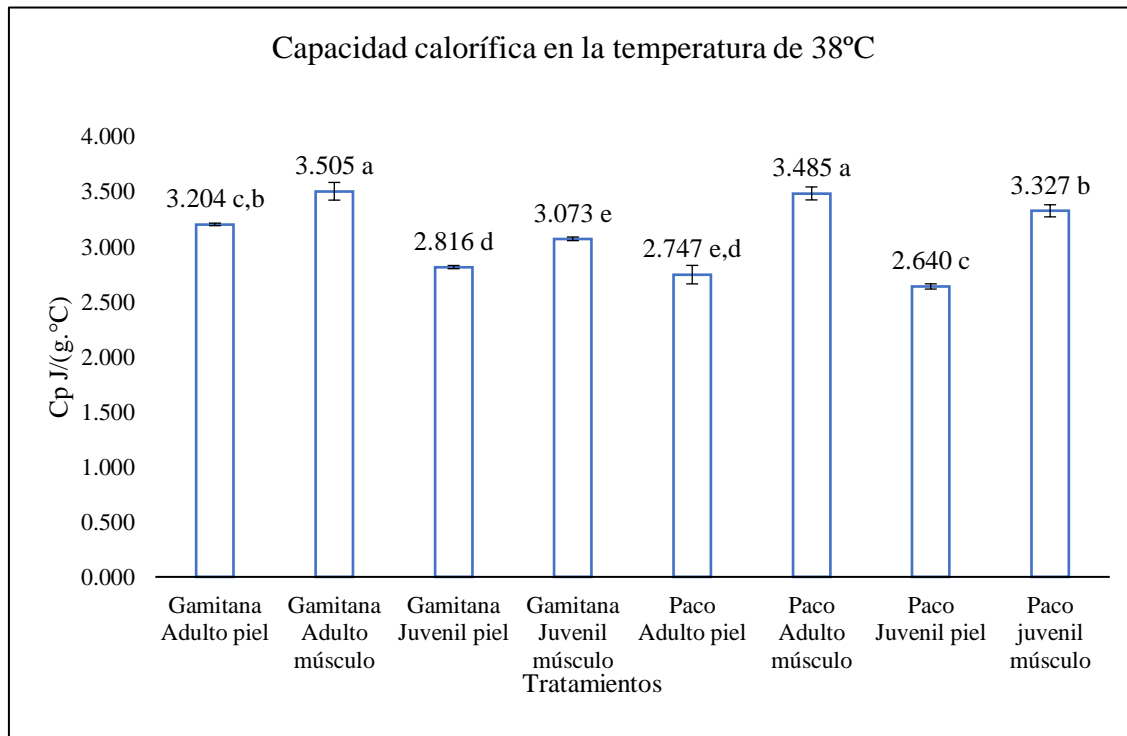
La capacidad calorífica en 38°C muestra que existió diferencia altamente significativa ( $p<0,05$ ) (Anexo 1, tabla 19) en especies, edades, tipo de tejido y en las interacciones especies por edades, especies por tipo de tejido, mientras que en las interacciones edades por tipo de tejido y en la interacción especies por edades por tipo de tejido no existe diferencia estadísticamente ( $p>0,05$ ).



**Figura 22.** Variación de la capacidad calorífica en la piel y músculo de las especies paco y gamitana en las edades de juvenil y adulto, en la temperatura de 5°C.



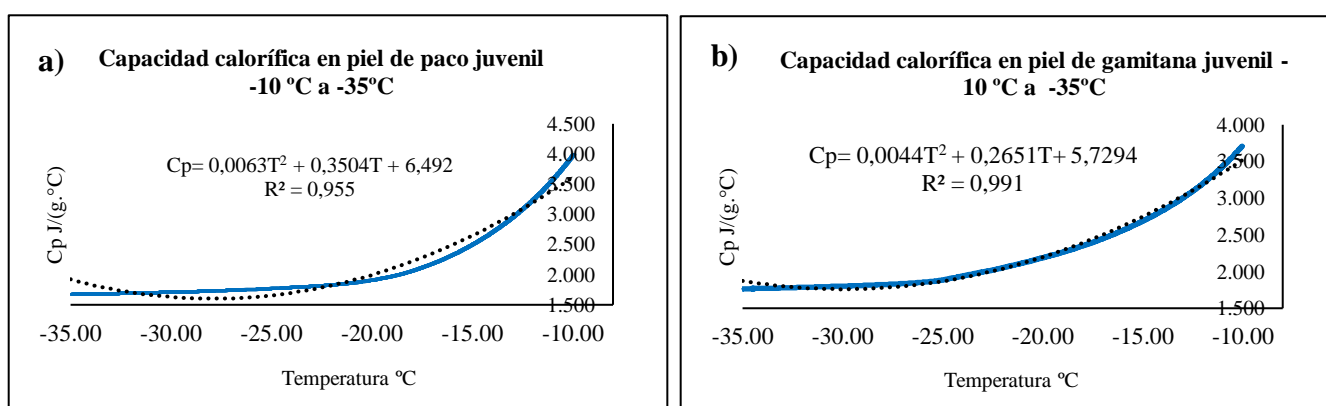
**Figura 23.** Variación de la capacidad calorífica en la piel y músculo de las especies paco y gamitana en las edades de juvenil y adulto, en la temperatura de 20°C.



**Figura 24.** Variación de la capacidad calorífica en la piel y músculo de las especies paco y gamitana en las edades de juvenil y adulto, en la temperatura de 38°C.

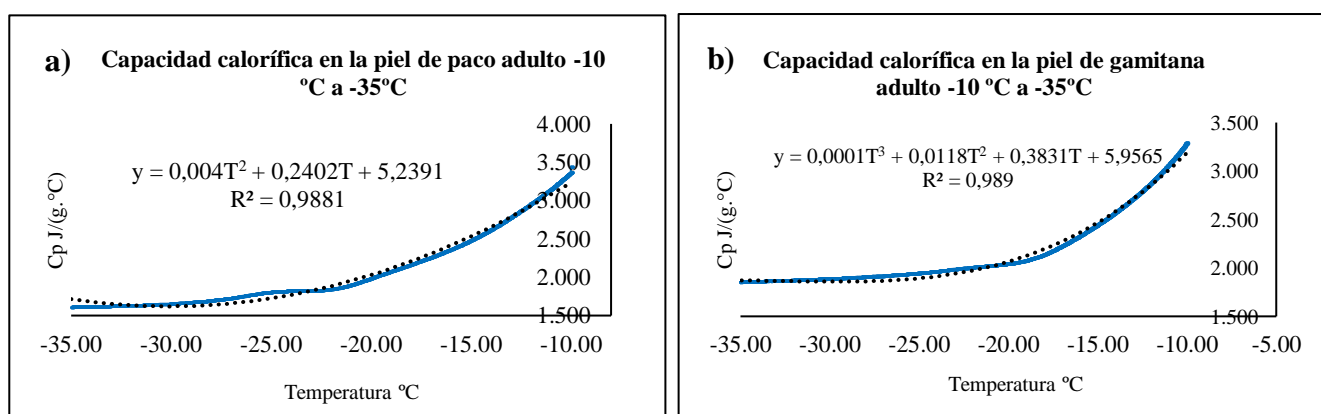
### 3.2.2. Capacidad calorífica en el intervalo de las temperaturas de -10°C a -35°C en la piel y músculo del Paco y Gamitana en la edad juvenil y adulto.

En la Figura 25 se muestran las curvas de la capacidad calorífica de la piel de paco y gamitana en la edad juvenil en el rango de temperaturas de -10°C a -35°C, del cual se obtiene una ecuación polinomial de grado 2 con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,955 para la piel de paco y en gamitana con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,991.



**Figura 25.** Curvas de capacidad calorífica en función de la temperatura de -10°C a -35°C en la piel del paco y gamitana juvenil.

Obteniendo como resultado la capacidad calorífica en la piel de paco juvenil en las temperaturas de -35°C 1,673J/ g. °C y en -10°C 4,007 J/ g. °C y gamitana juvenil -35°C 1,719 J/ g. °C y en -10°C 3,719 J/ g °C.



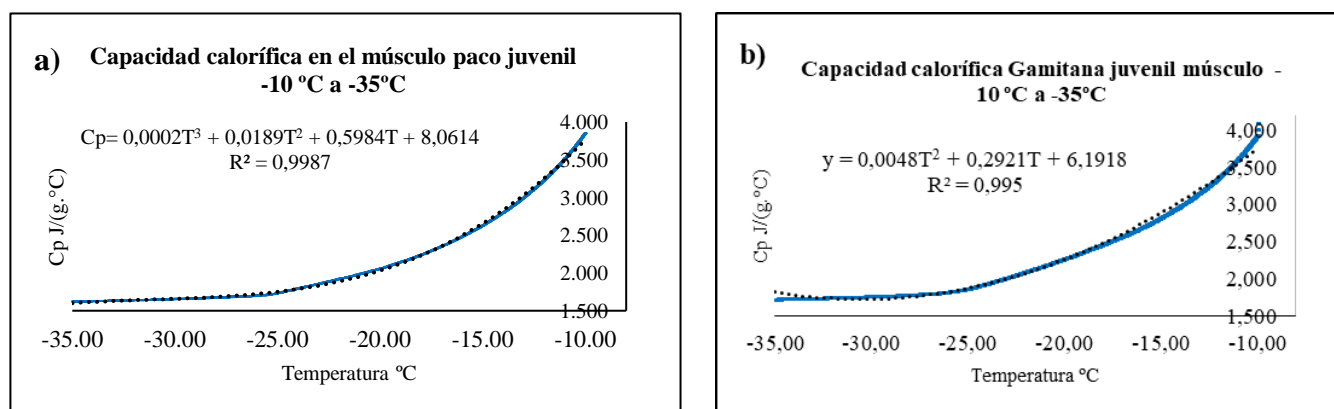
**Figura 26.** Curvas de capacidad calorífica en función de la temperatura de -10°C a -35°C en la piel del paco y gamitana adulto.

En la Figura 26 las curvas de la capacidad calorífica de la piel en paco y gamitana en la edad de adulto, se determinaron valores como resultado la capacidad calorífica en

paco en las temperaturas de  $-35^{\circ}\text{C}$   $1,606 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$  y en  $-10^{\circ}\text{C}$   $3,373 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$  y en gamitana  $-35^{\circ}\text{C}$   $1,845 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$  y en  $-10^{\circ}\text{C}$   $3,285 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ .

Como se observa en las Figuras 25, 26 la curva de variación de la capacidad calorífica en función a la temperatura en el rango  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $-35^{\circ}\text{C}$ . Dado que la capacidad calorífica es constante manteniéndose en  $2 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$  en la temperaturas de  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $-35^{\circ}\text{C}$ . Cabe señalar que la piel de juvenil y adulto tiene una humedad desde  $60\%$  a  $67\%$ .

Tavman et al.(2007), en su investigación sobre productos cárnicos congelados tiene como resultado en carne molida con una humedad de  $64,39\%$  a la temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  con  $2,199 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$  y en  $-10^{\circ}\text{C}$  con  $4,946 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ; carne de pavo picado con una humedad  $69,64\%$  a la temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  con  $1,984 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$  a  $-10^{\circ}\text{C}$  con  $4,384 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ; Salchicha de pavo con una humedad de  $67,38\%$  a la temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  con  $2,194 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ;  $-10^{\circ}\text{C}$  con  $4,384 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 27.** Curvas de capacidad calorífica en función de la temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $-35^{\circ}\text{C}$  en el músculo del paco y gamitana adulto.

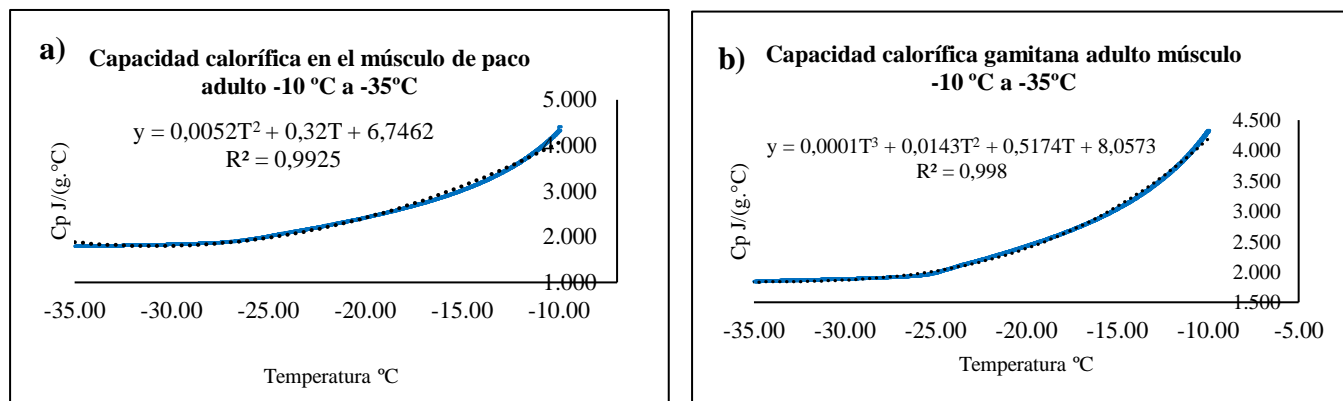
En la Figura 27 se muestran las curvas de la capacidad calorífica del músculo de paco y gamitana en la edad de juvenil en el rango de temperaturas de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $-35^{\circ}\text{C}$ , del cual se obtiene una ecuación polinomial de grado 2 y 3 con un coeficiente de determinación  $R^2$  de  $0,998$  para el paco y gamitana con un coeficiente de determinación  $R^2$  de  $0,995$ .

Obteniendo como resultado Figura 27 la capacidad calorífica en la temperatura de  $-35^{\circ}\text{C}$  con  $1,618 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$  y en  $-10^{\circ}\text{C}$  con  $3,850 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ . Para la gamitana se determinaron valores de  $1,762 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$  y  $3,934 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ , para las temperaturas de  $-35^{\circ}\text{C}$  y  $-10^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

En la Figura 28 se muestran las curvas de la capacidad calorífica del músculo de paco y gamitana en la edad de adulto en el rango de temperaturas de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $-35^{\circ}\text{C}$ , del cual se obtiene una ecuación polinomial de grado 2 y 3 con un coeficiente de determinación  $R^2$  de  $0,992$  para el paco y gamitana con un coeficiente de determinación  $R^2$  de  $0,998$ .



Como resultado la capacidad calorífica en la temperatura de  $-35^{\circ}\text{C}$  con  $1,783 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  y en  $-10^{\circ}\text{C}$  con  $4,337 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ . Para gamitana se determinaron valores de  $1,853 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  y  $4,325 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ , para las temperaturas de  $-35^{\circ}\text{C}$  y  $-10^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.



**Figura 28.** Curvas de capacidad calorífica en función de la temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $-35^{\circ}\text{C}$  en el músculo de paco y gamitana adulto.

Se realizó un análisis de varianza con el objetivo de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en la capacidad calorífica, con respecto a los intervalos de las temperaturas  $-35$  y  $-10^{\circ}\text{C}$  en el tejido de piel y músculo, de las especies en la edad de juvenil y adulto. A continuación se muestra la tabla con los datos promedios encontrados.

**Tabla 9**

*Datos promedio de la capacidad calorífica en la piel y músculo en los intervalos de las temperaturas de  $-35^{\circ}\text{C}$ ;  $-10^{\circ}\text{C}$  en las especies de gamitana y paco en las edades juvenil y adulto.*

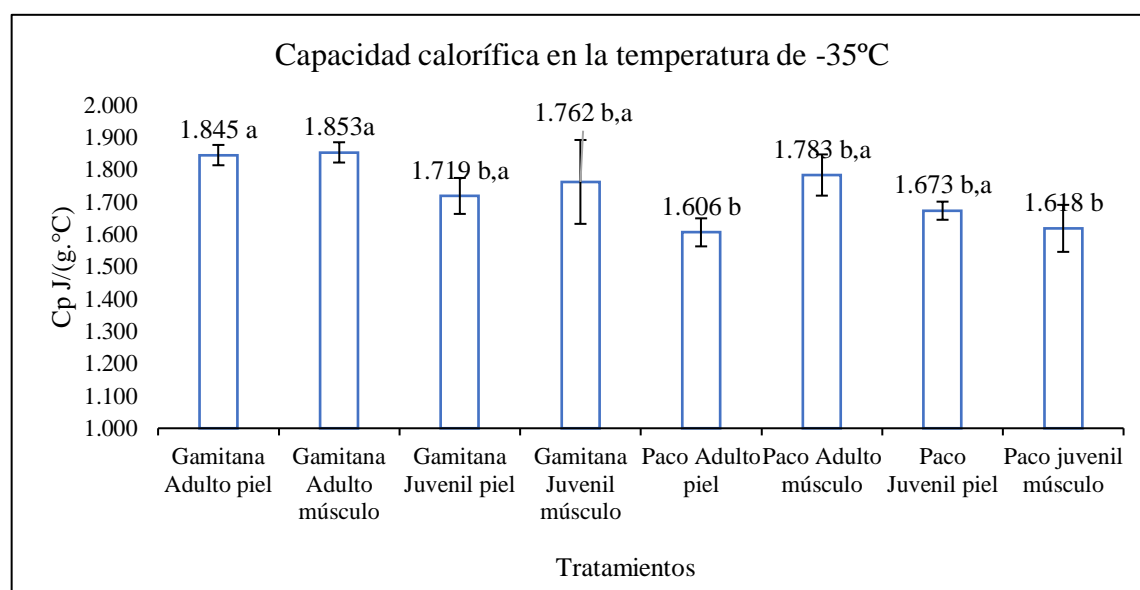
Especie	Edad	Tipo de tejido	$-35^{\circ}\text{C}$	$-10^{\circ}\text{C}$
Gamitana	Juvenil	Piel	$1,719^{b,a} \pm 0,06$	$3,7197^{b,c} \pm 0,16$
		Músculo	$1,762^{b,a} \pm 0,13$	$3,9340^{b,a} \pm 0,15$
	Adulto	Piel	$1,845^a \pm 0,03$	$3,2853^c \pm 0,03$
		Músculo	$1,853^a \pm 0,03$	$4,325^a \pm 0,07$
Paco	Juvenil	Piel	$1,673^{b,a} \pm 0,03$	$4,0073^{b,a} \pm 0,32$
		Músculo	$1,618^b \pm 0,07$	$3,8503^b \pm 0,03$
	Adulto	Piel	$1,606^b \pm 0,04$	$3,3733^c \pm 0,13$
		Músculo	$1,783^{b,a} \pm 0,06$	$4,3370^a \pm 0,16$

Medias con diferente letra son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ )

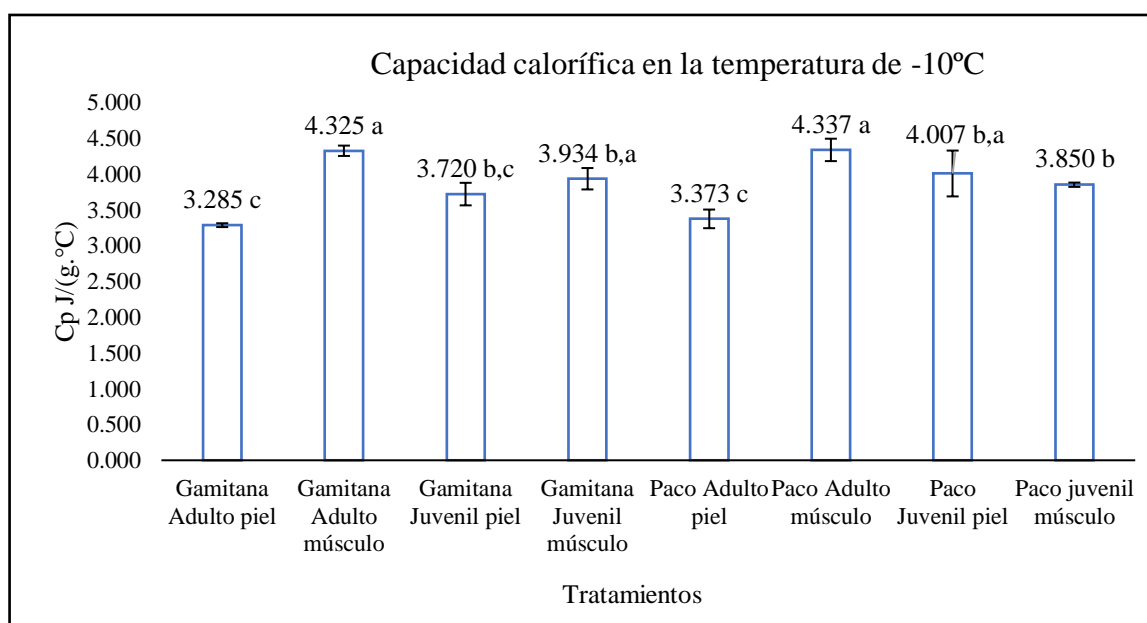
Se observa en la tabla 21 (Anexo 1), la diferencia de la capacidad calorífica en  $-35^{\circ}\text{C}$  son altamente significativos ( $p < 0,05$ ) con respecto a las especies, edades. Sin

embargo en el tipo de tejido, interacción especies por edades, especies por tipo de tejido, edades por tipo de tejido no existe diferencia significativa ( $p>0,05$ ). Solo en la interacción especies por edades por tipo de tejido existe diferencia significativa.

De igual modo la diferencia de la capacidad calorífica en  $-10^{\circ}\text{C}$  muestran una diferencia altamente significativa ( $p<0,05$ ) (Anexo 1, tabla 23) en el tipo de tejido y en las interacciones edades por tipo de tejido. Sin embargo no existe diferencia estadísticamente ( $p>0,05$ ) en las especies, edades, especies por edades, especies por tipo de tejido y la interacción especies por edades por tipo de tejido.



**Figura 29.** Variación de la capacidad calorífica en la piel y músculo de las especies paco y gamitana en las edades de juvenil y adulto, en la temperatura de  $-35^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 30.** Variación de la capacidad calorífica en la piel y músculo de las especies paco y gamitana en las edades de juvenil y adulto, en la temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$ .

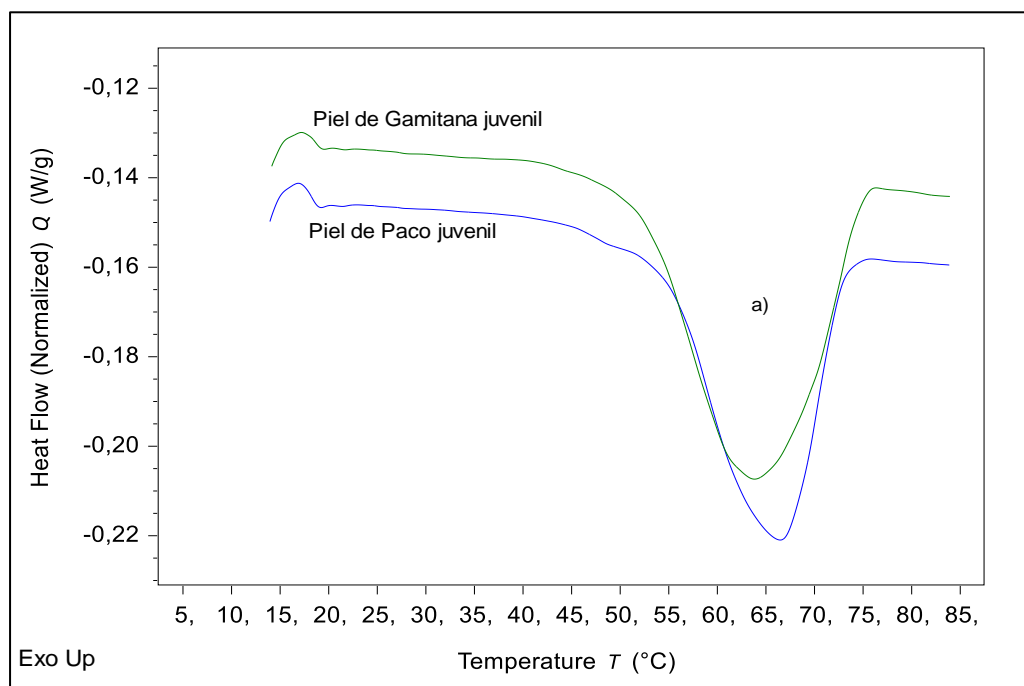
### 3.3. Determinación de la influencia del tipo de tejido (piel y músculo), de la edad (juvenil y adulto) y la especie (paco y gamitana), en la temperatura de desnaturalización y entalpía de desnaturalización.

Se determinó la influencia del tipo de tejido en piel y músculo en la temperatura de desnaturalización y entalpía de desnaturalización. Los termogramas obtenidos mediante el equipo de DSC (Differential Scanning Calorimeter) en función de la temperatura de 10 °C a 90 °C. Se muestran en las Figuras 31, 32, 33, 34 agrupadas en piel de juvenil y adulto, así como de músculo juvenil y adulto correspondientes al componente proteico principal que contienen, tal como (miosina, proteínas sarcoplásmicas, colágeno y actina).

#### 3.3.1. Influencia de la especie y edad en la temperatura y entalpía de desnaturalización de la piel de Gamitana y Paco.

En la Figura 31 se observa el termograma de piel de gamitana y paco en el estado juvenil. El comportamiento térmico que presenta la piel de gamitana analizada en prerigor obtuvo una reacción endotérmica de un solo pico que se encuentra presente la proteína del colágeno donde la  $T^{\circ}$  onset promedio es de 51,86 °C, con peak temperature de 67,65 °C y una entalpía de desnaturalización de 21,95 J/g.

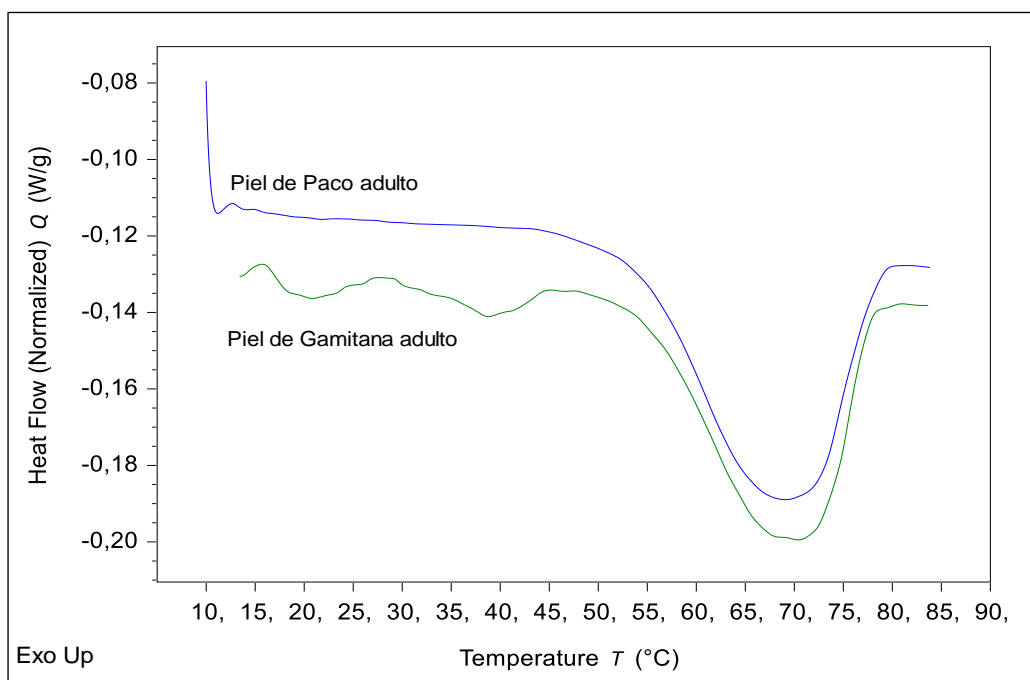
Por otro lado la piel de paco obtuvo una reacción endotérmica con una  $T^{\circ}$  onset promedio de 53,81 °C, peak temperature promedio de 66,13°C y con una entalpía de desnaturalización promedio de 14,81 J/g.



**Figura 31.** Termograma del tejido de la piel en las especies de gamitana y paco en la edad juvenil en el proceso de desnaturalización de las proteínas.

Las temperaturas de desnaturalización obtenidas en esta investigación son similares a los resultados de Larrea et al (2015), quienes obtienen resultados de temperatura de desnaturalización del colágeno de 62,9 °C en músculo de pescado. Por otra parte una nueva transición con una temperatura máxima de aproximadamente 67 °C se ha atribuido a la desnaturalización de proteínas sacroplásmicas y / o colágenas (Wright et al., 1977; Stabusvik y Martens, 1980).

Para el caso de la piel de gamitana adulto Figura 32 se obtuvo en la  $T^{\circ}$  onset promedio es de 55,62 °C, con peak temperature de 70,71 °C y una entalpía de desnaturalización de 19,44 J/g. De igual manera en la piel de paco adulto su  $T^{\circ}$  onset promedio es de 54,19 °C, con peak temperature de 68,41 °C y una entalpía de desnaturalización de 21,31 J/g.



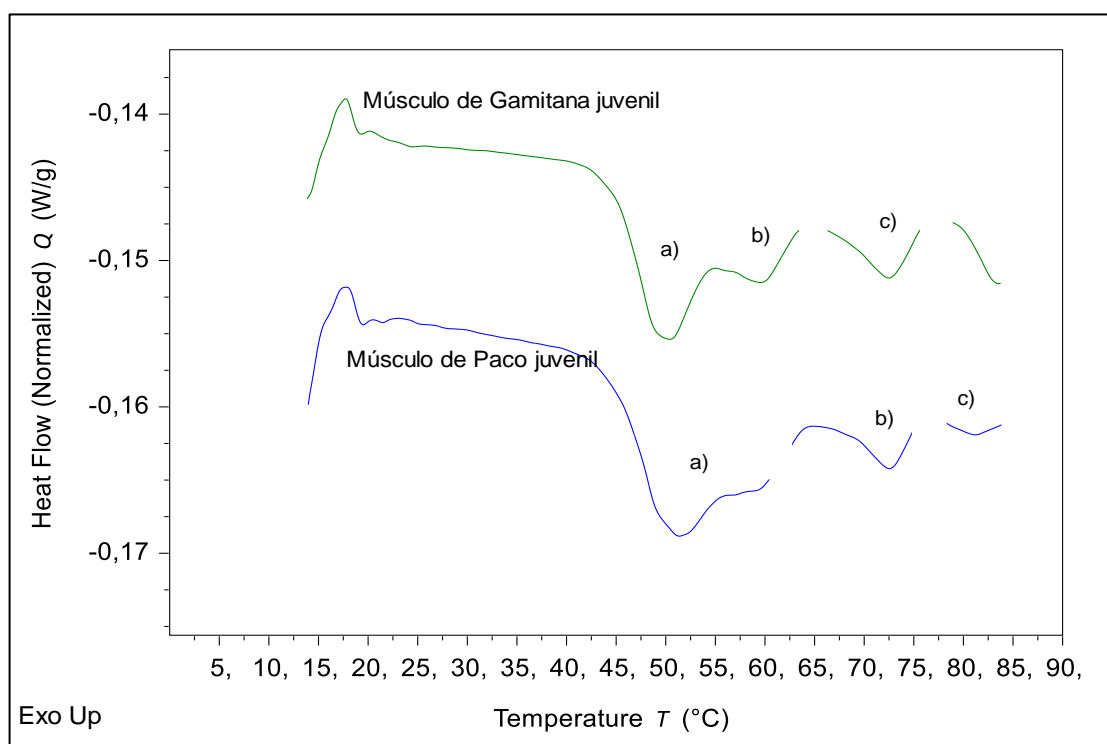
**Figura 32.** Termograma del tejido de la piel en las especies de gamitana y paco en la edad juvenil en el proceso de desnaturalización de las proteínas.

Para datos reportados de piel de tilapia la desnaturalización del colágeno empieza en 37,33 °C Potaros et al. (2009). Sin embargo Poulter et al. (1985), reportan la temperatura de desnaturalización del colágeno de tilapia  $T^{\circ}$  inicial en 57°C similar a los valores encontrados para el colágeno del tejido conectivo intramuscular de cerdo  $T^{\circ}$  inicial de 59°C y conejo  $T^{\circ}$  de inicial 58°C.

Mientras que Serrano (2011) menciona que la piel de cachama presenta un mayor contenido de grasa y de hidroxiprolina que la piel de tilapia, características que hacen más elástica y resistente a los tratamientos del proceso. Cabe recalcar que en los termogramas (figura 31 y 32) la temperatura de desnaturalización inicial se alcanza a partir de los 50 °C. La cantidad de aminoácidos, presentes especialmente la hidroxiprolina, depende del medio ambiente y temperatura ambiental en la que vive el pez y afecta la estabilidad térmica de los colágenos (Balian & Bowes, 1977; Kimura et al., 1988; Rigby, 1968).

### 3.3.2. Influencia de la temperatura desnaturalización y entalpía de desnaturalización en el músculo de gamitana y paco en la edad juvenil y adulto.

En la Figura 33 se muestra el comportamiento térmico de los músculos de gamitana y paco juvenil medidos con DSC. Se obtuvo tres regiones, correspondientes al componente proteico principal, donde se identifica a la miosina, proteínas sarcoplasmáticas y actina.



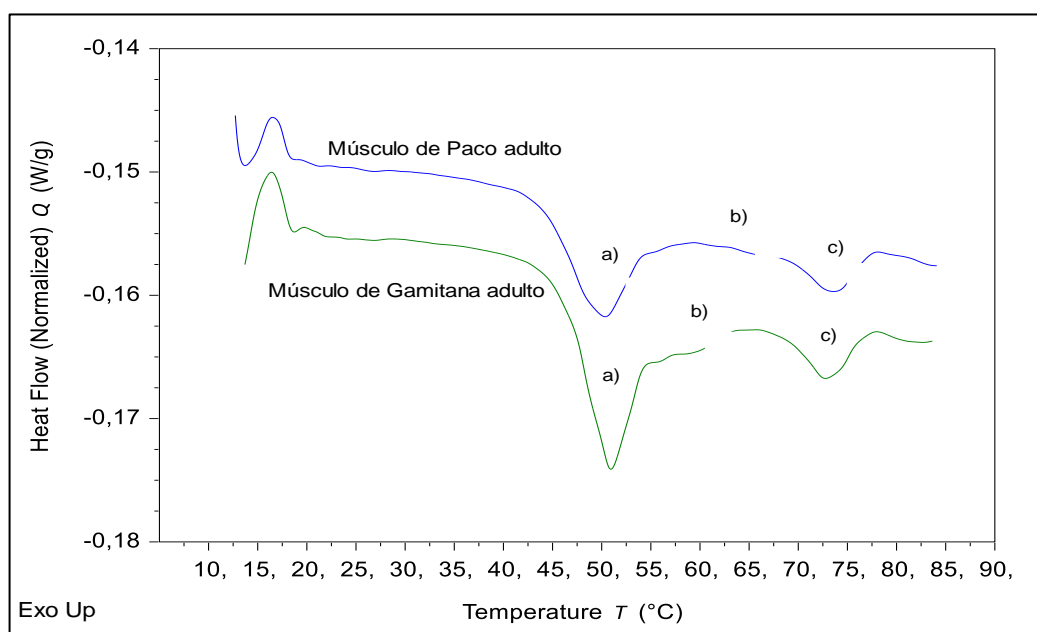
**Figura 33.** Termograma del tejido músculo en las especies de gamitana y paco en la edad juvenil en el proceso de desnaturalización de las proteínas.

El termograma del músculo de gamitana juvenil exhibió tres picos donde la primera se debe a la miosina (49,97°C;  $\Delta H_d$  0,78 J/g), el segundo pico corresponde a la desnaturalización de las proteínas sarcoplasmáticas (64,64°C;  $\Delta H_d$  0,21J/g), el tercer pico se atribuye a la actina (73,45°C;  $\Delta H_d$  0,31 J/g).

Por otro lado, en el músculo del paco se tienen hasta cuatro transiciones endotérmicas. La primera corresponde a la desnaturalización de la miosina ( $51,05^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd}$   $1,54\text{ J/g}$ ), que muestra un pico mas amplio que se puede atribuir también a las proteínas sarcoplasmáticas, la segunda transición se atribuye a las proteínas sarcoplasmáticas ( $72,67^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd}$   $0,35\text{J/g}$ ), y la tercera transición corresponde a la actina ( $83,63^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd}$   $0,05\text{J/g}$ ).

Thorarinsdottir et al. (2002) determinaron en el músculo de bacalao fresco, la temperatura de desnaturalización máxima de la miosina a  $43,5^{\circ}\text{C}$ , para la actina como  $73,6^{\circ}\text{C}$  y para las proteínas sarcoplasmáticas como  $59,3^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

Poulter et al. (2007) mencionan en su investigación que no es sorprendente que no se observe ningún pico debido a la desnaturalización del colágeno en músculo ya que el colágeno solo constituye aproximadamente el 5% de la proteína total presente y para un análisis DSC típico, solo se estudia 10 mg de músculo, la concentración del colágeno es de aproximadamente 0,1 mg, que al desnaturalizarse absorbe tan poca energía que no se detecta fácilmente en los complejos termogramas generados. Así todos los picos que se ven en un termograma muscular típico se deben principalmente a transiciones que involucran miosina, actina y posiblemente proteínas sarcoplásmicas.



**Figura 34.** Termograma del tejido músculo en las especies de gamitana y paco en la edad adulto en el proceso de desnaturalización de las proteínas.

En la Figura 34 se muestra el termograma del músculo de gamitana adulto. Puede verse un primer pico que corresponde a la miosina ( $50,69^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd}$   $0,98\text{J/g}$ ), el segundo

pico se debe a la desnaturalización de las proteínas sarcoplasmáticas (60,02°C;  $\Delta H_d$  0,03J/g), el tercer pico se atribuye a la actina (72,95°C;  $\Delta H$  0,36 J/g).

De igual forma, para el músculo del paco (Figura 34) se tienen tres transiciones endotérmicas. El primero corresponde a la desnaturalización de la miosina (50,25°C;  $\Delta H_d$  1,22 J/g), la segunda transición se atribuye a las proteínas sarcoplasmáticas (64,07°C;  $\Delta H_d$  0,05 J/g), y la tercera transición a la actina (72,98 °C;  $\Delta H_d$  0,39J/g).

Wright et al. (1977) determinaron en el músculo de conejo, la temperatura de desnaturalización máxima de la miosina a 60 °C, para las proteínas sarcoplasmáticas fue 67 °C y para actina de 80 °C.

Connell (1961) demostró que las miosinas de músculos de peces son térmicamente menos estables que las de mamíferos. Hastings et al. (1985), indican que la estabilidad de las miosinas de diferentes especies de peces está relacionada a la temperatura ambiental a la que viven los peces.

Howell et al. (2007) concluyeron en su investigación que las miosinas de los peces tropicales son más estables que las de los peces de agua fría, durante el almacenamiento en hielo o congelado. Tales diferencias de estabilidad son potencialmente importantes en el procesamiento y almacenamiento.

Se realizó un análisis de varianza con el objetivo de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre especies en la edad de juvenil y adulto con respecto a cada proteína su temperatura onset, peak temperatura, temperatura endset y entalpía.

**Tabla 10**

*Datos promedios de la desnaturalización de las proteínas en la piel de la gamitana (Colossoma macropomum) y paco (Piaractus brachypomus) en las edades juvenil y adulto.*

Especie	Edad	T° Onset (°C)	Peak temperature (°C)	T° endset (°C)	$\Delta H(J/g)$ colágeno
Gamitana	Juvenil	51,86 <sup>b</sup> ± 0,08	67,65 <sup>c,b</sup> ± 1,20	76,19 <sup>b</sup> ± 0,49	21,95 <sup>a</sup> ± 1,87
	Adulto	55,62 <sup>a</sup> ± 0,52	70,71 <sup>a</sup> ± 0,36	80,64 <sup>a</sup> ± 1,60	19,44 <sup>a</sup> ± 0,29
Paco	Juvenil	53,81 <sup>b,a</sup> ± 1,28	66,13 <sup>b</sup> ± 0,28	75,34 <sup>b</sup> ± 0,97	14,81 <sup>b</sup> ± 0,61
	Adulto	54,19 <sup>a</sup> ± 0,84	68,41 <sup>b</sup> ± 0,37	81,48 <sup>a</sup> ± 1,19	21,31 <sup>a</sup> ± 0,81

Los resultados se muestran como medias ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de la misma columna indican que los valores medios difieren significativamente (P <0,05).

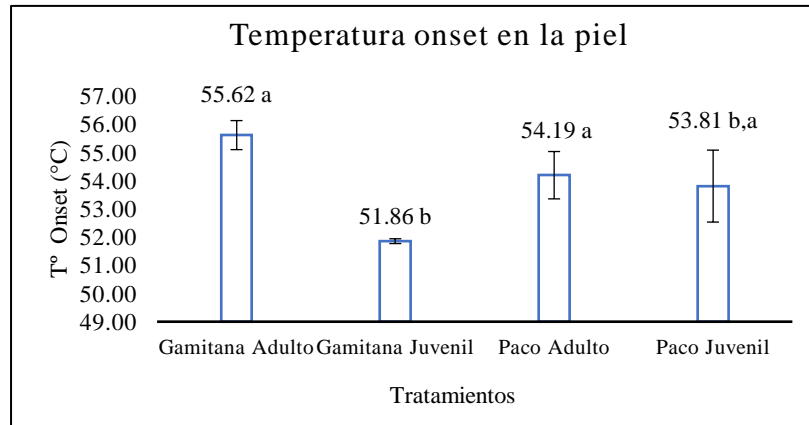
La temperatura onset en la proteína colágeno de la piel de gamitana y paco en las edades de juvenil y adulto presentó diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) (Anexo 3, tabla 25) en las edades y en la interacción especies por edades, mientras que no existió diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre las especies.

En la peak temperature de la proteína colágeno de la piel muestra que existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) (Anexo 3, tabla 27) en las especies y edades. Mientras que no existió diferencia significativa en la interacción especies por edades.

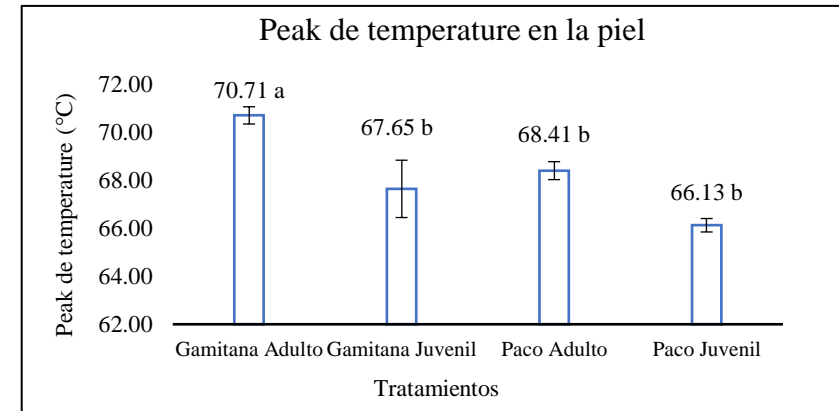
De igual manera, para la temperatura final (Endset) no existió diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) en especies y en la interacción especies por edades. Lo contrario ocurre para las edades que si presentaron diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ) (Anexo 3, tabla 29).

Finalmente la entalpía de desnaturalización de la proteína colágeno de la piel muestra que existe diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ) (Anexo 3, tabla 31) en la interacción especies por edades. Sin embargo presenta una diferencia significativa en las edades y especies.

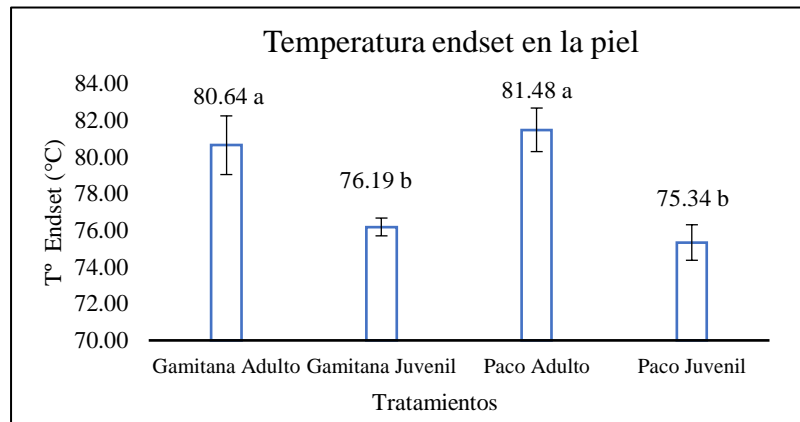




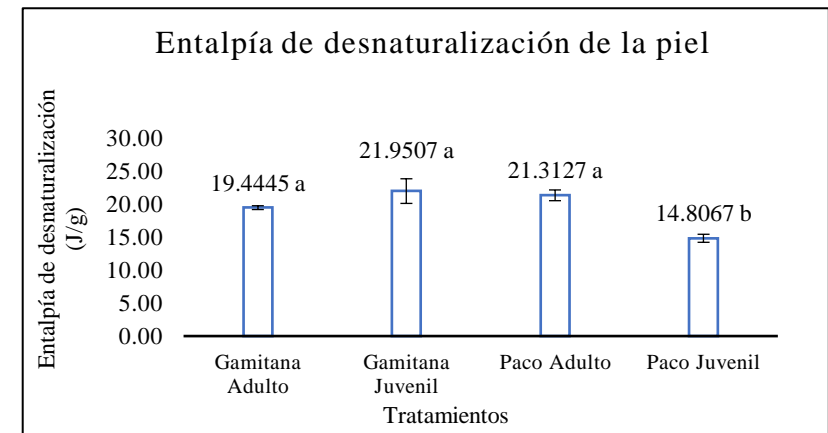
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 35.** Variación de la temperatura de desnaturalización en la piel de las especies paco y gamitana a diferentes edades; (a) Temperatura Onset, (b) Temperatura máxima (peak temperatura), (c) Temperatura Endset y (d) Entalpía de desnaturalización.

**Tabla 11**

*Datos promedios obtenidos de la desnaturalización de la miosina en el músculo gamitana (*Colossoma macropomum*) y paco (*Piaractus brachypomus*) en las edades juvenil y adulto.*

<b>Especie</b>	<b>Edad</b>	<b>T° Onset (°C)</b>	<b>Peak temperature (°C)</b>	<b>T° endset (°C)</b>	<b>ΔH(J/g) miosina</b>
Gamitana	Juvenil	46,09 <sup>b,a</sup> ± 0,57	49,97 <sup>b</sup> ± 0,36	54,67 <sup>b</sup> ± 0,06	0,78 <sup>d</sup> ± 0,02
	Adulto	46,67 <sup>a</sup> ± 0,24	50,69 <sup>b,a</sup> ± 0,46	54,25 <sup>b</sup> ± 0,91	0,98 <sup>c</sup> ± 0,01
Paco	Juvenil	45,38 <sup>b,c</sup> ± 0,08	51,05 <sup>a</sup> ± 0,34	62,70 <sup>a</sup> ± 1,41	1,54 <sup>a</sup> ± 0,07
	Adulto	44,96 <sup>c</sup> ± 0,35	50,25 <sup>b,a</sup> ± 0,21	55,54 <sup>b</sup> ± 1,06	1,22 <sup>b</sup> ± 0,01

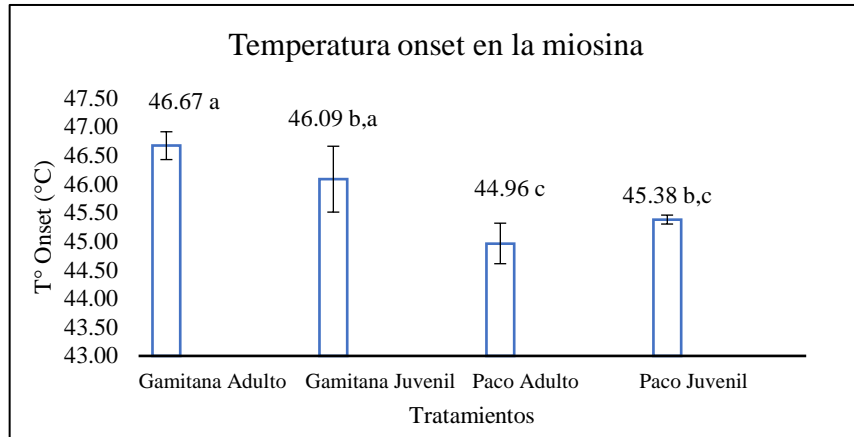
Los resultados se muestran como medias ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de la misma columna indican que los valores medios difieren significativamente ( $P < 0.05$ ).

En la tabla 11, se presenta la desnaturalización de la miosina en el músculo de las especies gamitana y paco a diferentes edades. En cuanto a la T° Onset, se observa con respecto a las especies que existe diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ) (Anexo 4, tabla 33), mientras que en las edades no hay diferencia estadística ( $p > 0,05$ ), en cuanto a la interacción de las especies por edades existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

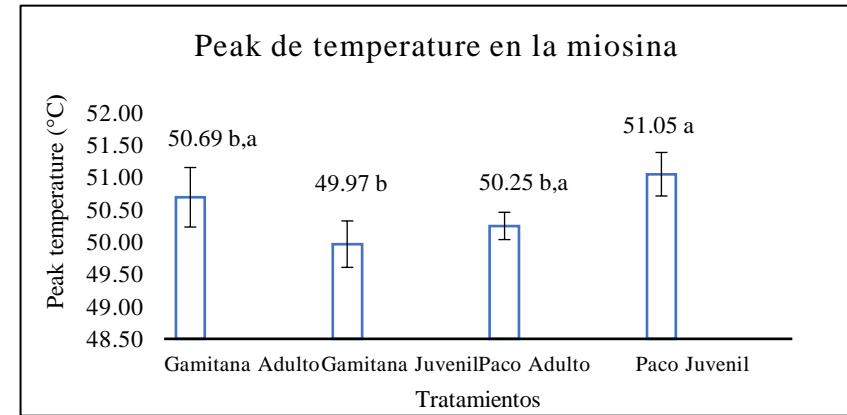
Se observa en la tabla 8, que en Peak temperature estadísticamente no existió diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) con respecto a las especies y edades (Anexo 4, tabla 35) mientras en la interacción especies por edades si existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Para la temperatura final (endset) se muestra que existió diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ) en especies, edades e interacción especies por edades (Anexo 4, tabla 37).

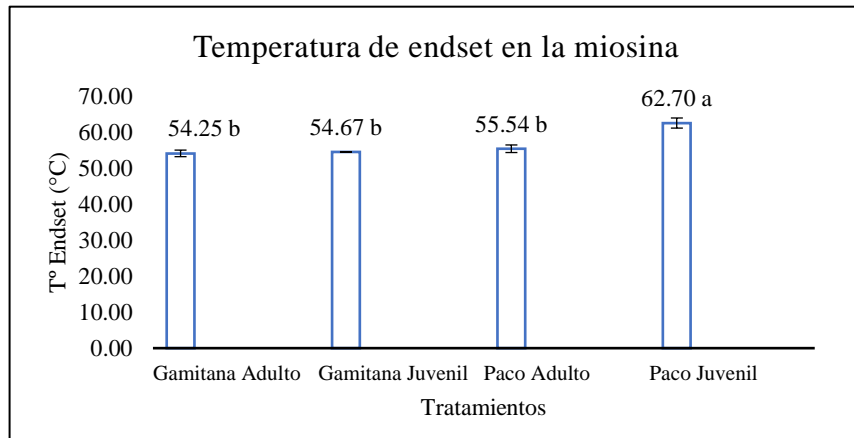
En la entalpía de desnaturalización de la miosina se observa que existe diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ) en las especies y en la interacción especies por edades, mientras en las edades presentó diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) (Anexo 4, tabla 39).



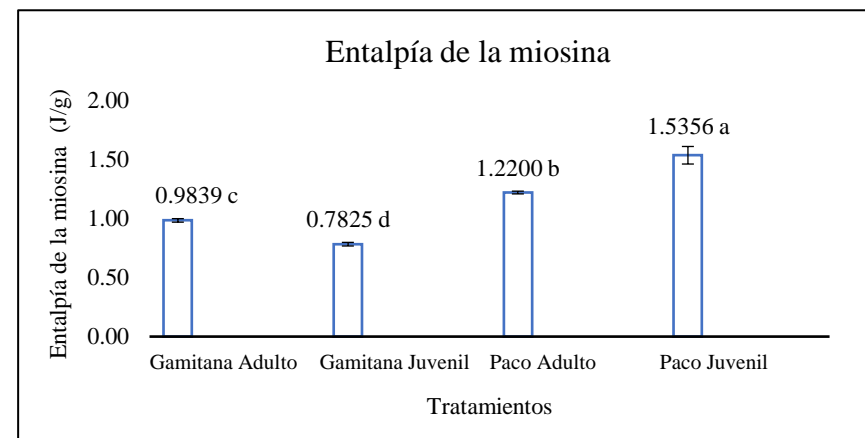
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 36.** Variación de la temperatura de desnaturalización de la miosina en las especies de paco y gamitana a diferentes edades; (a) Temperatura Onset, (b) Temperatura máxima (peak temperatura), (c) Temperatura Endset y (d) Entalpía de desnaturalización.

**Tabla 12**

*Datos promedios obtenidos de la desnaturalización de la proteína sarcoplasmática en el músculo gamitana (*Colossoma macropomum*) y paco (*Piaractus brachypomus*) en las edades juvenil y adulto.*

<b>Especie</b>	<b>Edad</b>	<b>T° Onset (°C)</b>	<b>Peak temperature (°C)</b>	<b>T° endset (°C)</b>	<b>ΔH(J/g) Proteínas sarcoplasmática</b>
Gamitana	Juvenil	56,29 <sup>c</sup> ± 0,80	64,64 <sup>b</sup> ± 1,53	63,94 <sup>c,b</sup> ± 1,99	0,21 <sup>b</sup> ± 0,08
	Adulto	56,79 <sup>c</sup> ± 0,90	60,02 <sup>c</sup> ± 0,11	63,44 <sup>c</sup> ± 0,48	0,03 <sup>c</sup>
Paco	Juvenil	67,93 <sup>a</sup> ± 0,15	72,67 <sup>a</sup> ± 0,10	76,07 <sup>a</sup> ± 0,10	0,35 <sup>a</sup> ± 0,04
	Adulto	62,32 <sup>b</sup> ± 1,26	64,07 <sup>b</sup> ± 1,58	66,81 <sup>b</sup> ± 1,05	0,05 <sup>c</sup> ± 0,03

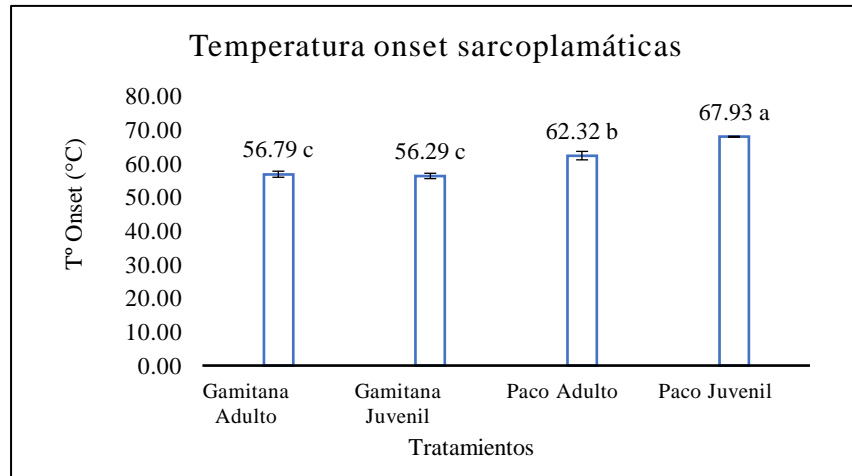
Los resultados se muestran como medias ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de la misma columna indican que los valores medios difieren significativamente ( $P < 0.05$ ).

Se observa en la tabla 12, la desnaturalización de la proteína sarcoplasmática. En la T° onset se muestra altamente significativo ( $p < 0,05$ ) (Anexo 5, tabla 41) en especies y en la interacción especies por edades, mientras en las edades existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

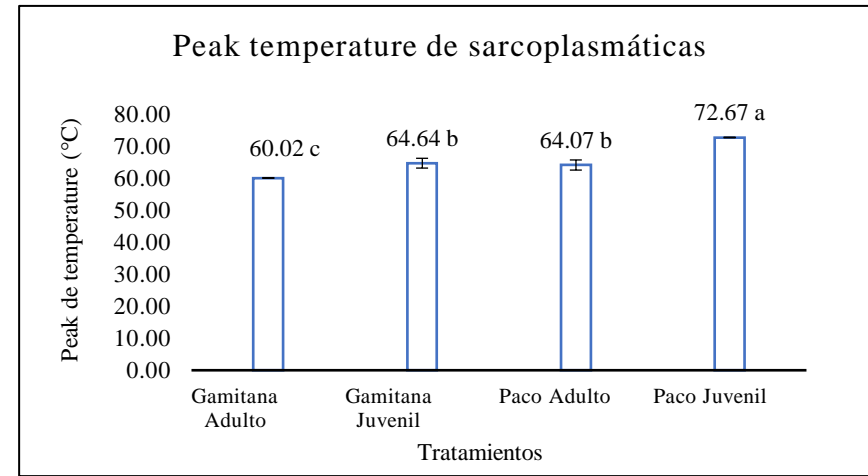
El ANVA para peak temperature se muestra altamente significativo ( $p < 0,05$ ) en las especies y edades. Con respecto a la interacción especies por edades existe una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) (Anexo 5, tabla 43).

De igual manera el ANVA para la temperatura final (endset) (Anexo 5, tabla 45) muestra que existe diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ) en las especies, edades, interacción especies por edades.

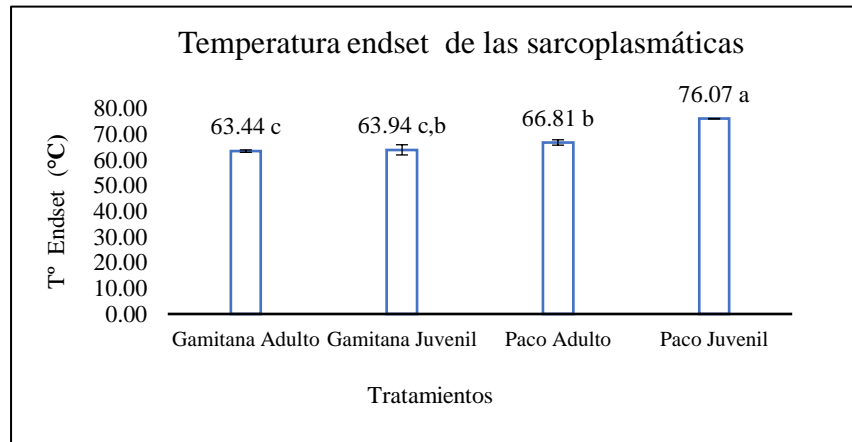
Para la entalpía de desnaturalización muestra que existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) (Anexo 5, tabla 47) en especies, edades. La mayor diferencia se presenta para las edades, mientras que no existe significancia estadística en la interacción especies por edades.



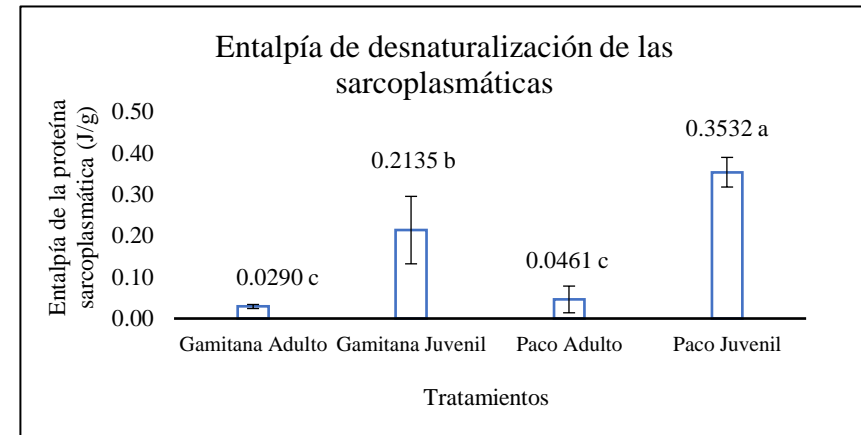
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 37.** Variación de la temperatura de desnaturalización en las proteína sarcoplasmática en las especies de paco y gamitana a diferentes edades; (a) Temperatura Onset, (b) Temperatura máxima (peak temperatura), (c) Temperatura Endset y (d) Entalpía de desnaturalización.

**Tabla 13**

*Datos promedios obtenidos de la desnaturalización de la actina en el músculo gamitana (Colossoma macropomum) y paco (Piaractus brachypomus) en las edades juvenil y adulto.*

<b>Especie</b>	<b>Edad</b>	<b>T° Onset (°C)</b>	<b>Peak temperature (°C)</b>	<b>T° endset (°C)</b>	<b>ΔH(J/g) Actina</b>
Gamitana	Juvenil	70,53 <sup>b</sup> ± 1,05	73,45 <sup>b</sup> ± 0,91	77,47 <sup>b</sup> ± 0,36	0,31 <sup>a</sup> ± 0,07
	Adulto	69,66 <sup>b</sup> ± 0,93	72,95 <sup>b</sup> ± 0,19	77,13 <sup>b</sup> ± 0,74	0,36 <sup>a</sup> ± 0,02
Paco	Juvenil	78,14 <sup>a</sup> ± 1,33	81,41 <sup>a</sup> ± 0,52	83,63 <sup>a</sup> ± 0,09	0,05 <sup>b</sup> ± 0,02
	Adulto	69,18 <sup>b</sup> ± 0,22	72,98 <sup>b</sup> ± 1,36	77,71 <sup>b</sup> ± 0,07	0,39 <sup>a</sup> ± 0,08

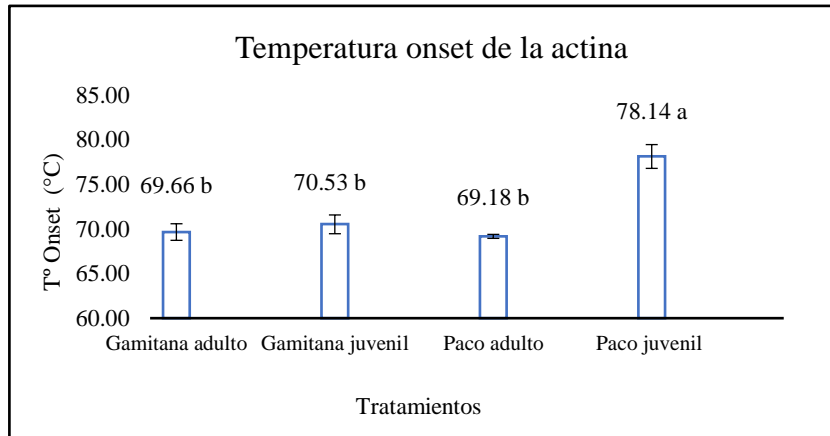
Medias con diferente letra son significativamente diferentes (p<0.05).

La Temperatura inicial (Onset) presentó una diferencia altamente significativa (p<0,05) en especies, edades y en la interacción especies por edades (Anexo 6, tabla 49).

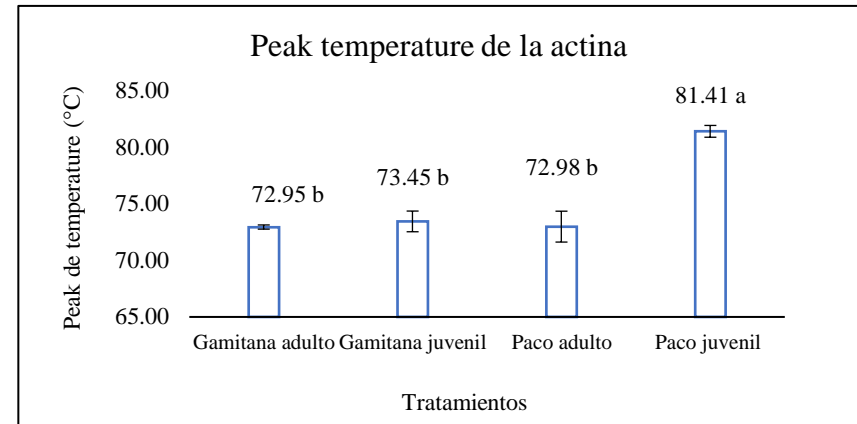
Se observa en la tabla 13, que los promedios de peak temperature son altamente significativos (p<0,05) (Anexo 6, tabla 51) con respecto a las especies, edades y en la interacción especies por edades.

De igual modo la temperatura final (endset) muestra una diferencia altamente significativa (p<0,05) (Anexo 6, tabla 53) en especies, edades y en la interacción especies por edades.

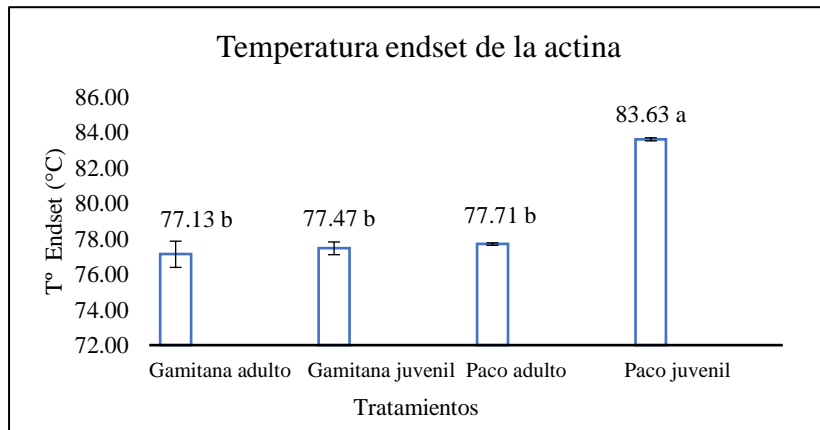
En la entalpía de desnaturalización de la actina muestra que existe diferencia significativa (p<0,05) (Anexo 6, tabla 55) en las especies, edades y en la interacción especies por edades. Sin embargo diferencia altamente significativa se presentó para las edades.



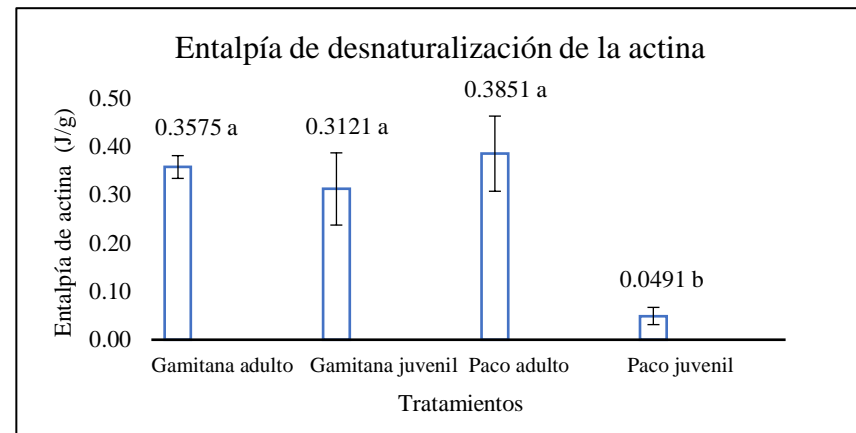
(a)



(b)



(c)



(d)

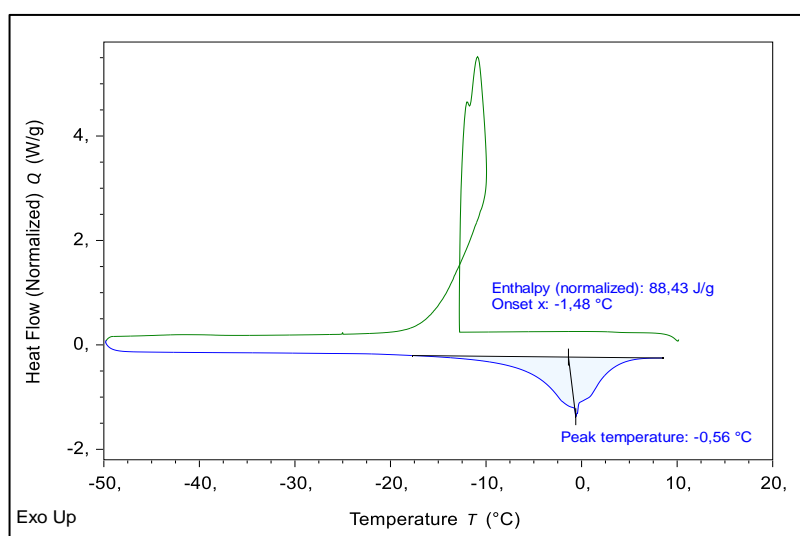
**Figura 38.** Variación de la temperatura de desnaturalización de la miosina en las especies de paco y gamitana a diferentes edades; (a) Temperatura Onset, (b) Temperatura máxima (peak temperatura), (c) Temperatura Endset y (d) Entalpía de desnaturalización.

### 3.4. Determinación de la temperatura congelación y entalpía de congelación en la piel y músculo de la gamitana y paco en la edad de juvenil y adulto.

Para la determinación de la temperatura de congelación y entalpía de congelación de las pieles y músculos de las especies fueron realizadas medidas con DSC en la temperatura de 10 °C hasta -50 °C a una velocidad de 5 °C/min manteniéndose en equilibrio en el punto. Luego se aplicó calentamiento de -50 °C hasta 10 °C a una velocidad de 5 °C/min.

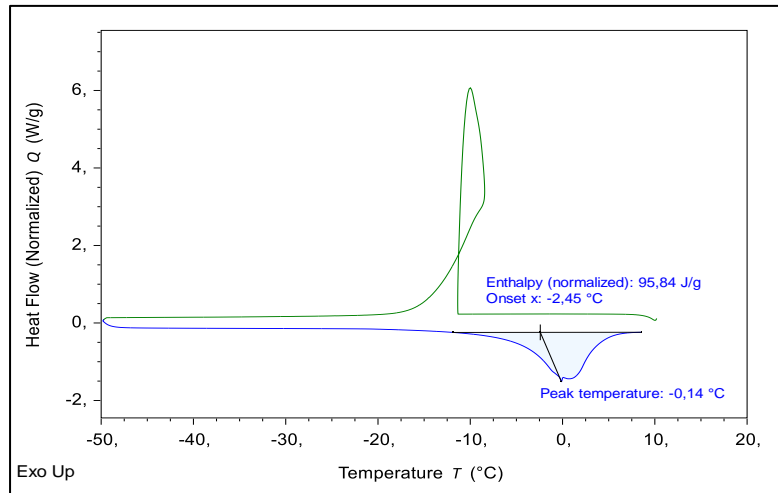
Durante las mediciones de las muestras de pieles y músculos en edades de juvenil y adulto se obtuvo un comportamiento similar, con pequeñas variaciones entre sí. Como se puede observar en todos los termogramas de congelación aparece un exoterma de cristalización durante el enfriamiento a -50 °C. García (2019), hace mención en su investigación, que corresponde a una temperatura inferior a la determinada para la endoterma de fusión, teniendo en cuenta que se requiere un mayor gasto energético para la formación de una estructura altamente ordenada y estable. Afirma también que en muestras con un contenido de humedad de 40% no aparece el pico de cristalización, como las muestras contienen más del 60% de humedad se nota el pico exotérmico. No obstante, en esta investigación la temperatura del punto de congelación (peak temperature), se calculó en la endoterma de fusión que se visualiza durante el calentamiento.

En la Figura 39 se muestra el termograma de la piel de paco juvenil con un punto de congelación a -0,56 °C y una entalpía de congelación de 88,43 J/g.

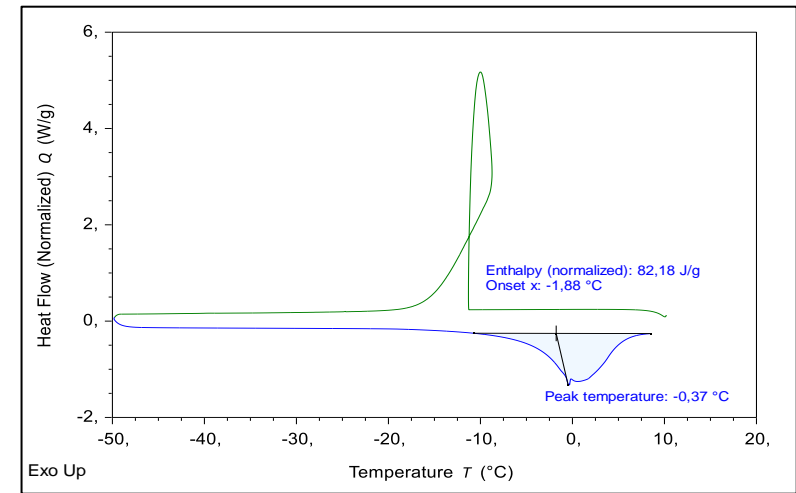


**Figura 39.** Termograma de piel paco juvenil en el DSC

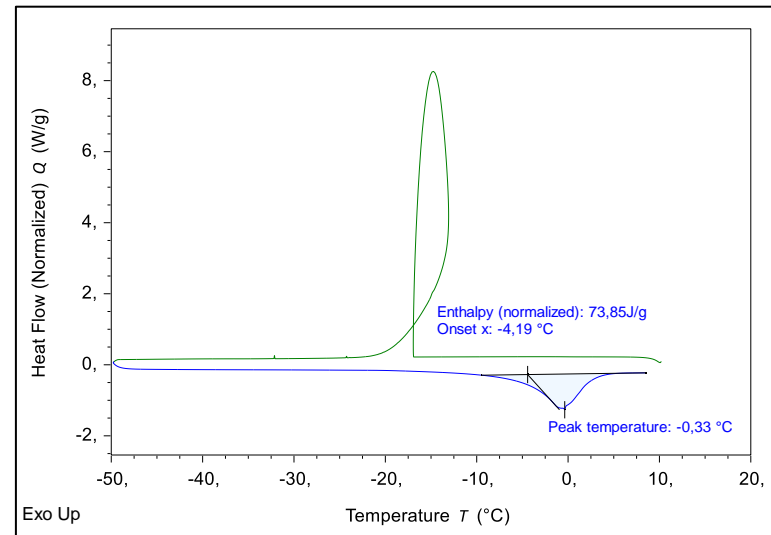




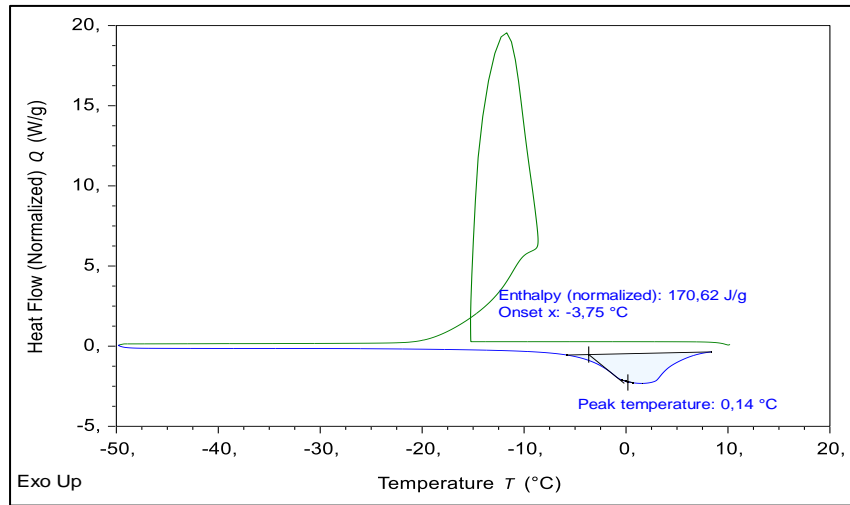
**Figura 40.** Termograma de piel gamitana juvenil en el DSC.



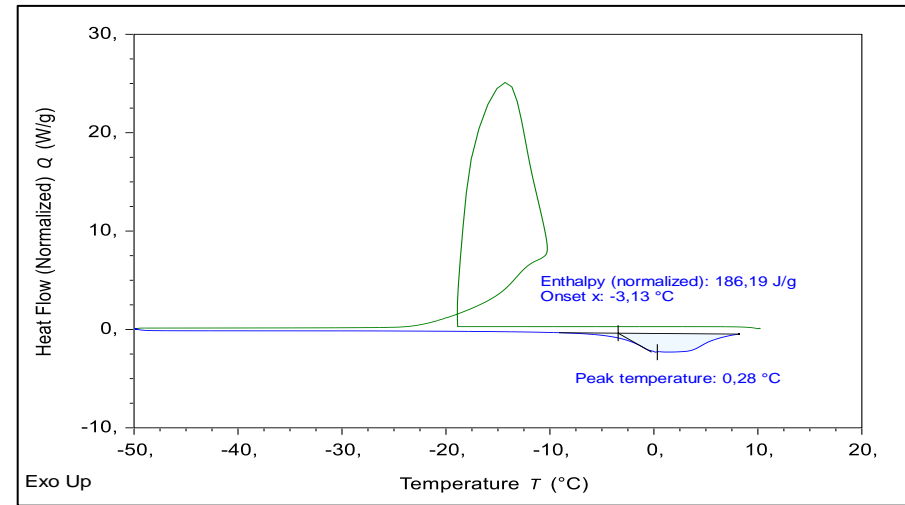
**Figura 41.** Termograma de piel de gamitana adulto en el DSC.



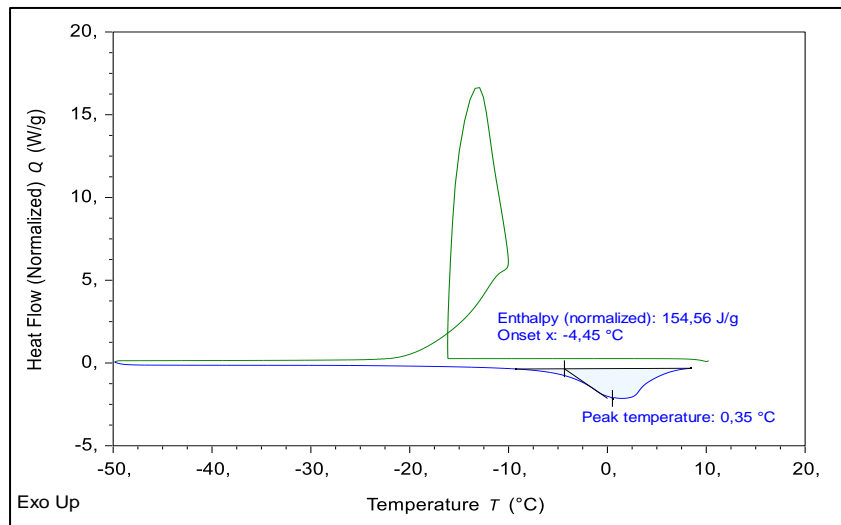
**Figura 42.** Termograma de piel paco adulto en el DSC.



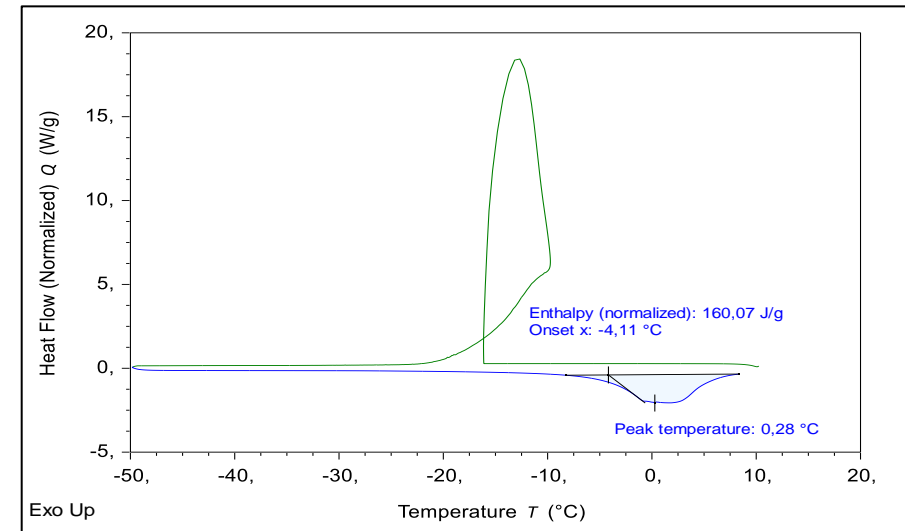
**Figura 43.** Termograma de músculo de gamitana juvenil en el DSC.



**Figura 44.** Termograma de músculo de paco juvenil en el DSC.



**Figura 45.** Termograma de músculo gamitana adulto en el DSC.



**Figura 46.** Termograma de músculo de paco adulto en el DSC.

En las Figuras 40, 41, 42 se muestran los termogramas de la piel de paco y gamitana en la edad de juvenil y adulto donde su punto de congelación y entalpía para la piel de gamitana juvenil es  $-0,14\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $\Delta\text{Hc } 170,62\text{ J/g}$ , para la piel de paco adulto es  $-0,33^{\circ}\text{C}$  y  $\Delta\text{Hc } 73,85\text{ J/g}$  y para la piel de gamitana adulto es  $-0,37^{\circ}\text{C}$  y  $\Delta\text{Hc } 82,18\text{ J/g}$ , respectivamente.

Para las Figuras 43, 44, 45, 46 se muestran los termogramas del músculo de paco y gamitana en la edad de juvenil y adulto. El punto de congelación y entalpía para el músculo de gamitana juvenil es  $0,14\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $\Delta\text{Hc } 170,62\text{ J/g}$ , para el paco juvenil es  $0,28^{\circ}\text{C}$  y  $\Delta\text{Hc } 186,19\text{ J/g}$ . Para paco adulto es  $0,28^{\circ}\text{C}$  y  $\Delta\text{Hc } 160,07\text{ J/g}$ ; en gamitana adulto es  $0,35^{\circ}\text{C}$  y  $\Delta\text{Hc } 154,56\text{ J/g}$ . Por su parte Endo (1989) y Kato (1985), mencionan que el punto de congelación es de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  para peces de agua dulce, de  $-0,5^{\circ}\text{C}$  a  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para peces marinos pelágicos y de  $-1,5^{\circ}\text{C}$  a  $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para peces marinos demersales.

Los datos obtenidos en esta investigación son muy similares a los reportados por Bainy et al (2015), que determinaron que la temperatura de congelación de la hamburguesa de tilapia por DSC fue de  $-0,49\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una entalpía de  $121,25\text{ J/g}$ , mientras que por curvas de enfriamiento obtuvieron una temperatura de fusión de  $-2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Por otro lado Chen y Pan (2007) reportaron que para muestras de músculo de tilapia la temperatura de congelación fue de  $-1,03\text{ }^{\circ}\text{C}$  y entre  $-0,81^{\circ}\text{C}$  y  $-0,90\text{ }^{\circ}\text{C}$  por el método de enfriamiento.

**Tabla 14**

*Datos promedios de la congelación en piel y músculo.*

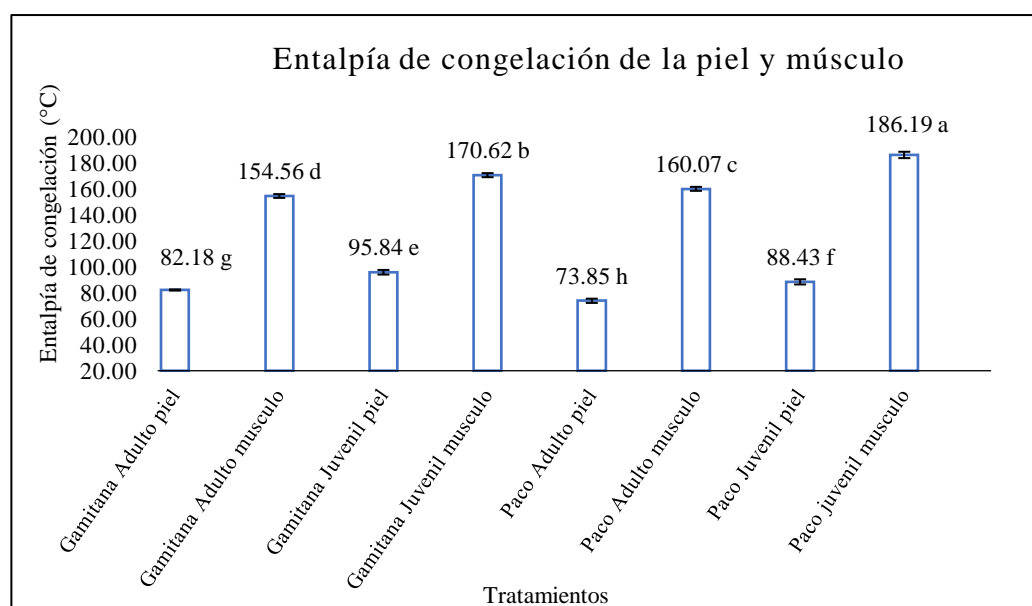
Espece	Edad	Tipo de tejido	T° Onset ( $^{\circ}\text{C}$ )	Peak temperature( $^{\circ}\text{C}$ )	Entalpía de congelación (J/g)
Gamitana	Juvenil	Piel	$-2,45^{\text{b}} \pm 0,05$	$-0,14^{\text{b}} \pm 0,03$	$95,84^{\text{e}} \pm 1,79$
		Músculo	$-3,75^{\text{d,c}} \pm 0,15$	$0,14^{\text{a}} \pm 0,05$	$170,62^{\text{b}} \pm 1,57$
	Adulto	Piel	$-1,88^{\text{b,a}} \pm 0,17$	$-0,37^{\text{c,b}} \pm 0,09$	$82,18^{\text{g}} \pm 0,43$
		Músculo	$-4,45^{\text{e}} \pm 0,09$	$0,35^{\text{a}} \pm 0,16$	$154,56^{\text{d}} \pm 1,47$
Paco	Juvenil	Piel	$-1,48^{\text{a}} \pm 0,13$	$-0,56^{\text{c}} \pm 0,16$	$88,43^{\text{f}} \pm 2,00$
		Músculo	$-3,13^{\text{c}} \pm 0,37$	$0,28^{\text{a}} \pm 0,06$	$186,19^{\text{a}} \pm 2,46$
	Adulto	Piel	$-4,19^{\text{d,e}} \pm 0,41$	$-0,33^{\text{c,b}} \pm 0,04$	$73,85^{\text{h}} \pm 1,63$
		Músculo	$-4,11^{\text{d,e}} \pm 0,11$	$0,28^{\text{a}} \pm 0,01$	$160,07^{\text{c}} \pm 1,53$

Los resultados se muestran como medias  $\pm$  desviación estándar. Letras diferentes dentro de la misma columna indican que los valores medios difieren significativamente ( $P < 0,05$ ).

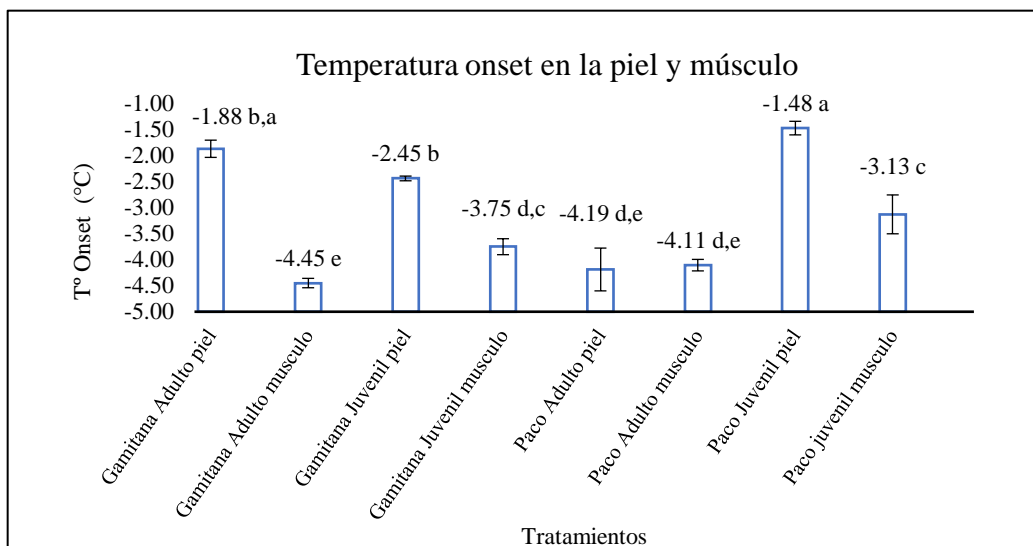
En la Tabla 14, podemos observar para la temperatura onset de congelación en la piel y músculo de las especies paco y gamitana en las edades de juvenil y adulto, que existe diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ) (Anexo 7, tabla 61) en edades, tipo de tejido, en la interacción especies por edades, interacción especies por tipo de tejido y en la interacción especies por edades por tipo de tejido. Por el contrario no hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) en especies y en la interacción edades por tipo de tejido.

En cuanto a peak temperature (Anexo 7, tabla 57) el análisis de varianza mostró que existe diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ) en el tipo de tejido y en la interacción especies por edades por tipo de tejido, mientras solo hubo diferencia significativa en la interacción especies por tipo de tejido. Sin embargo no presentaron diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) las especies, edades, interacción especies por edades y en la interacción edades por tipo de tejido.

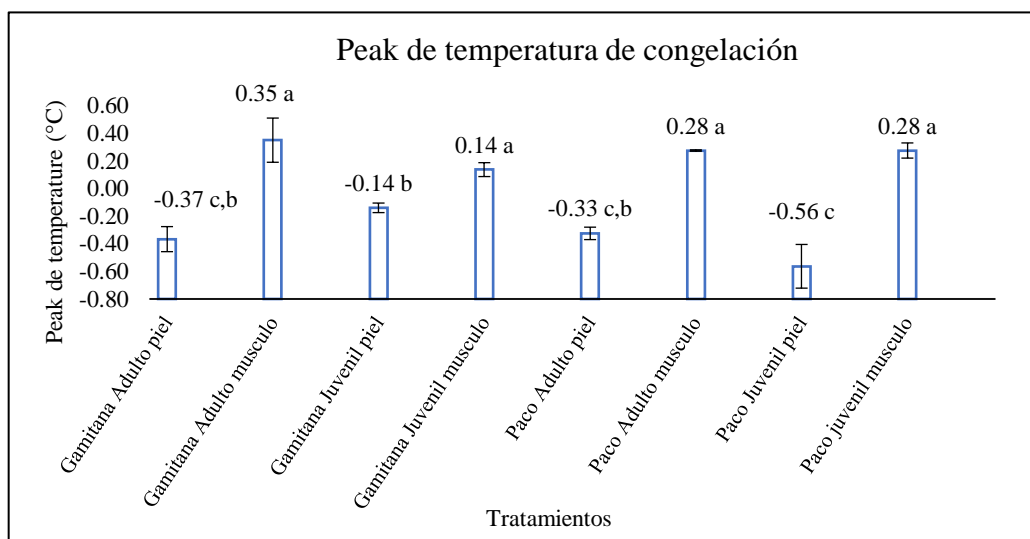
De acuerdo a los análisis de varianza (ANOVA) para la entalpía de congelación (Anexo 7, tabla 59) realizados, se observó que existe diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ), para las edades, tipo de tejido, interacción especies por tipo de tejido y la interacción edades por tipo de tejido, mientras solo hubo diferencia significativa en especies por edades y especies por edades por tipo de tejido. Por lo contrario, en especies no existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ ).



**Figura 47.** Entalpía de la piel y músculo en las especies paco y gamitana en la edad de juvenil y adulto.



**Figura 49.** Temperatura onset de la piel y músculo en las especies paco y gamitana en la edad de juvenil y adulto.



**Figura 48.** Peak temperature de congelación de la piel y músculo en las especies paco y gamitana en la edad de juvenil y adulto.

## CONCLUSIONES

- La composición proximal de la piel del paco juvenil: Humedad 60,47 %  $\pm$  0,64; Proteína 84,16%  $\pm$  0,74; Grasa 13,26 %  $\pm$  0,35. Adulto: Humedad 64,5%; Proteína 76,62%; Grasa 18,87 %. Para gamitana juvenil: Humedad 62,0%  $\pm$  0,17; Proteína 79,56%  $\pm$  0,01; Grasa 16,39%  $\pm$  0,40. Adulto: Humedad 67,4%; Proteína 79,44%; Grasa 11,96%.

La composición proximal en el músculo de paco juvenil: Humedad 79,67%  $\pm$  0,50; Proteína 89,52%  $\pm$  0,76; Grasa 8,52 %  $\pm$  0,76. Adulto: Humedad 75,3%; Proteína 76,92%; Grasa 10,53%. Para gamitana juvenil: Humedad 78,40%  $\pm$  0,44; Proteína 83,66%  $\pm$  0,86; Grasa 8,66%  $\pm$  0,35 y adulto: Humedad 73,3%; Proteína 71,54%; Grasa 22,85%.

- Se determinó la capacidad calorífica de la piel de las especies paco y gamitana en la edad juvenil y adulto en las temperaturas de 5°C a 38°C, Se obtuvo los siguientes valores de capacidad calorífica para piel de gamitana juvenil: 5 °C es 2,697 J/ g.; 38°C es 2,830 J/ g. °C, músculo de gamitana juvenil en 5 °C es 2,978 J/ g. °C; 38°C es 3,073 J/g. °C.

En piel de gamitana adulto a 5 °C es de 2,998 J/g. °C.; 38°C es 3,204 J/g. °C, en el músculo a 5 °C es 3,425 J/g. °C; 38°C es 3,505 J/g. °C. Para piel de paco juvenil a 5 °C es 2,653 J/g. °C; 38°C es 2,626 J/ g. °C, para músculo a 5 °C es 3,248 J/g. °C; 38°C es 3,327 J/g. °C. En piel de paco adulto a 5 °C es 2,605 J/g. °C; 38°C es 2,747 J/g. °C, para el músculo a 5 °C es 3,415 J/g. °C; 38°C es 3,485 J/g. °C. Se observó diferencias altamente significativas en las edades y tipo de tejido a temperatura de 5°C. Por lo contrario en especies no hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ). En la temperatura de 38°C existió diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ) en especies, tipo de tejido y edades.

- Se determinó la capacidad calorífica de las especies paco y gamitana en las edades de juvenil y adulto en las temperaturas de -10°C a -35°C. Se obtuvo los siguientes valores de capacidad calorífica en piel de gamitana juvenil a -10 °C es 3,719J/ g. °C y -35°C es 1,719J/ g. °C, para el músculo a -10 °C es 3,934J/ g. °C y -35°C es 1,762J/g. °C. En la piel de gamitana adulto a -10°C es 3,285 J/g. °C y -35°C es 1,845 J/g. °C, para el músculo a -10°C es de 4,325 J/g. °C y -35°C es 1,853 J/g. °C.

Para la piel de paco juvenil a  $-10^{\circ}\text{C}$  es de  $4,007\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$  y  $-35^{\circ}\text{C}$  es  $1,673\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ , para el músculo a  $-10^{\circ}\text{C}$  es de  $3,850\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$  y  $-35^{\circ}\text{C}$  es  $1,618\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ . En piel de paco adulto a  $-10^{\circ}\text{C}$  es de  $3,373\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$  y  $-35^{\circ}\text{C}$  es  $1,606\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ , para el músculo a  $-10^{\circ}\text{C}$  es de  $4,337\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$  y  $-35^{\circ}\text{C}$  es  $1,783\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ . Se observa diferencias altamente significativas entre especies y edades en la temperatura de  $-35^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo en el tipo de tejido no hay diferencia significativa. En la temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  existe una diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ) en el tipo de tejido, mientras en edades y especies no hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ).

- Las temperaturas y entalpías de desnaturalización en la piel de la gamitana juvenil es  $67,65^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 21,95\text{ J/g}$ . Adulto  $70,71^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 19,44\text{ J/g}$ . Para el paco juvenil  $66,13^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 14,81\text{ J/g}$ . Adulto  $68,41^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 21,31\text{ J/g}$ .

Los valores de las temperaturas y entalpías de desnaturalización en músculo de gamitana juvenil fue: miosina  $49,97^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 0,78\text{ J/g}$ ; proteínas sarcoplasmáticas  $64,64^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 0,21\text{ J/g}$ ; actina  $73,45^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 0,31\text{ J/g}$ . Para gamitana adulto: miosina  $50,69^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 0,98\text{ J/g}$ ; proteínas sarcoplasmáticas  $60,02^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 0,03\text{ J/g}$ ; actina  $72,95^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 0,36\text{ J/g}$ .

En paco juvenil fueron: miosina  $51,05^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 1,54\text{ J/g}$ ; proteínas sarcoplasmáticas  $72,67^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 0,35\text{ J/g}$ ; actina  $83,63^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 0,05\text{ J/g}$ . Paco adulto: miosina  $50,25^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 1,22\text{ J/g}$ ; proteínas sarcoplasmáticas  $64,07^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 0,05\text{ J/g}$ ; actina  $72,98^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hd } 0,39\text{ J/g}$ . Se observó que no hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) en la temperatura de desnaturalización de la miosina entre especies y edades. Para la desnaturalización de las proteínas sarcoplasmáticas si existe diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ) en las edades y especies. Como también hubo diferencia altamente significativa en especies y edades en la desnaturalización de la actina.

- La temperatura y entalpía de congelación de piel de paco juvenil fue:  $-0,56^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hc } 88,43\text{ J/g}$ ; gamitana juvenil  $-0,14^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hc } 95,84\text{ J/g}$ . En paco adulto fue  $-0,33^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hc } 73,85\text{ J/g}$ ; en gamitana adulto fue  $-0,37^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hc } 82,18\text{ J/g}$ . La temperatura y entalpía de congelación en el músculo de paco juvenil fue  $0,28^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hc } 186,19\text{ J/g}$ ; en gamitana juvenil fue  $0,14^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hc } 170,62\text{ J/g}$ . En paco adulto  $0,28^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hc } 160,07\text{ J/g}$ ; en gamitana adulto fueron  $0,35^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Hc } 154,56\text{ J/g}$ . finalmente se observó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el tipo de tejido en la temperatura de congelación. Para la entalpía de congelación solo existió diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en las edades y tipo de tejido.

## RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de las propiedades térmicas de la gamitana y paco en cuanto al sexo (hembra y macho).
- Realizar comparaciones entre propiedades térmicas de piel y músculo de gamitana y paco en fresco y cocido.
- Realizar estudios de propiedades térmicas en especies amazónicas como la palometa, sábalo, corvina, etc. que tienen volúmenes de captura relativamente elevados y demanda apreciable por parte de los consumidores.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackman, R.G. (1980). *Fish lipid. Part. I y II. Advances in fish Science and Technol\_ogy Fishing*. New books. LTD. 86 p. England.
- Ahumada T. Camila A. (2016). *Determinación de Propiedades Termofísicas de la Murta (Ugni molinae Turcz) Durante el Proceso de Congelación y Calentamiento*. Universidad Austral de Chile Facultad de ciencias agrarias Valdivia – Chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2016/faa287d/doc/faa287d.pdf>
- Alcántara B., F. (2002). Cartilla de Acuicultura en la Amazonía. IIAP. PD/A. CRSP. Southerin Illinois University Carbondale. Iquitos, Perú. 35 pág.
- Alcantara, B. (1985). *Reproducción Inducida de Gamitana (Colossoma macropomum), Cuvier 1818 en el Perú*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ciencias Biológicas. Trujillo - Perú.
- Alvarado V. K. (2015) “*Aplicación del análisis térmico a la caracterización de materias textiles*” Instituto Politécnico Nacional -Mexico.
- Barboza, Y.; Izquierdo, P.; Gonzalez, E.; Torres, G.; Marquez, E. (1998). Evaluación Microbiológica y Características Químicas del Pescado Salado Consumido en la Ciudad de Maracaibo, Venezuela. Revista Científica FCV- LUZ/ Vol. IX, No 2, 134-137,
- Barreiro, J. Y Sandoval, A. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Ed. Equinoccio. Venezuela. 9-11 p.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos. 4 ed. México*. Pearson Educación. p.189
- Bainy, EM, Corazza, ML y Lenzi, MK (2015). Measurement of freezing point of tilapia fish burger using differential scanning calorimetry (DSC) and cooling curve method 161, 82–86. doi: 10.1016 / j.jfoodeng.2015.04.001
- Balian, G., & Bowes, J. H. (1977). The structure and properties o collagen. In A. G. Ward, & A. Courts (Eds.), *The science and technology of gelatin* (pp. 1–30). London: Academic Press.
- Bell, M; Henderson, J; Sargent, J. (1986). The role of polyunsaturated fatty acids in fish. *Comp Biochem Physiol* 83B: 711-719 doi: 10.1016 / 0305-0491 (86) 90135-5
- Boletín de investigación Instituto Tecnológico Pesquero del Perú Volumen 9. Enero-diciembre (2009).

- Bhadeshia, H.K.D.H. (2002). *Differential Scanning Calorimetry*, University of Cambridge, Materials Science & Metallurgy. [http://www.uzaktanegitimplatformu.com/UEP/uep\\_ylisans/ey2/ey2\\_download/DSC%20Thermal 2.pdf](http://www.uzaktanegitimplatformu.com/UEP/uep_ylisans/ey2/ey2_download/DSC%20Thermal%202.pdf) . Recuperado, noviembre 22, 2015.
- Bravo, A., Dario, J., Vela, R., Arce, T., Alva, A., Tello, F., (2019). *Gelatina a partir de piel de Doncella (Pseudoplatystoma fasciatum) y su uso como material encapsulante*. Laboratorio de Investigación en Control de Calidad–CIRNA– Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Pasaje los Paujiles s/n, Iquitos– Perú.
- Campos B. Luis E. (2015). *El cultivo de la gamitana en Latinoamérica*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP.
- Campos, L y Padilla.P. (1985). Efecto del kudzu, Pueraria haseloides y del cetico, cecropia sp. Como fuentes proteicas en la alimentación de Gamitana, *Colossoma macropomum*. IIAP-cijh. Informe técnico; .pp.25
- Casp, A.; Abril, J. (1999). *Procesos de Conservación de Alimentos*, Ediciones Mundi Prensa. España. 494 p
- Chen, Y.L. y Pan, Bs (2007). Freezing of tilapia by jet of air and liquid nitrogen: freezing point and freezing speed. *International Journal of Food Science and Technology*, 30 (2), 167-173. doi: 10.1111 / j.1365-2621.1995.tb01368.x
- Coello, V., y Garcés, C. (2012). *Análisis de Propiedades Térmicas durante Gelatinización en tres variedades de arroz INIAP aplicando el Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC)* (Doctoral dissertation, Tesis de grado de la escuela superior politécnica del litoral. Guayaquil, Ecuador)
- Cohen, C.; Szent Gyorgyi, A. G.; Kendrick-Jones, J. (1971). Paramyosin and the filaments of molluscan catch muscles. I. Paramyosin structure and assembly. *Journal of Molecular Biology*. 56: 223-237 doi: 10.1016 / 0022-2836 (71) 90461-x
- Connell, J.J. (1961). The relative stabilities of the skeletal muscle myosins of some animals. *Biochemical Journal*, SO, 503-509.
- Cortés, J; Pacheco, R. (2009). *Concentrados proteicos funcionales. Tecnología de productos de origen acuático*. 1 ed. México. Limusa. p. 475
- Cortez J.P. (1998); *Manual para la elaboración de conservas enlatados a partir de peces y moluscos amazónicos*. - IIAP Iquitos - Perú.

- Cheftel, J., Cheftel, H., y Besancon, P. (2000). *Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos*. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- Chen, X.; Tume, R.K.; Xu, X.; Zhou, G. (2015). Solubilization of Myofibrillar Proteins in Water or Low Ionic Strength Media: Classical Techniques, Basic Principles and Novel Functionalities. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 57(15): 3260-3280. doi: 10.1080 / 10408398.2015.1110111
- Chomnawang, Ch; Yongsawatdigul, J. (2013). Protein Recovery of Tilapia Frame By Products by pH-Shift Method. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 22:112–120. doi: 10.1080 / 10498850.2011.629077
- Clavijo, L. (2011). *Desarrollo de metodología para la determinación de la digestibilidad de materias primas no convencionales en cachama blanca (Piaractus brachipomus)*. Universidad Nacional de Colombia. Tesis Mg. Sc. Ciencias Agrarias.
- Cuvier, M. G. (1818). Sur le poissons du sous-genre Myletes. *Mémoires du Musée di Histoire Naturelle*, Paris; p. 4, 444-456.
- Dávalos, S; Zamora, D; Natividad, B; Tercero, J; Vasquez, C; Quiñones, E. (2005). Alimentos marinos: Tipificación y proceso de almacenamiento. *Revista Digital Universitaria* 6 (9): 1-14.
- Delbarre-Ladrat, C; Chéret, R; Taylor, R; Verrez-Bagnis, V. (2006). Trends in Postmortem aging in fish: Understanding of proteolysis and disorganization of the myofibrillar structure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 46: 409-421 doi: 10.1080 / 10408390591000929
- Desrosier, N.W. (1970). *The Technology of Food Preservation*. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, CN. 92-122p.
- Díaz, F. J. & López, A. (1993). *El Cultivo de la cachama blanca (Piaractus brachipomus) y la cachama negra (Colossoma macropomum)*. En fundamentos de acuicultura continental. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Santafé de Bogotá D. C., Colombia. 274 pp.
- Differential Scanning Calorimetry, Universidad del Sur de Mississippi (2005)  
Disponibile en: <http://pslc.ws/macrog/dsc.htm>.
- Elfvin, M.; Levine, R.J.C.; Dewey, M.M. (1976). Paramiosyn in invertebrate muscle I. Identification and localization. *Journal of Cell Biology*. 71: 261-271. doi: 10.1083 / jcb.71.1.261

- Endo, K. (1989). Storage of fish at a temperature near its freezing point. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 36 (5), 428–433. Doi: 10.3136 / Nskkk1962.36.5\_428
- FAO. (2010). Informe del mercado de la tilapia. Globefish. Food and Agriculture Organization.
- Fellows, Freezing, P.J. (1994). In: Fellows, P.J. (Ed.), Food Processing Technology:
- Fondo Nacional De Desarrollo Pesquero (Fondepes). (2006)
- Gálvez Mariscal, A.; Flores Argüello, I.; González-Saravia, A.F. (2006). *Proteínas. En: Quintanar Duarte (Ed). Química de los Alimentos (Cuarta edición)*. Pearson Education, México. pp. 119-244.
- García, R. (2006). “*Obtención de productos mínimamente procesada, de humedad baja e intermedias, crío conservadas de cuatro especies de peces amazónicos*” Informes Semestrales Anuales – IIFIA – UNAP –Iquitos.
- González, D.; Marín, M.; Hernández, M.; Acosta, L.; Gutiérrez, C.; Armas, A.; (2007). Caracterización de la Composición Bromatológica y Evaluación de los Parámetros de Calidad (pH y NBV-T), en tres Especies de Pescado Capturadas en la Estación de Pesca Nabaida, Punta Pescador, delta del Orinoco 2005-2006. *Revista Científica*. Vol. 67 No 168, P105- 116. ISSN 0037-8518.
- García, P. (2019). *Efecto de la maltodextrina sobre los diagramas de estado de sistemas modelo y naturales ricos en carbohidratos*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ciencias Químicas México
- González, R. (2001). Fundamentos de Acuicultura Continental. El Cultivo de Cachama. p 329-346.
- Goulding, (1997). M. So Fruitful a Fish. Columbia University Press, New York; pg. 191.
- Greaser, M.L. (2001). Postmortem muscle chemistry. En: Hui, Y.H.; Nip, W.K.; Rogers, R.W.; Young, O. (Eds). *Meat Science and Applications*. 1° ed. Marcel Dekker, New York. pp. 1-127.
- Gruda, Z., Postolsky, J. (1988). *Tecnología de la congelación de los alimentos*. Acribia. Zaragoza.
- Haard, N. (1999). *Valor nutritivo y composición de las proteínas y otros compuestos nitrogenados del pescado. El pescado y los productos derivados de la pesca. Composición, propiedades nutritivas y estabilidad*. España. Acribia.

- Hastings, R. J., Rodger, W., Park, P., Matthews, A. D., & Anderson, E. M. (1985). Differential scanning calorimetry of fish muscle: the effect of processing and species variation. *Journal of Food Science*, 50 (2), 503–506. doi: 10.1111 / j.1365-2621.1985.tb13437.x
- Howell, Bk, Matthews, Ad Y Donnelly, Ap (2007). Thermal stability of fish myofibrils: a differential scanning calorimetric study. *International journal of food science and technology*, 26 (3), 283–295. doi: 10.1111 / j.1365-2621.1991.tb01165.x
- Hultin, H; Feng, Y; Stanley, D. (1995). A reexamination of muscle protein solubility. *Journal of Muscle Foods* 6 (2): 91-107
- Huss, H. (1999). *El Pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad*. Departamento de Pesca. FAO (Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). Roma.
- Instituto de la Amazonía Peruana (2000). Programa de Ecosistemas acuáticos. Cultivo y Procesamiento de Peces Nativos: Una Propuesta Productiva para la Amazonía Peruana (en línea). Iquitos, PE. Consultado 10 ago. 2013.
- Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. (2000). Cultivo y procesamiento de peces nativos: una propuesta productiva para la amazonía peruana.
- Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (2002). Cultivando peces amazónicos. Reproducción de la Gamitana. Iquitos-Perú. Pp.22.
- Izquierdo, P.; Torres, G.; Barboza, Y.; Márquez, E. y Allara, M. (2000). Análisis Proximal, Perfil de Ácidos Grasos, Aminoácidos Esenciales y Contenido de Minerales de 12 Especies de Pescado de Importancia Comercial en Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. 50 (2). Caracas.
- Jaczynski, J; Chen, Y; García, J; Torres J. (2009). Recuperación de proteínas y lípidos. *Tecnología de productos de origen acuático*. 1 ed. México. Limusa. p. 461
- Kato, S. (1985). An appraisal of features in each of 4 topical food preservation system in Japan as compared with conventional food freezing. *Rejigeration*, 60, 1005-1025
- Kinsella, J. E.; Shimp, J. L.; Mal J, And Weihrauch, J. (1977b). "Fatty acid content and composition of fresh-water finfish". *J. Am. Oil Chem: Soc.* 54:424.
- Kimura, S., Zhu, X.-P., Matsui, R., Shijoh, M. Y Takamizawa, S. (1988). Caracterización del colágeno tipo I del músculo de los peces. *Journal of Food Science*, 53 (5), 1315-1318. doi: 10.1111 / j.1365-2621.1988.tb09266.x

- Kodaera, M.; Tomé, E.; Y Pérez, M. (2001). Efecto de la Temperatura de Almacenamiento sobre los Cambios Post-mortero y Frescura en Híbridos de Cachama (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*) cultivados. An. Venez. Nutricional. Vol. 14. No 2. P 53-59, YSSN 0798 -0752.
- Kolodziejaska, I.; Sikorski, Z.E.; Sadowak, M. (1987). Texture of cooked mantle of squid *Illex argentinus* influenced by specimen characteristic treatments. Journal of Food Science. 52: 932-935.
- Kubitza, F. (2004). Coletanea de informacoes aplicadas ao cultivo do tambiqui, do pacu e de outros peixes redondos. Panorama da Aqüicultura 14(82).
- Larrea-Wachtendorff, D., Tabilo-Munizaga, G., Moreno-Osorio, L. *et al.* (2015). Cambios de proteínas causados por alta presión hidrostática (HHP): un estudio que utiliza calorimetría diferencial de barrido (DSC) y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). *Food Eng Rev* 7, 222–230 <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9107-1>
- Le Meste, M. Champion, D. Roudaut, G. Blond, G. Y Simatos, D. (2002) Glass Transition and Food Technology: A Critical Appraisal. JFS: Concise reviews and hypotheses in food science.
- Levine, R.J.C.; Elfvin, M.M.; Dewey, M.M.; Walcot, B. (1976). Paramyosin in invertebrates muscle. II. Content in relation to structure and function. Journal of Cell Biology. 71: 273-279.
- Lewis. (1993). Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Editorial ACRIBIA S.A. Zaragoza.
- Li-Chan, E.; Nakai, S. y Wood, D. (1985). Relationship between functional (fat heating, emulsifying) and physicochemical properties of muscle proteins. Effects of heating, freezing, pH and species. Journal of Food Science, 50(4): 1034-1038.
- Manich A.M., Carrilla J., Vílchez S., Castellar de M. D., Oller P. y Erra P., (2004). “Study of the Wool Fine Structure by Thermal Analysis”, IIQAB, Sep..
- Marcotte, M., Taherian, AR y Karimi, Y. (2008). Propiedades termofísicas de productos cárnicos y avícolas procesados. Journal of Food Engineering, 88 (3), 315–322. doi: 10.1016 / j.jfoodeng.2008.02.016
- Martinez, N. (1998). Termodinámica y cinética de Sistemas. Alimento Entorno. Editorial Universidad de Politécnica de Valencia. España. 371 p.

- Nagasaki Z. Karina. (2012). “*Síntesis y caracterización de recubrimiento sol-gel aplicados en aleaciones ferrosas*” Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1813/tesis.pdf?sequence=1>
- Oba, E. (2014). Cuidados Essenciais no Manejo Alimentar de Piexes Redondos Cultivados no Estado do Amapá. ISSN 1517 – 4077
- Oliva V. Mario A. (2008). *Efectos de la Concentración de Salmuera Utilizando dos Fuentes de Energía, en el Proceso de Ahumado de Paco (Piaractus brachypomus) y Gamitana (Colossoma macropomum), en Santa María de Nieva Región Amazonas*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas Chachapoyas - Perú
- Orrego, C. (2003). Procesamiento de alimentos. Universidad nacional de Colombia sede Manizales. 61 p.
- Orrego, C. (2003). Procesamiento de alimentos. Editorial Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Colombia. 217p.
- Park, J. (2009). Fish protein isolate and its superior functionality. Proceedings of the 62nd American Meat Science Association Reciprocal Meat Conference. 56-63p
- Piscicultura amazónica con especies nativas (2015). Lima – Perú editor: Víctor López Guzmán.
- Pereira, P. y Oliveira, J. (2000). Measurement of glass transition in native wheat flour by dynamic mechanical thermal analysis (DMTA). International Journal of Food Science and Technology. 183-192 p.
- Pérez, M; Amato, P; Lannier, T. (2004). Gelling properties af atlantic croaker surimi processed by acido or alcaline solubilization. Journal of food science volumen 69 (4): 328-333
- Poulter, Rg, Ledward, Da, Godber, S., Hall, G. Y Rowlands, B. (2007). Thermal stability of fish muscle proteins. International Journal of Food Science and Technology, 20 (2), 203–217. doi: 10.1111 / j.1365-2621.1985.tb01918.x
- Rahman, Ms Y Driscoll, Rh (2007). Freezing points of selected seafoods (invertebrates). Revista internacional de ciencia y tecnología de los alimentos, 29 (1), 51–61. doi: 10.1111 / j.1365-2621.1994.tb02046.x

- Rahman. S. (2006). Food Properties Handbook. Second edition. CRC Press Taylor & Francis Group. 550-551 p.
- Rahman, M. S. y Vélez-Ruiz J.F. (2007). Food Preservation by Freezing. In Handbook of Food Preservation (M.S. Rahman Ed.). Second Edition, CRC Press, Boca Raton FL, USA. 635-665 p.
- Rigby, B. J. (1968). Amino acid composition and thermal stability of the skin collagen of the Antarctic ice-fish. *Nature*, 219, 166–167.
- Rodríguez Turienzo L. (2011). “*Evaluación de recubrimientos comestibles proteicos aplicados al salmón del Atlántico (Salmo salar) congelado: estudio de diferentes formulaciones y tratamientos tecnológicos*”, Universidad de Santiago de Compostela- España.
- Samejima, K.; Ishioroshi, M. y Yasui, T. (1981). Relative roles of the head and tail portions of the molecule in heat-induced gelation of myosin. *Journal of Food Science*, 46(5): 1412- 1418
- Saint-Paul, U. (1984). Biological and physiological investigations of *Colossoma macropomum*. New species for fish culture in Amazonia. *Latinoamericana de Acuicultura* 5;.pp.50.
- Sasaki, K., Mitsumoto, M., Nishioka, T. e Irie, M. (2006). Calorimetría diferencial de barrido de tejidos adiposos porcinos. *Meat Science*, 72 (4), 789–792. doi: 10.1016 /j.meatsci.2005.09.020
- Sayas, E; Fernández, J; Pérez, J. (2009). Anatomía y ultraestructura del pescado. Tecnología de productos de origen acuático. 1 ed. México. Limusa. p. 57
- Sen, D.P. (2005). Chemical Composition and Their Technological Significance. En su: *Advances in Fish Processing Technology*. Allied Publishers Private Limited. pp. 43-119.
- Serrano, GJC. (2011). *Estandarización de un proceso de extracción de colágeno a partir de los residuos de fileteo de tilapia (Oreochromis) y Cachama (Piaractus brachipomus)*. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Shmalko, Me, Morawicki, Ro Y Ramallo, La (1996). Simultáneo determinación del calor específico y la conductividad térmica utilizando la diferencia finita método. *Revista de Ing. Alimentos*. 31, 531-540.
- Sikorski, Z. E. (1990). *Seafood: Resources, nutritional composition, and preservation*. Florida, USA.



- Stansby, M.E. (1954). "Composition of certain species offresh-water fish". I. Introduction: The determination of the variation of composition of fish". *Food Research*. 19:231.p
- Stabursvik, R. & Martens, H. (1980). Thermal denaturation of proteins in post rigor muscle tissue as studied by differential scanning calorimetry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31, 1034- 1042
- Stewardship, M. (2003). Manejo Peces Amazónicos en Ambientes Amazonia Belén es un proyecto concebido por la Municipalidad Distrital de Belén, en Loreto- Perú.
- Strasburg, G.; Xiong, Y.L.; Chiang, W. (2010). Fisiología y química de los tejidos musculares. En: Damodaran S.; Pakin, K.L.; Fenemma, O.R. (Eds). *Fennema Química de los Alimentos (Tercera Edición)*. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España. pp. 921-972.
- Suzuki, (1987). *Tecnología de las proteínas de pescado y krill*. Ed. Acribia S.A. Zaragoza 230 p.
- Tavman, S., Kumcuoglu, S. y Gaukel, V. (2007). Capacidad calorífica específica aparente de productos cárnicos refrigerados y congelados. *Revista Internacional de Propiedades de los Alimentos*, 10 (1), 103-112. doi: 10.1080 / 10942910600755151
- Thorarinsdottir, KA, Arason, S., Geirsdottir, M., Bogason, SG y Kristbergsson, K. (2002). Cambios en las proteínas miofibrilares durante el procesamiento de bacalao salado (*Gadus morhua*) según lo determinado por electroforesis y calorimetría diferencial de barrido. *Química de los alimentos*, 77 (3), 377–385. doi: 10.1016 / s0308-8146 (01) 00349-1
- Totosaus, A. (1996). *Funcionalidad de extractos proteicos musculares de cabra y res. Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento*. Tesis Maestro en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa. 109 p.
- Van Holde, K.E.; Miller, K.I.; Deckeri, H. (2001). Hemocyanins and Invertebrate Evolution. *The Journal of Biological Chemistry*. 276(19):15563–15566.
- Unklesbay, n., unklesbay, k. Y clarke, ad (1999). *Propiedades térmicas de palitos de bocadillos de carne reestructurados durante todo el procesamiento del ahumadero*. *Ciencia de los Alimentos and Technology*, 32, págs. 527-534
- Uribe, C. (1996). *Peces del Llano*. Cristina Uribe Editores. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia. 80 pp.

- Venugopal, V; Shahidi, F. (1996). Structure and composition of fish muscle. *Food Reviews International* 12 (2): 175-197
- Wendlandt, W.W.M. (1986). *Thermal Analysis*, 3 rd. Edition, Wiley-Interscience, ISBN 0-471-88477-4.
- Wilson, J. Y Buffa, A. (2003). *Física* 5ª edición. Pearson Educacion, México. 380-400 p.
- Wright, D.J., Leach, I.B. & Wilding, (1977). Differential scanning calorimetric studies of muscle and its constituent proteins, *Journal of the Science of Food und Agriculture*, 28,557-SM.
- Xiong, Y. (1994). Myofibrillar protein from different muscle fiber types: implications of biochemical and functional properties in meat processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 34: 293-320.
- Zarei, F; Rajabi-Maham, H. (2017). First record of exotic *Piaractus brachypomus* Cuvier, 1818 (Characiformes: Serrasalminidae) in Zarivar Lake, western Iran. *J Appl Ichthyol*.
- Ziegler, G. y Acton, J. (1984). Mechanisms of gel by protein of muscle tissue. *Food Technology*, 38(5): 77-82.
- Zielinski, S.; Sartoris, F.J.; Pörtner, H.O. (2001). Temperature Effects on Hemocyanin Oxygen Binding in an Antarctic Cephalopod. *The Biological Bulletin*. 200: 67–76.
- Zuta Rubio J. (2011). *“Evaluación tecnológica de maquinaria y equipos de las plantas de congelado de pescado”*. Universidad Nacional del Callao. Facultad de Ingeniería Pesquera y alimentos, Callao – Perú.

## **ANEXOS**

### Anexo 1

**Análisis estadístico de la capacidad calorífica en las temperaturas de 5°C; 20°C; 38°C.**

**Tabla 15**

*Análisis de varianza (ANVA) para la capacidad calorífica a 5°C.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	7	2,3496	0,3357	119,2	<.0001	**
Especies	1	0,0118	0,0118	4,19	0,0575	N.S
Edades	1	0,2821	0,2821	100,18	<.0001	**
Tipo de tejido	1	1,6748	1,6748	594,75	<.0001	**
Especies*Edades	1	0,1485	0,1485	52,74	<.0001	**
Especies*Tipo de tejido	1	0,1820	0,1820	64,63	<.0001	**
Edades *Tipo de tejido	1	0,0486	0,0486	17,26	0,0007	*
Especies*Edades*Tipo de tejido	1	0,0018	0,0018	0,63	0,4397	N.S
Error	16	0,045056	0,002816			
Total	23	2,39466050				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,981185	1,76754	3,00225				

**Tabla 16**

*Nivel de significancia en la capacidad calorífica de 5°C entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	3,4250	t2
A	3,4147	t6
B	3,2480	t8
C	2,9980	t1
C	2,9780	t4
D	2,6967	t3
D	2,6527	t7
D	2,6050	t5

**Tabla 17***Análisis de varianza (ANVA) para la capacidad calorífica a 20°C.*

Fuente de variación	G.L	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	F-calculado	Pr>F	Nivel significancia
Tratamientos	7	2,8257	0,4037	140,47	<.0001	**
Especies	1	0,0872	0,0872	30,36	<.0001	**
Edades	1	0,4453	0,4453	154,94	<.0001	**
Tipo de tejido	1	1,7751	1,7751	617,69	<.0001	**
Especies*Edades	1	0,1251	0,1251	43,55	<.0001	**
Especies*Tipo de tejido	1	0,3894	0,3894	135,5	<.0001	**
Edades *Tipo de tejido	1	0,0034	0,0034	1,18	0,2939	N.S
Especies*Edades*Tipo de tejido	1	0,0002	0,0002	0,08	0,7789	N.S
Error	16	0,04597933	0,0028737			
Total	23	2,87169962				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,983989	1,765347	3,0366				

**Tabla 18***Nivel de significancia de la capacidad calorífica a 20°C entre prueba de Tukey.*

Tukey Agrupamiento	Media	Trat
A	3,5047	t2
A	3,4850	t6
B	3,3270	t8
C B	3,2037	t1
C	3,0727	t4
D	2,8157	t3
E D	2,7470	t5
E	2,6397	t7

**Tabla 19***Análisis de varianza (ANVA) para la capacidad calorífica a 38°C.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	7	2,3771	0,3396	128,04	<.0001	**
Especies	1	0,0594	0,0594	22,4	0,0002	**
Edades	1	0,4417	0,4417	166,55	<.0001	**
Tipo de tejido	1	1,4751	1,4751	556,18	<.0001	**
Especies*Edades	1	0,1154	0,1154	43,5	<.0001	**
Especies*Tipo de tejido	1	0,2821	0,2821	106,36	<.0001	**
Edades *Tipo de tejido	1	0,0034	0,0034	1,27	0,2769	N.S
Especies*Edades*Tipo de tejido	1	0,0000167	0,0000167	0,01	0,9378	N.S
Error	16	0,04243533	0,0026522			
Total	23	2,4195198				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,982461	1,66159	3,0994				

**Tabla 20***Nivel de significancia en la capacidad calorífica a 38°C entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	3,5047	t2
A	3,4850	t6
B	3,3270	t8
C B	3,2037	t1
C	3,0727	t4
D	2,8157	t3
E D	2,7470	t5
E	2,6397	t7

## Anexo 2.

### Análisis estadístico de la capacidad calorífica en las temperaturas de -35°C; -10°C.

**Tabla 21**

*Análisis de varianza (ANVA) para la capacidad calorífica a -35°C.*

Fuente de variación	G.L	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	F-calculado	Pr>F	Nivel significancia
Tratamientos	7	0,1904	0,0272	6,42	0.0010	**
Especies	1	0,0931	0,09312604	21.97	0.0002	**
Edades	1	0,0373	0,03736704	8.82	0.0090	**
Tipo de tejido	1	0,0113	0,01139704	2.69	0.1205	N.S
Especies*Edades	1	0,0053	0,00537004	1.27	0.2769	N.S
Especies*Tipo de tejido	1	0,0018	0,0018	0.45	0.5137	N.S
Edades *Tipo de tejido	1	0,0145	0,0145	3.43	0.0824	N.S
Especies*Edades*Tipo de tejido	1	0,0267	0,0267	6.31	0.0231	*
Error	16	0,0678	0,0042			
Total	23	0,2582				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,737	3,7577	1,732458				

**Tabla 22**

*Nivel de significancia en la capacidad calorífica a -35°C entre prueba de Tukey.*

Tukey Agrupamiento	Media	Trat
A	1,85333	t2
A	1,84500	t1
B A	1,78333	t6
B A	1,76200	t4
B A	1,71867	t3
B A	1,67300	t7
B	1,61833	t8
B	1,60600	t5

**Tabla 23***Análisis de varianza (ANVA) para la capacidad calorífica a -10°C.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	7	3,1726	0,4532	18,31	<.0001	**
Especies	1	0,0347	0,0347	1,4	0,2539	N.S
Edades	1	0,0136	0,0136	0,55	0,4687	N.S
Tipo de tejido	1	1,5924	1,5924	64,35	<.0001	**
Especies*Edades	1	0,0041	0,0041	0,16	0,691	N.S
Especies*Tipo de tejido	1	0,0750	0,0750	3,03	0,1008	N.S
Edades *Tipo de tejido	1	1,4201	1,4201	57,38	<.0001	**
Especies*Edades*Tipo de tejido	1	0,0327	0,0327	1,32	0,2672	N.S
Error	16	0,39595	0,02475			
Total	23	3,568516				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,8890	4,0818	3,8540				

**Tabla 24***Nivel de significancia en la capacidad calorífica a -10°C entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	4,3370	t6
A	4,3250	t2
B A	4,0073	t7
B A	3,9340	t4
B	3,8503	t8
B C	3,7197	t3
C	3,3733	t5
C	3,2853	t1



### Anexo 3

#### Análisis estadístico en la proteína del colágeno.

**Tabla 25**

*Análisis de varianza (ANVA) para el T° onset (°C) en el colágeno.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	21,6387	7,2129	11,09	0,0032	*
Especies	1	0,20803333	0,20803333	0,32	0,5873	N.S
Edades	1	12,89613333	12,89613333	19,82	0,0021	*
Especies x Edades	1	8,53453333	8,53453333	13,12	0,0068	*
Error	3	5,20506667	0,65063333			
Total	11	26,84376667				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,806	1,497	53,868				

**Tabla 26.**

*Nivel de significancia en la T° onset (°C) en el colágeno entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	55,6167	t1
A	54,1933	t5
B A	53,8067	t7
B	51,8567	t3

**Tabla 27**

*Análisis de varianza (ANVA) para peak temperature (°C) en el colágeno.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	32,79513333	10,9317	24,62	0,0002	**
Especies	1	10,9443	10,9443	24,65	0,0011	*
Edades	1	21,3867	21,3867	48,16	0,0001	**
Especies x Edades	1	0,46413333	0,46413333	1,05	0,2004	N.S
Error	8	3,55253333	0,44406667			
Total	11	36,34766667				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,9022	0,9767	68,22				

**Tabla 28**

*Nivel de significancia en la peak temperature (°C) en el colágeno entre prueba de tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	70,7100	t1
B	68,4067	t5
C B	67,6467	t3
C	66,1300	t3

**Tabla 29**

*Análisis de varianza (ANVA) para el endset (°C) en el colágeno.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	86,46515833	28,82171944	22,41	0,0003	**
Especies	1	0,000075	0,000075	0	0,9941	N.S
Edades	1	84,32300833	84,32300833	65,57	0,0001	**
Especies x Edades	1	2,142075	2,142075	1,67	0,2329	N.S
Error	8	10,28806667	1,28600833			
total	11	96,753225				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,894	1,446	78,4125				

**Tabla 30**

*Nivel de significancia en la T (°C) endset en el colágeno entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	81,4833	t5
A	80,6433	t1
B	76,1867	t3
B	75,3367	t7

**Tabla 31**

<b>Fuente de variación</b>	<b>G .L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F- calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	93,7891741	31,263058	27,19	0,0002	**
Especies	1	20,87581302	20,87581302	18,16	0,0028	*
Edades	1	11,99900002	11,99900002	10,44	0,012	*
Especies x Edades	1	60,91436102	60,91436102	52,98	<.0001	**
Error	8	9,1982185	1,1497773			
Total	11	102,9873926				

**R-cuadrado**      **C.V**      **Media**

0,9107      5,5332      19,378

*Análisis de varianza (ANVA) para la entalpía J/g en el colágeno.*

**Tabla 32**

*Nivel de significancia en la entalpía J/g en el colágeno entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	21,9507	t3
A	21,3127	t5
A	19,4445	t1
B	14,8067	t7

## Anexo 4

## Análisis estadístico de la proteína la miosina.

Tabla 33

Análisis de varianza (ANVA) para el  $T^{\circ}$  onset ( $^{\circ}$ C) en la miosina.

Fuente de variación	G.L	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	F-calculado	Pr>F	Nivel significancia
Tratamientos	3	5,1390	1,7130	13,16	0,0018	**
Especies	1	4,3681	4,3681	33,56	0,0004	**
Edades	1	0,0208	0,0208	0,16	0,6996	N.S
Especies x Edades	1	0,75	0,75	5,76	0,0431	*
Error	8	1,0411	0,1301			
Total	11	6.1801				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0.8315	0,7881	45,775				

Tabla 34

Nivel de significancia  $T^{\circ}$  onset ( $^{\circ}$ C) en la miosina entre prueba de Tukey.

Tukey Agrupamiento	Media	Trat
A	46,6700	t2
B A	46,0867	t4
B C	45,3800	t8
C	44,9633	t6

**Tabla 35**

*Análisis de varianza (ANVA) para el peak temperature (°C) en la miosina.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	2,0488	0,6829	5,47	0,0244	*
Especies	1	0,3040	0,3040	2,43	0,1574	N.S
Edades	1	0,0044	0,0044	0,04	0,8557	N.S
Especies x Edades	1	1,7404	1,7404	13,93	0,0058	*
Error	8	0,9994	0,1249			
Total	11	3,0482				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0.6721	0,7001	50,4875				

**Tabla 36**

*Nivel de significancia para el peak temperature (°C) en la miosina entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>N trat</b>
A	51,0467	t8
B A	50,6900	t2
B A	50,2467	t6
B	49,9667	t4

**Tabla 37**

*Análisis de varianza (ANVA) en el temperatura endset (°C) de la miosina*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	142,2590	47,4197	48,31	<.0001	**
Especies	1	65,1002	65,1002	66,32	<.0001	**
Edades	1	43,0544	43,0544	43,86	0,0002	**
Especies x Edades	1	34,1044	34,1044	34,74	0,0004	**
Error	8	7,8532	0,9817			
Total	11	150,1122				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0.9477	1,7447	56,7875				

**Tabla 38**

*Nivel de significancia para la temperatura endset (°C) de la miosina entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	62,6967	t8
B	55,5367	t6
B	54,6667	t4
B	54,2500	t2

**Tabla 39**

*Análisis de varianza (ANVA) en la entalpía de desnaturalización de la miosina (J/g).*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	0,9442	0,3147	206,05	<.0001	**
Especies	1	0,7339	0,7339	480,51	<.0001	**
Edades	1	0,0098	0,0098	6,41	0,0352	*
Especies x Edades	1	0,2004	0,2004	131,23	<.0001	**
Error	8	0,0122	0,0015			
Total	11	0,9564				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0.9872	3,4571	1,1305				

**Tabla 40**

*Nivel de significancia en la entalpía de desnaturalización de la miosina (J/g) entre prueba de Tukey.*

<i>de</i>	<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
	A	1,5356	t8
	B	1,2200	t6
	C	0,9839	t2
	D	0,7825	t4



## Anexo 5

## Análisis estadístico de las proteínas sarcoplasmáticas.

Tabla 41

*Análisis de varianza (ANVA) en la temperatura onset de las proteínas sarcoplasmáticas.*

Fuente de variación	G.L	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	F-calculado	Pr>F	Nivel significancia
Tratamientos	3	5,1390	1,7130	13,16	0,0018	**
Especies	1	4,3681	4,3681	33,56	0,0004	**
Edades	1	0,0208	0,0208	0,16	0,6996	N.S
Especies x Edades	1	0,75	0,75	5,76	0,0431	*
Error	8	1,0411	0,1301			
total	11	6,1801				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0.8315	0,7881	45,775				

Tabla 42

*Nivel de significancia para la temperatura onset (°C) de la proteína sarcoplasmática entre prueba de Tukey.*

Tukey		
Agrupamiento	Media	Trat
A	67,9300	t8
B	62,3167	t6
C	56,7900	t2
C	56,2867	t4

**Tabla 43**

*Análisis de varianza (ANVA) en el peak temperature de las proteínas sarcoplasmáticas.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	2,0488	0,6829	5,47	0,0244	*
Especies	1	0,3040	0,3040	2,43	0,1574	N.S
Edades	1	0,0044	0,0044	0,04	0,8557	N.S
Especies x Edades	1	1,7404	1,7404	13,93	0,0058	*
Error	8	0,9994	0,1249			
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>3,0482</b>				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,6721	0,7001	50,4875				

**Tabla 44**

*Nivel de significancia en el peak temperature de la proteína sarcoplasmática entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	72,6733	t8
B	64,6400	t4
B	64,0667	t6
C	60,0200	t2

**Tabla 45***Análisis de varianza (ANVA) en temperatura endset de la proteína sarcoplasmática.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	142,2590	47,4197	48,31	<.0001	**
Especies	1	65,1002	65,1002	66,32	<.0001	**
Edades	1	43,0544	43,0544	43,86	0,0002	**
Especies x Edades	1	34,1044	34,1044	34,74	0,0004	**
Error	8	7,8532	0,9817			
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>150,1122</b>				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0.9477	1,7447	56,7875				

**Tabla 46***Nivel de significancia en temperatura endset de la proteína*

<i>entre</i>	<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>	<i>sarcoplasmática prueba de Tukey.</i>
	A	76	t8	
	B	67	t6	
	C B	64	t4	
	C	63	t2	

**Tabla 47**

*Análisis de varianza (ANVA) en la entalpía de desnaturalización de la proteína sarcoplasmática (J/g).*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	0,9442	0,3147	206,05	<.0001	**
Especies	1	0,7339	0,7339	480,51	<.0001	**
Edades	1	0,0098	0,0098	6,41	0,0352	*
Especies x Edades	1	0,2004	0,2004	131,23	<.0001	**
Error	8	0,0122	0,0015			
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>0,9564</b>				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,9872	3,4571	1,1305				

**Tabla 48**

*Nivel de significancia en la entalpía de desnaturalización de la proteína sarcoplasmática entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	0,35323	t8
B	0,21350	t4
C	0,04607	t6
C	0,02897	t2

## Anexo 6

## Análisis estadístico de la proteína actina

Tabla 49

*Análisis de varianza (ANVA) en la temperatura onset en la actina.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	159,7085729	53,236191	55,96	<.0001	**
Especies	1	38,07421875	38,07421875	40,02	0.0002	**
Edades	1	72,44710208	72,44710208	76,15	<.0001	**
Especies x Edades	1	49,18725208	49,18725208	51,7	<.0001	**
Error	8	7,61065	0,9513313			
Total	11	167,3192229				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0.954514	1,3569	71,8770				

Tabla 50

*Nivel de significancia en la temperatura onset de la proteína actina entreprueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	78	t8
B	71	t4
B	70	t2
B	69	t6

**Tabla 51***Análisis de varianza (ANVA) en el peak temperatura en la actina.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	154,7813	51,5938	68,64	<.0001	**
Especies	1	47,9800	47,9800	63,83	<.0001	**
Edades	1	59,6971	59,6971	79,42	<.0001	**
Especies x Edades	1	47,1042	47,1042	62,67	<.0001	**
Error	8	6,01305	0,7516			
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>160,7943</b>				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,9626	1,1529	75,1954				

**Tabla 52***Nivel de significancia en el peak temperatura en la proteína actina entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	81,4067	t8
B	73,4450	t4
B	72,9833	t6
B	72,9467	t2

**Tabla 53**

*Análisis de varianza (ANVA) en el endset en la actina.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	86,7766	28,9255	167,43	<.0001	**
Especies	1	34,03700	34,0370	197,02	<.0001	**
Edades	1	29,3594	29,3594	169,94	<.0001	**
Especies x Edades	1	23,3802	23,3802	135,33	<.0001	**
Error	8	1,3820	0,1727			
Total	11	88,1586				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,9843	0,5262	78,9858				

**Tabla 54**

*Nivel de significancia en la temperatura endset en la proteína actina entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	83,6300	t8
B	77,7100	t6
B	77,4700	t4
B	77,1333	t2

**Tabla 55**

*Análisis de varianza (ANVA) en la entalpía de desnaturalización de la actina.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	3	0,2140	0,0713	22,78	0,0003	**
Especies	1	0,0415	0,0415	13,27	0,0066	*
Edades	1	0,1091	0,1091	34,85	0,0004	**
Especies x Edades	1	0,0633	0,0633	20,22	0,002	*
Error	8	0,0251	0,0031			
Total	11	0,2390				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,8952	20,2767	0,2759				

**Tabla 56**

*Nivel de significancia en la entalpía de desnaturalización en la proteína actina entre prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	0,38513	t6
A	0,35753	t2
A	0,3121	t4
B	0,04913	t8



## Anexo 7

**Análisis estadístico de la piel y músculo en la temperatura peak, onset y entalpía de congelación.**

**Tabla 57**

*Análisis de varianza (ANVA) en la peak temperatura de congelación de la piel y músculo de las especies Paco y Gamitana en la edad de juvenil y adulto.*

Fuente de variación	G.L	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	F-calculado	Pr>F	Nivel significancia
Tratamientos	7	2,5694	0,3671	43,37	<.0001	**
Especies	1	0,0376	0,0376	4,44	0,0512	N.S
Edades	1	0,0187	0,0187	2,21	0,1565	N.S
Tipo de tejido	1	2,2265	2,2265	263,1	<.0001	**
Especies*Edades	1	0,0234	0,0234	2,77	0,1155	N.S
Especies*Tipo de tejido	1	0,0759	0,0759	8,97	0,0086	*
Edades *Tipo de tejido	1	0,0155	0,0155	1,83	0,1947	N.S
Especies*Edades*Tipo de tejido	1	0,1717	0,1717	20,29	0,0004	**
Error	16	0,1354	0,0084625			
Total	13	2,70479583				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,949941	-206,3369	-0,045				

**Tabla 58**

*Nivel de significancia en la peak temperatura de congelación de la piel y músculo entre la prueba de Tukey.*

Tukey Agrupamiento	Media	Trat
A	0,35	t2
A	0,27667	t8
A	0,27667	t6
A	0,13667	t4
B	-0,14	t3
C B	-0,0326	t5
C B	-0,3666	t1
C	-0,5633	t7

**Tabla n 59**

*Análisis de varianza (ANVA) en la entalpía de congelación de la piel y músculo de las especies Paco y Gamitana en la edad de juvenil y adulto.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	7	43650,33	6235,76	2163,28	<.0001	**
Especies	1	10,64	10,64	3,69	0,0727	N.S
Edades	1	1859,97	1859,97	645,25	<.0001	**
Tipo de tejido	1	41121,79	41121,79	14265,7	<.0001	**
Especies*Edades	1	45,16	45,16	15,67	0,0011	*
Especies*Tipo de tejido	1	508,58	508,58	176,43	<.0001	**
Edades *Tipo de tejido	1	72,87	72,87	25,28	0,0001	**
Especies*Edades*Tipo de tejido	1	31,33	31,33	10,87	0,0046	*
Error	16	46,12	2,88			
Total	13	43696,45				
<b>R-cuadrado</b>		<b>C.V</b>	<b>Media</b>			
0,998945		1,342486	126,4675			

**Tabla 60**

*Nivel de significancia en la entalpía de congelación de la piel y músculo entre la prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	186,190	t8
B	170,623	t4
C	160,070	t6
D	154,560	t2
E	95,843	t3
F	88,427	t7
G	82,180	t1
H	73,847	t5

**Tabla 61**

*Análisis de varianza (ANVA) en la temperatura onset de congelación de la piel y músculo de las especies Paco y Gamitana en la edad de juvenil y adulto.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medios</b>	<b>F-calculado</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Nivel significancia</b>
Tratamientos	7	26,8545	3,8364	77,39	<.0001	**
Especies	1	0,0556	0,0556	1,12	0,3054	N.S
Edades	1	5,4483	5,4483	109,91	<.0001	**
Tipo de tejido	1	11,1453	11,1453	224,84	<.0001	**
Especies*Edades	1	4,7393	4,7393	95,61	<.0001	**
Especies*Tipo de tejido	1	2,0039	2,0039	40,43	<.0001	**
Edades *Tipo de tejido	1	0,0834	0,0834	1,68	0,2129	N.S
Especies*Edades*Tipo de tejido	1	3,3788	3,3788	68,16	<.0001	**
Error	16	0,7931	0,0496			
Total	13	27,6476				
<b>R-cuadrado</b>	<b>C.V</b>	<b>Media</b>				
0,971313	-7,00272	-3,179				

**Tabla 62**

*Nivel de significancia en la temperatura onset de congelación de la piel y músculo entre la prueba de Tukey.*

<b>Tukey Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Trat</b>
A	-1,4800	t7
B A	-1,8767	t1
B	-2,4450	t3
C	-3,1333	t8
D C	-3,7533	t4
D E	-4,1067	t6
D E	-4,1900	t5
E	-4,4500	t2