



**Universidad del Azuay**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Escuela de Ingeniería en Alimentos**

**“Elaboración de una barra energética funcional a base de una alga llamada  
*Durvillaea antarctica* (Cochayuyo)”**

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:

**Ingeniero en Alimentos**

**Autor:**

Estéfano Sebastián Segarra Sarmiento

**Director:**

Dr. Marco Antonio Lazo Vélez

**Cuenca, Ecuador**

**2026**

## **Dedicatoria**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida, la fuerza y la oportunidad de seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles, permitiéndole alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A mis abuelos y a mis tíos, gracias por su cariño, sus consejos y su apoyo constante, por estar presentes en cada etapa de este camino y por creer siempre en mí.

Pero, de manera muy especial, quiero dedicar este logro a mi madre. Gracias por tu amor incondicional, por tu esfuerzo incansable y por nunca dejarme rendirme. Has sido mi mayor inspiración y el pilar fundamental en cada paso que he dado. Este logro es tan tuyo como mío.

## **Agradecimientos**

Expreso mi sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, Marco Antonio Lazo Vélez, por su guía, apoyo y confianza a lo largo de este proceso, así como por brindarme la valiosa oportunidad de realizar una estancia corta en Chile, experiencia que enriqueció significativamente mi formación académica y personal.

Asimismo, deseo expresar mi agradecimiento a Sebastián Tobar y Nicolás Tobar por el apoyo brindado en Chile durante mi estancia y por recibirme cordialmente en las diferentes universidades en las que tuve la oportunidad de participar y aprender. Su apoyo y hospitalidad hicieron de esta experiencia una etapa muy valiosa para mi crecimiento académico y profesional.

A mis compañeros, gracias por su apoyo constante durante todo este tiempo. De manera especial, a Nicole y Mateo, por su ayuda en los análisis finales de mi tesis y por la paciencia que me brindaron en cada etapa.

Finalmente, a mi mejor amigo, gracias por estar presente desde el inicio de esta etapa académica y por acompañarme de manera incondicional a lo largo del camino. Tu apoyo y amistad han sido fundamentales, no solo durante mis estudios, sino también para toda la vida.

## **Agradecimientos Institucionales**

Este programa fue financiado por el grupo de Investigación NutrioOmics de la Universidad del Azuay mediante el proyecto 2025-0137, titulado “Suplementación nutricional en barras para actividad física intensa y entrenamiento deportivo: calórica, proteica y antiinflamatoria”.

## Resumen

La investigación tuvo como objetivo desarrollar y evaluar barras funcionales elaboradas con cohayuyo (*Durvillaea antarctica*), considerando sus propiedades sensoriales y funcionales. Las formulaciones #7, #8 y #9 fueron evaluadas sensorialmente en su estado original. Posteriormente, las mismas formulaciones fueron sometidas a una digestión gastrointestinal simulada *in vitro*, y los digestos obtenidos se utilizaron para determinar el índice glicémico estimado y evaluar la actividad antiinflamatoria mediante la inhibición de la producción de óxido nítrico (NO) en células RAW 264.7. Si bien todas las formulaciones presentaron índices glicémicos estimados superiores a 120, la barra #9 mostró el mayor porcentaje de inhibición de la producción de óxido nítrico (96 %). Estos resultados sugieren que esta formulación podría aportar una rápida disponibilidad de energía y, al mismo tiempo, contener compuestos bioactivos con potencial antiinflamatorio. No obstante, se requieren estudios adicionales para confirmar estos efectos.

Palabras clave: Cochayuyo, barras funcionales, fibra dietética, índice glicémico, actividad antiinflamatoria.

## **Abstract**

The aim of this study was to develop and evaluate functional snack bars formulated with cochayuyo (*Durvillaea antarctica*), considering their sensory and functional properties. Formulations #7, #8, and #9 were first evaluated for their sensory attributes in their original form. Subsequently, these formulations were subjected to a simulated *in vitro* gastrointestinal digestion, and the resulting digests were used to determine the estimated glycemic index and to evaluate anti-inflammatory activity by measuring the inhibition of nitric oxide (NO) production in RAW 264.7 cells. Although all formulations exhibited estimated glycemic index values above 120, bar #9 showed the highest inhibition of nitric oxide production (96%). These findings suggest that this formulation may provide a rapid source of energy while also containing bioactive compounds with potential anti-inflammatory properties. However, further studies are required to confirm these effects *in vivo*.

Keywords: Cochayuyo, functional bars, dietary fiber, glycemic index, anti-inflammatory activity.

## Índice

Dedicatoria.....	1
Agradecimientos .....	2
Agradecimientos Institucionales.....	3
Resumen.....	4
Abstract.....	5
Índice.....	6
Índice de Tablas .....	7
Índice de Ecuaciones.....	8
Índice de Anexos.....	9
1. Introducción .....	10
2. Materiales y métodos .....	13
2.1. Formulación y elaboración de la barra funcional.....	13
2.2. Aproximación preliminar del nivel de aceptación de las barras funcionales elaboradas...	13
2.3. Simulación de la digestión gastrointestinal <i>in vitro</i> .....	15
2.4. Determinación la capacidad antiinflamatoria mediante la cuantificación de la producción de óxido nítrico (NO) .....	15
2.5. Índice Glicémico estimado.....	15
2.6. Análisis estadístico.....	16
3. Resultados y discusión.....	17
3.1 Aproximación preliminar del nivel de aceptación de las barras funcionales.....	17
3.3 Determinación la capacidad antiinflamatoria mediante la cuantificación de la producción de óxido nítrico (NO) .....	18
3.4 Índice Glicémico estimado.....	19
4. Conclusiones y recomendaciones .....	20
5. Bibliografía .....	21
6. Anexos.....	24

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Porcentaje de ingredientes utilizados en cada formulación de barras elaboradas con cochayuyo .....	14
<b>Tabla 2</b> Determinación del análisis sensorial de barras elaboradas con cochayuyo .....	18
<b>Tabla 3</b> <i>Determinación de índice glicémico estimado e inhibición de producción de óxido nítrico</i> .....	18

## **Índice de Ecuaciones**

<b>Ecuación 1</b> Índice Glicémico .....	15
<b>Ecuación 2</b> El índice de hidrólisis (HI).....	15

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1</b> <i>Grafía para ICs individuales de 95% de Fisher. Diferencias de las medidas para TEXTURA</i> .....	24
<b>Anexo 2</b> <i>Gráfica para intervalos de TEXTURA vs. BARRA</i> .....	24
<b>Anexo 3</b> <i>Gráfica para ICs individuales de 95% de Fisher. Diferencias de las medidas para SABOR</i> .....	24
<b>Anexo 4</b> <i>Gráfica de intervalos de SABOR vs. BARRA</i> .....	25
<b>Anexo 5</b> <i>Grafica para ICs individuales de 95% de Fisher. Diferencias de las medidas para AROMA</i> .....	25
<b>Anexo 6</b> <i>Gráfica de intervalos de AROMA vs. BARRA</i> .....	25
<b>Anexo 7</b> <i>Grafica para ICs individuales de 95% de Fisher. Diferencias de las medidas para ACEPTABILIDAD GENERAL</i> .....	26
<b>Anexo 8</b> <i>Gráfica de intervalos de ACEPTABILIDAD GENERAL vs. BARRA</i> .....	26
<b>Anexo 9</b> <i>ICs individuales de 95% de Fisher. Diferencias de las medidas para INHIBICIÓN DE PRODUCCIÓN DE NO</i> .....	26
<b>Anexo 10</b> <i>Gráfica de intervalos de INHIBICIÓN DE PRODUCCIÓN DE NO vs. PRODUCTO</i> .....	27
<b>Anexo 21</b> <i>Grafica para ICs individuales de 95% de Fisher. Diferencias de las medidas para ÍNDICE GLICÉMICO ESTIMADO</i> .....	27
<b>Anexo 12</b> <i>Gráfica de intervalos de ÍNDICE GLICÉMICO ESTIMADO vs. PRODUCTO</i> .....	27

## 1. Introducción

En las últimas décadas, los cambios en los patrones de consumo alimentario, el incremento de las enfermedades crónicas no transmisibles y la creciente preocupación de los consumidores por mantener estilos de vida saludables han impulsado el desarrollo de alimentos funcionales como una de las principales tendencias dentro de la industria alimentaria contemporánea. En este contexto, la investigación científica se ha orientado hacia la búsqueda de ingredientes naturales capaces de aportar beneficios fisiológicos adicionales más allá de su valor nutricional básico, favoreciendo la prevención de enfermedades y el fortalecimiento de la salud humana. Según Cordero-Clavijo (2025a), los alimentos funcionales constituyen una de las áreas de mayor crecimiento dentro del sector alimentario debido a que combinan atributos nutricionales, tecnológicos y biológicos, respondiendo a las nuevas exigencias de consumidores cada vez más informados y conscientes de la relación entre alimentación y bienestar.

Dentro de este escenario, los recursos marinos han despertado un notable interés científico y tecnológico por su riqueza en compuestos bioactivos y su potencial aplicación en el desarrollo de productos alimenticios innovadores. Particularmente, las algas marinas han sido reconocidas como materias primas con elevado valor nutricional y funcional debido a su contenido de fibra dietética, polisacáridos sulfatados, minerales, vitaminas, compuestos fenólicos y antioxidantes naturales. Brown *et al.* (2014) sostienen que las algas marinas poseen diversos compuestos bioactivos que podrían contribuir favorablemente a la salud humana, destacando sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias e inmunomoduladores. Estos compuestos han sido relacionados con la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, metabólicas y gastrointestinales, así como con la regulación de la microbiota intestinal y la modulación de procesos inflamatorios. (Cherry *et al.*, 2019; Brown *et al.*, 2014).

Entre las macroalgas comestibles con mayor interés científico se encuentra *Durvillaea antarctica* (cochayuyo), especie ampliamente distribuida en las costas del Pacífico Sur y tradicionalmente consumida en Chile. Su relevancia nutricional se debe a su elevado contenido de fibra dietética, minerales esenciales y compuestos bioactivos como fucoïdanos, carotenoides y polifenoles. Diversos estudios han demostrado que estos compuestos presentan propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y moduladoras del metabolismo, por lo que el cochayuyo ha sido considerado un ingrediente con potencial nutracéutico (Tanna y Mishra, 2018; Brown *et al.*, 2014).

No obstante, pese a las ventajas nutricionales y funcionales atribuidas al cochayuyo, su incorporación en productos alimenticios de consumo masivo continúa siendo limitada. Entre las principales restricciones se encuentran las características sensoriales propias del alga, especialmente su intenso sabor y aroma marino, así como ciertas limitaciones tecnológicas relacionadas con su procesamiento e integración en matrices alimentarias complejas. Se ha mencionado que la aceptación sensorial y las preferencias culturales asociadas al consumo de productos marinos han sido identificadas como factores limitantes para la industrialización de las algas comestibles (Cherry *et al.*, 2019). En consecuencia, el desarrollo de nuevas formulaciones alimenticias requiere no sólo preservar las propiedades funcionales del ingrediente, sino también garantizar condiciones sensoriales adecuadas que favorezcan su aceptación por parte del consumidor.

En este sentido, las barras funcionales representan una alternativa tecnológica y comercialmente viable para la incorporación de ingredientes bioactivos provenientes de recursos naturales y marinos. Este tipo de productos se ha consolidado dentro del mercado de alimentos de conveniencia debido a su facilidad de consumo, portabilidad y posibilidad de enriquecer su composición nutricional mediante la incorporación de proteínas, fibras dietéticas, antioxidantes y otros compuestos funcionales. Granato *et al.* (2020) destacan que el desarrollo de alimentos funcionales exige un equilibrio entre estabilidad tecnológica, valor nutricional y aceptabilidad sensorial, elementos fundamentales para asegurar la viabilidad comercial del producto final.

Adicionalmente, la evaluación funcional de este tipo de productos requiere considerar no solo su composición proximal y aceptación sensorial, sino también el comportamiento biológico de los compuestos liberados durante la digestión gastrointestinal. En este contexto, los modelos de digestión *in vitro* constituyen herramientas ampliamente utilizadas para estimar la biodisponibilidad de compuestos bioactivos y analizar sus posibles efectos fisiológicos. De acuerdo con Cordero-Clavijo (2025b), la digestión simulada permite reproducir de manera controlada las condiciones del tracto gastrointestinal, facilitando el estudio de la liberación y estabilidad de metabolitos funcionales presentes en diferentes matrices alimentarias.

Asimismo, diversos estudios han demostrado que ciertos compuestos presentes en algas pardas poseen capacidad para modular procesos inflamatorios celulares mediante la inhibición de mediadores proinflamatorios como el óxido nítrico (NO). Brown *et al.* (2014) indican que los polisacáridos y compuestos fenólicos presentes en las algas marinas pueden ejercer efectos

antiinflamatorios significativos, contribuyendo potencialmente a la prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo y la inflamación crónica. De igual manera, la presencia de fibra dietética y polisacáridos complejos podría influir sobre la digestibilidad de carbohidratos y la velocidad de liberación de glucosa, aspectos directamente relacionados con el índice glicémico de los alimentos, según la clasificación propuesta por Foster-Powell *et al.* (2002), los alimentos se clasifican como de índice glicémico bajo (<55), medio (56–69) y alto ( $\geq 70$ ).

La formulación de barras funcionales a base de cochayuyo adquiere especial relevancia cuando se combina con ingredientes de alto valor nutricional como la *Chenopodium quinoa* (quinua) y la panela. La quinua ha sido reconocida internacionalmente por su elevado contenido de proteínas de alta calidad biológica, aminoácidos esenciales, minerales y fibra dietética. Vega-Gálvez *et al.* (2010) sostienen que la quinua posee un importante potencial funcional y nutricional debido a su composición equilibrada y a la presencia de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante. Por su parte, la panela constituye un edulcorante no refinado que, además de aportar propiedades sensoriales favorables, conserva minerales y compuestos fenólicos que incrementan el valor nutricional de las formulaciones alimenticias (Mesías *et al.*, 2013; Jaffé, 2015). Sin embargo, Mesías *et al.* (2013) advierten que durante los procesos térmicos pueden generarse compuestos derivados como el hidroximetilfurfural, cuya formación depende de las condiciones de procesamiento y almacenamiento, lo que hace necesario establecer controles tecnológicos adecuados.

La presente investigación se enfocó en el desarrollo y evaluación de barras funcionales elaboradas con *Durvillaea antarctica* (cochayuyo), quinua y panela, como una estrategia para promover el aprovechamiento sostenible de recursos marinos y el desarrollo de alimentos con valor agregado. Se evaluaron aspectos tecnológicos, nutricionales, sensoriales y biológicos, incluyendo composición proximal, aceptabilidad sensorial, digestión gastrointestinal *in vitro*, comportamiento glicémico estimado y potencial antiinflamatorio. Los resultados buscan aportar evidencia científica sobre el uso del cochayuyo como ingrediente funcional innovador y su potencial aplicación en el desarrollo de alimentos sostenibles y nutricionalmente beneficiosos.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1. Formulación y elaboración de la barra funcional**

Para la elaboración de las barras funcionales, dos ingredientes fueron tratados previamente. El primer producto cochayuyo (*Durvillaea antártica*) deshidratada (BuenaLimento, Rancagua, Chile) fue sometido a un proceso de cocción en una olla de presión (Oster BRISSAGO 5L), utilizando 1 kg de alga junto con 10 g de canela durante 60 minutos, con la finalidad de ablandar su matriz estructural y disminuir la intensidad de sus características organolépticas, principalmente aroma y sabor. Posteriormente, el cochayuyo cocido fue triturado en un mixer (Britania Bmx400P, Ecuador) hasta obtener una pasta homogénea. El segundo, la quinua (Líder, Santiago, Chile) fue sometida a cocción en una olla (Oster Sangerfield 3,2 L, Ecuador) a 96 °C durante 20 minutos. Posteriormente, fue triturada en licuadora (Oster BLSTBPST-013 1.5L) hasta obtener una pasta homogénea y deshidratada en horno a 75 °C durante 4 horas para la obtención de harina de quinua previamente cocida.

En este trabajo se desarrollaron un total de 10 formulaciones de barras funcionales. La Tabla 1 presenta los porcentajes de los ingredientes utilizados en las formulaciones de las barras funcionales elaboradas durante el estudio. Los ingredientes fueron mezclados manualmente durante 3 a 5 minutos hasta obtener una masa homogénea. Posteriormente, la masa fue moldeada en rectángulos de 7 × 5 cm y sometida a horneado a 180 °C durante 10 minutos.

### **2.2. Aproximación preliminar del nivel de aceptación de las barras funcionales elaboradas**

La aproximación preliminar del nivel de aceptación de las barras se realizó con un panel de 30 personas de origen chileno, lo que permitió contar con evaluadores familiarizados con el ingrediente. Para la evaluación sensorial de las barras funcionales se empleó una escala hedónica de 7 puntos, en la cual 1 correspondió a “me disgusta extremadamente”, 4 a “ni me gusta ni me disgusta” y 7 a “me gusta extremadamente”. Esta escala permitió determinar el nivel de aceptación del producto por parte de los consumidores potenciales, mediante la evaluación de atributos como sabor, aroma, textura y aceptabilidad genera

**Tabla 1**

*Porcentaje de ingredientes utilizados en cada formulación de barras elaboradas con cochayuyo.*

Ingredientes	Barra #1	Barra #2	Barra #3	Barra #4	Barra #5	Barra #6	Barra #7	Barra #8	Barra #9	CONTROL
Pasta cochayuyo	50%	50%	60%	55%	60%	60%	60%	60%	60%	100%
Harina cochayuyo	2,50%	2,50%	3%	4,75%	5%	5%	5%	5%	5%	15%
Panela	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	40%
Mani tostado	10%	-	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	-
Pasta quinoa	-	5%	5%	-	-	-	-	-	-	-
Harina de quinoa	-	-	-	-	10%	10%	10%	10%	-	10%
Harina tostada	5%	-	5%	5%	-	-	-	-	10%	-
Almendra	-	10%	-	-	-	-	-	-	-	-
Cereal de quinoa	-	-	-	-	-	3,50%	3,50%	3,50%	-	-
Cereal de arroz	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	-	-	-	3,50%	-
Cacao en polvo (amargo)	5%	5%	5%	5%	5%	-	5%	-	5%	-
Cacao en polvo (dulce)	-	-	-	-	-	5%	-	5%	-	-
Total formulación	101%	101%	117%	108%	119%	119%	119%	119%	119%	165%

### **2.3. Simulación de la digestión gastrointestinal *in vitro***

La digestión gastrointestinal simulada de la barra se realizó siguiendo la metodología descrita por Cordero-Clavijo (2025a). Brevemente, la digestión *in vitro* se llevó a cabo en tubos Falcon de 50 mL, en los cuales se colocaron 2 g de barra funcional. Inicialmente, las muestras fueron sometidas a condiciones similares a la cavidad bucal mediante la adición de 5 mL de solución salival que contenía  $\alpha$ -amilasa, ajustando el pH a 7.0. Posteriormente, las muestras se incubaron durante 10 minutos. Transcurrido este tiempo, se añadieron 10 mL de solución gástrica que contenía pepsina y mucina, ajustando el pH a 2.0 para simular las condiciones del estómago. Las muestras fueron incubadas durante 2 horas, retirándose cada 20 minutos para someterlas a agitación en vortex durante 30 segundos.

Finalmente, se agregaron 15 mL de solución intestinal compuesta por lipasa pancreática y sales biliares, ajustando el pH a 7.0 para simular las condiciones intestinales. La mezcla se incubó nuevamente durante 2 horas, realizando agitaciones en vortex cada 20 minutos durante 30 segundos. Todas las etapas de digestión se realizaron a 37 °C y 120 rpm. Una vez finalizado el proceso de digestión, las suspensiones obtenidas fueron centrifugadas a 8500 rpm durante 15 minutos a 4 °C. Posteriormente, los sobrenadantes fueron recuperados y sometidos a un proceso de liofilización a -80 °C y <100 Pa durante 96 horas.

### **2.4. Determinación la capacidad antiinflamatoria mediante la cuantificación de la producción de óxido nítrico (NO)**

En este estudio se empleó un ensayo *in vitro* para evaluar la capacidad antiinflamatoria mediante la cuantificación de la producción de óxido nítrico (NO) en modelos de células intestinales siguiendo la metodología descrita por Cordero-Clavijo (2025b). Se utilizaron las líneas celulares de macrófagos murinos (RAW 264.7), las cuales fueron cultivadas bajo condiciones controladas. Posteriormente, las células fueron estimuladas con lipopolisacárido (LPS) para inducir una respuesta inflamatoria, mientras que el medio de cultivo (DMEM) se utilizó como control basal. Tras la estimulación, se aplicaron diferentes tratamientos correspondientes a los digestos obtenidos, con el fin de evaluar su efecto sobre la modulación de la respuesta inflamatoria.

### **2.5. Índice Glicémico estimado**

El índice glicémico estimado *in vitro* (IGe) de las barras control, #7, #8 y #9. se determinó a partir de la cuantificación de glucosa liberada durante una digestión gastrointestinal simulada. Brevemente, se pesaron 0,5 g de muestra en un vaso de precipitación. A continuación, se agregan

0,5 mL de etanol al 95% y 17,5 mL de buffer de maleato de sodio 50 M. La mezcla se incubó a 37 °C con agitación a 170 rpm en un Orbital Shaker-incubator ES-20 (Biosan SIA, Riga, Latvia). Luego, se añaden 2,5 mL de solución de amilasa pancreática/amiloglucosidasa (PAA/AMG) y se recolectaron alícuotas a diferentes tiempos (10, 30, 60, 90, 120 y 180 min) A cada alícuota se le agregaron 3 mL de glucosa oxidasa peroxidasa (GOPOD) e incubaron a 50 °C durante 20 minutos. Finalmente, se colocaron las muestras en placas para medir la absorbancia a 510 nm (BioTek Instruments, Epoch, USA).

Las curvas de hidrólisis del almidón se construyeron graficando el porcentaje de almidón hidrolizado en función del tiempo. El área bajo la curva (AUC) se calculó utilizando el método trapezoidal. El índice de hidrólisis (HI) se determinó comparando el AUC de cada muestra con el de un alimento de referencia (glucosa o pan blanco), de acuerdo con la siguiente ecuación (1):

$$HI = \frac{AUC_{muestra}}{AUC_{referencia}} \times 100 \quad (1)$$

El índice glucémico estimado (eGI) se calculó a partir del índice de hidrólisis mediante la siguiente ecuación empírica:

$$eGI = 39.71 + 0.549 \times HI \quad (2)$$

Donde  $AUC_{muestra}$  corresponde al área bajo la curva de hidrólisis in vitro del almidón de la muestra de chutney, y  $AUC_{referencia}$  corresponde al área bajo la curva del alimento de referencia.

## 2.6. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos experimentales, estos fueron procesados y analizados mediante el software Minitab® *Statistical Software* (Minitab LLC, State College, PA, EE. UU.). Todas las determinaciones experimentales se realizaron por triplicado, a menos que se indique lo contrario. Con el fin de garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados, los datos se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar (DS). Para identificar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, se aplicaron análisis de varianza (ANOVA) de una y dos vías, considerando un nivel de significancia de  $p < 0,05$ . Cuando se detectaron diferencias significativas, se empleó la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD, por sus siglas en inglés) para determinar las diferencias entre tratamientos y establecer grupos homogéneos de medias.

### **3. Resultados y discusión**

#### **3.1 Aproximación preliminar del nivel de aceptación de las barras funcionales**

Los resultados de la evaluación sensorial (Tabla 2) mostraron que no existieron diferencias significativas entre las formulaciones #7, #8 y #9 para los atributos de textura, sabor, aroma y aceptabilidad general ( $p > 0,05$ ). Estos resultados indican que la incorporación de cochayuyo en los niveles evaluados no afectó negativamente la percepción sensorial de las barras. Este hallazgo es relevante debido a que las algas marinas suelen presentar características organolépticas particulares que pueden limitar su aceptación por parte de los consumidores (Cherry et al., 2019). En este estudio, la combinación del cochayuyo con ingredientes como panela, cacao, maní y quinua, junto con el procesamiento aplicado, habría contribuido a mantener la aceptabilidad del producto. De manera similar, Cox et al. (2017) reportaron que la incorporación de algas en productos alimenticios puede realizarse sin afectar significativamente la aceptación del consumidor cuando se emplean niveles adecuados de inclusión y formulaciones balanceadas. Los autores señalan que el impacto sensorial de las algas depende en gran medida de la concentración utilizada y de su interacción con los demás ingredientes de la formulación. En este sentido, una adecuada selección de los componentes de la matriz alimentaria puede contribuir a minimizar atributos sensoriales no deseados y favorecer una mejor aceptación del producto. Este comportamiento podría explicar los resultados observados en las barras evaluadas, donde el incremento de cochayuyo no generó diferencias significativas en los atributos sensoriales analizados.

Asimismo, la ausencia de diferencias significativas en la aceptabilidad general (Tabla 2) sugiere que las variaciones en la proporción de cochayuyo no influyeron de manera determinante en la preferencia de los panelistas. No obstante, los resultados deben interpretarse con cautela, ya que la evaluación fue realizada por consumidores chilenos, una población potencialmente más familiarizada con el consumo de cochayuyo. Por ello, sería recomendable realizar estudios posteriores con consumidores del mercado objetivo para confirmar la aceptación del producto en diferentes contextos culturales.

**Tabla 2***Determinación del análisis sensorial de barras elaboradas con cochayuyo*

Atributos	Barra #7	Barra #8	Barra #9
Textura	4,97±1,07 <sup>A</sup>	4,90±1,30 <sup>A</sup>	5,27±0,94 <sup>A</sup>
Sabor	4,97±1,19 <sup>A</sup>	5,00±1,29 <sup>A</sup>	5,43±0,86 <sup>A</sup>
Aroma	5,03±1,00 <sup>A</sup>	4,87±1,07 <sup>A</sup>	4,90±1,13 <sup>A</sup>
Aceptabilidad general	5,00±1,05 <sup>A</sup>	5,10±1,19 <sup>A</sup>	5,37±0,67 <sup>A</sup>

Los datos se expresan como media ± desviación estándar (D.E.) de tres réplicas. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tiempos, según ANOVA seguido de la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 3***Determinación de índice glicémico estimado e inhibición de producción de óxido nítrico*

Muestras	IGe%	NO %
Barra control	252,11 ± 13,26 <sup>a</sup>	33,33±10,42 <sup>c</sup>
Barra #7	233,71 ± 8,58 <sup>b</sup>	68,06±6,01 <sup>b</sup>
Barra # 8	217,62 ± 4,18 <sup>c</sup>	78,47±6,01 <sup>b</sup>
barra # 9	199,77 ± 3,15 <sup>d</sup>	95,83±0,00 <sup>a</sup>

Los datos se expresan como media ± desviación estándar (D.E.) de tres réplicas. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tiempos, según ANOVA seguido de la prueba de Fisher ( $p < 0,05$ ).

### **3.3 Determinación la capacidad antiinflamatoria mediante la cuantificación de la producción de óxido nítrico (NO)**

Los resultados de inhibición de óxido nítrico (NO) mostraron diferencias importantes entre las formulaciones evaluadas (Tabla 3). Las barras con cochayuyo presentaron porcentajes de inhibición superiores al control, destacándose la barra #9 con la mayor actividad. Considerando que la producción de NO es un marcador ampliamente utilizado para evaluar procesos inflamatorios en modelos celulares, estos resultados sugieren la presencia de compuestos con potencial actividad antiinflamatoria liberados durante la digestión gastrointestinal simulada (Kim et al., 2010).

Sin embargo, la mayor inhibición observada en la barra #9 no coincidió con la formulación que contenía la mayor proporción de cochayuyo, lo que indica que la respuesta biológica obtenida no dependió exclusivamente de la cantidad de alga incorporada. Este comportamiento podría estar relacionado con la bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos, ya que la liberación de moléculas funcionales durante la digestión está influenciada por la composición y estructura de la

matriz alimentaria (Parada & Aguilera, 2007). Asimismo, ingredientes presentes en la formulación, como la quinua, el cacao, el maní y la almendra, contienen compuestos fenólicos y otros metabolitos bioactivos con potencial antioxidante y antiinflamatorio (Palafox-Carlos et al., 2011). Por lo tanto, los resultados sugieren que la inhibición de NO observada fue consecuencia del efecto combinado de los diferentes ingredientes de la formulación y de las interacciones generadas durante la digestión gastrointestinal simulada, más que de la contribución exclusiva del cochayuyo.

### **3.4 Índice Glicémico estimado**

Los resultados obtenidos para el IGe mostraron diferencias significativas entre las formulaciones evaluadas ( $p < 0,05$ ) observándose los menores valores en la barra #9. Aunque todas las muestras presentaron valores elevados de IGe, las formulaciones con cochayuyo mostraron valores inferiores al control (Tabla 3). Es importante destacar que la barra control correspondió a la formulación con las mayores proporciones de pasta y harina de cochayuyo, así como de panela y quinua, por lo que las diferencias observadas no pueden atribuirse exclusivamente al contenido de alga. En particular, la mayor cantidad de panela presente en el control (Tabla 1) probablemente contribuyó a incrementar la disponibilidad de carbohidratos de rápida digestión y, en consecuencia, el IGe. Diversos estudios han demostrado que alimentos con un mayor contenido de carbohidratos disponibles generan una mayor liberación de glucosa durante la digestión y una respuesta glicémica más elevada (Singh et al., 2010).

Por otra parte, el cochayuyo aporta fibra dietética y polisacáridos estructurales capaces de modificar las propiedades de la matriz alimentaria y reducir parcialmente la accesibilidad de las enzimas digestivas al almidón (Cherry et al., 2019). Sin embargo, este efecto no fue suficiente para reducir sustancialmente el IGe del producto. En conjunto, los resultados sugieren que los menores valores observados en la barra #9 estuvieron influenciados por las diferencias en la composición de la formulación (Tabla 1), particularmente por una menor proporción de ingredientes ricos en carbohidratos de rápida digestión y por la presencia de componentes estructurales capaces de modular la digestión de los carbohidratos.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

La elaboración de barras funcionales a base de cohayuyo (*Durvillaea antarctica*), quinua y panela fue técnicamente viable, obteniéndose productos con características, sensoriales y funcionales adecuadas. La incorporación de cohayuyo no afectó negativamente la aceptación sensorial del producto, ya que no se observaron diferencias significativas en los atributos de textura, sabor, aroma y aceptabilidad general ( $p > 0,05$ ). En términos funcionales, las formulaciones con cohayuyo mostraron una mayor inhibición de la producción de óxido nítrico en comparación con el control, sugiriendo la presencia de compuestos con potencial actividad antiinflamatoria liberados durante la digestión gastrointestinal simulada. Finalmente, aunque todas las formulaciones fueron clasificadas como alimentos de alto índice glicémico, la barra #9 presentó los menores valores de %IG e IGe, lo que evidencia un posible efecto modulador de la formulación sobre la digestibilidad de los carbohidratos.

Se recomienda optimizar la formulación mediante la reducción de ingredientes ricos en azúcares de rápida digestión y la incorporación de fuentes adicionales de fibra y proteína para mejorar el perfil glicémico del producto. Asimismo, es necesario complementar la evaluación funcional con otros biomarcadores inflamatorios y modelos biológicos de mayor complejidad que permitan confirmar la actividad observada. Finalmente, se sugiere realizar estudios de vida útil, aceptación en consumidores del mercado objetivo y escalabilidad del proceso, con el fin de evaluar la factibilidad de una futura aplicación industrial.

## 5. Bibliografía

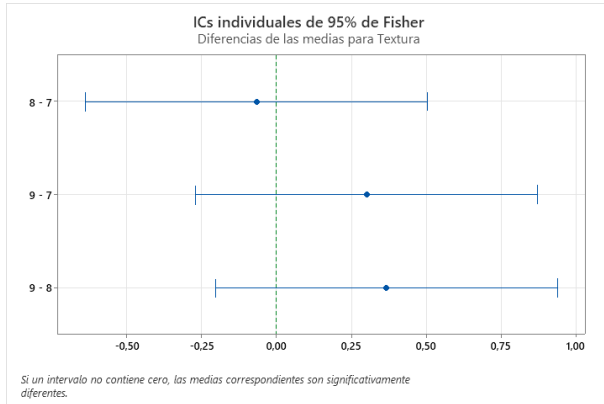
- Brown, E. M., Allsopp, P. J., Magee, P. J., Gill, C. I., Nitecki, S., Strain, C. R., y McSorley, E. M. (2014). Seaweed and human health. *Nutrition Reviews*, 72(3), 205–216. <https://doi.org/10.1111/nure.12091>
- Bourekoua, H., Djeghim, F., Ayad, R., Benabdelkader, A., Bouakkaz, A., Dziki, D., & Różyło, R. (2023). Development of energy-rich and fiber-rich bars based on puffed and non-puffed cereals. *Processes*, 11(3), 813.
- Boukid, F., Klerks, M., Pellegrini, N., Fogliano, V., Sanchez-Siles, L., Román, S., & Vittadini, E. (2022). Current and emerging trends in cereal snack bars: Implications for new product development. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 73(5), 610–629. <https://doi.org/10.1080/09637486.2022.2042211>
- Brouns, F., Bjorck, I., Frayn, K. N., Gibbs, A. L., Lang, V., Slama, G., & Wolever, T. M. S. (2005). Glycaemic index methodology. *Nutrition Research Reviews*, 18(1), 145–171. <https://doi.org/10.1079/NRR2005100>
- Cherry, P., O'Hara, C., Magee, P. J., McSorley, E. M., y Allsopp, P. J. (2019). Risks and benefits of consuming edible seaweeds. *Nutrition Reviews*, 77(5), 307–329. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy066>
- Cordero-Clavijo, M. (2025a). Evaluating sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) oil stability and physicochemical properties: A comparison between conventional extraction and supercritical fluids. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141132>
- Cordero-Clavijo, M. (2025b). Protein concentrates from Andean plants (*Plukenetia volubilis* and *Lupinus mutabilis*): Impact on protein quality and *in vitro* biological activity in bread. *ACS Food Science y Technology*. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.4c01079>
- Cox, S., Abu-Ghannam, N., & Gupta, S. (2017). An assessment of the sensory and health-related quality attributes of the brown seaweed *Himanthalia elongata* incorporated into bread. *Journal of Food Science and Technology*, 54(6), 1507–1517. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2574-3>
- Holdt, S. L., & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of applied phycology*, 23(3), 543-597.

- Instituto Nacional de Normalización. (2018). *NCh 841:2018. Alimentos—Determinación de humedad*. INN.
- Kim, K. N., Heo, S. J., Yoon, W. J., Kang, S. M., Ahn, G., Yi, T. H., & Jeon, Y. J. (2010). Fucoxanthin inhibits the inflammatory response by suppressing the activation of NF- $\kappa$ B and MAPKs in lipopolysaccharide-induced RAW 264.7 macrophages. *European Journal of Pharmacology*, 649(1–3), 369–375. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2010.09.032>
- Klerks, M., Román, S., Verkerk, R., & Sanchez-Siles, L. (2022). Are cereal bars significantly healthier and more natural than chocolate bars? A preliminary assessment in the German market. *Journal of Functional Foods*, 89, 104940.
- Foster-Powell, K. (01 de 07 de 2002). *pubmed.ncbi.nlm.nih.gov*. Obtenido de pubmed: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12081815/>
- Guerrero-Wyss, M. et al. (2023). *Durvillaea antarctica: A Seaweed for Enhancing Immune and Cardiometabolic Health and Gut Microbiota Composition Modulation*. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), 10779.
- Granato, D., Barba, F. J., Kovačević, D. B., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., y Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Food Research International*, 137, 109579. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109579>
- Mesías, M., Delgado-Andrade, C., y Morales, F. J. (2013). Formation of hydroxymethylfurfural in sugar processing. *Food Chemistry*, 138(1), 197–202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.031>
- Nielsen, S. S. (2003). *Food analysis* (3.<sup>a</sup> ed.). Springer. <https://books.google.com.ec/books?id=D9RwcUKQsHsC>
- Pallavi, B. V., Chetana, R., Ravi, R., & Reddy, S. Y. (2015). Moisture sorption curves of fruit and nut cereal bar prepared with sugar and sugar substitutes. *Journal of food science and technology*, 52(3), 1663-1669.
- Palafox-Carlos, H., Ayala-Zavala, J. F., & González-Aguilar, G. A. (2011). The role of dietary fiber in the bioaccessibility and bioavailability of fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science*, 76(1), R6–R15. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01957.x>
- Parada, J., & Aguilera, J. M. (2007). Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*, 72(2), R21–R32. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00274.x>

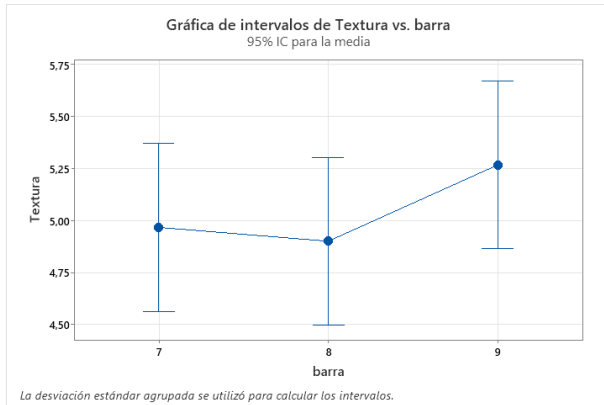
- Tahsiri, Z., Niakousari, M., Khoshnoudi-Nia, S., y Hosseini, S. M. H. (2017). Sensory evaluation of selected formulated milk barberry drinks using the fuzzy approach. *Food Science y Nutrition*, 5(3), 739–749. <https://doi.org/10.1002/fsn3.454>
- Tanna, B., y Mishra, A. (2018). Metabolites unravel nutraceutical potential of edible seaweeds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(6), 1613–1624. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12396>
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., y Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of *Durvillaea antarctica* and *Ulva lactuca*, two Chilean edible seaweeds. *Food Chemistry*, 119(4), 1560–1566. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.030>
- Zamora Méndez, B. A. (2017). *Evaluación del índice glucémico en un alimento funcional* [https://www.academia.edu/121250272/Evaluaci%C3%B3n\\_del\\_%C3%8Dndice\\_Gluc%C3%A9mico\\_en\\_un\\_Alimento\\_Funcional](https://www.academia.edu/121250272/Evaluaci%C3%B3n_del_%C3%8Dndice_Gluc%C3%A9mico_en_un_Alimento_Funcional)

## 6. Anexos

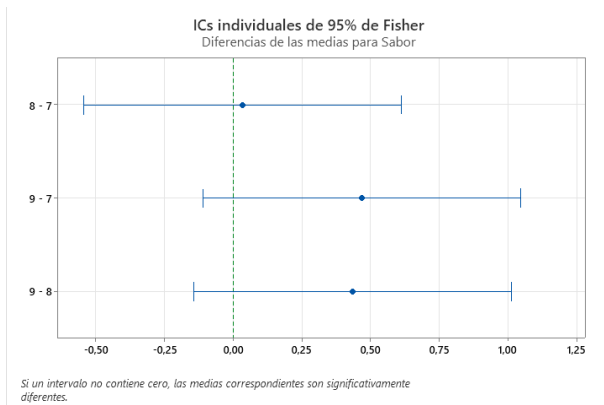
### Anexo 1 Gráfica para ICs individuales de 95% de Fisher. Diferencias de las medidas para TEXTURA



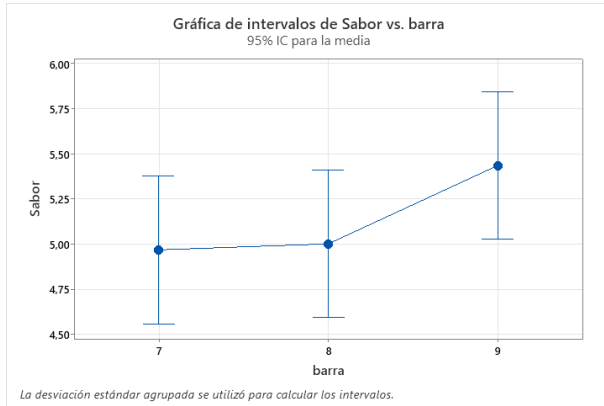
### Anexo 2 Gráfica para intervalos de TEXTURA vs. BARRA



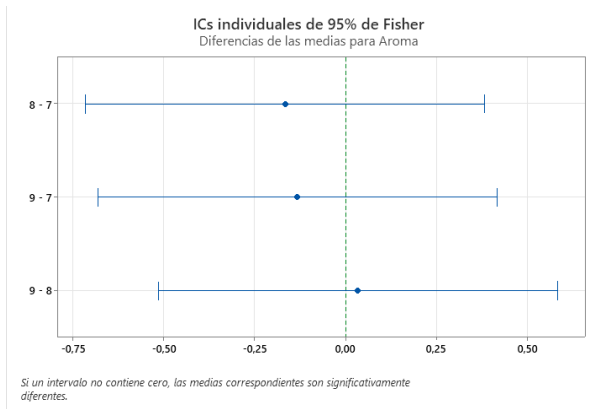
### Anexo 3 Gráfica para ICs individuales de 95% de Fisher. Diferencias de las medidas para SABOR



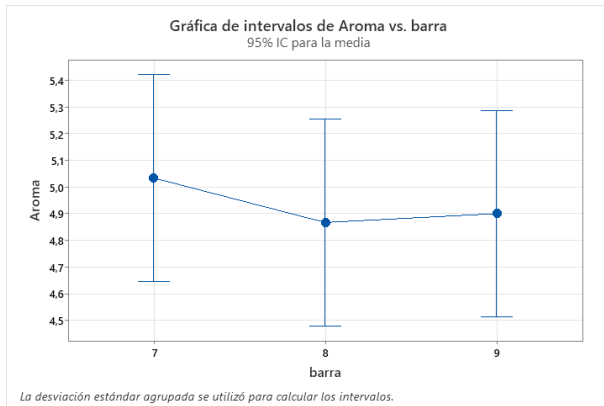
**Anexo 43** *Gráfica de intervalos de SABOR vs. BARRA*



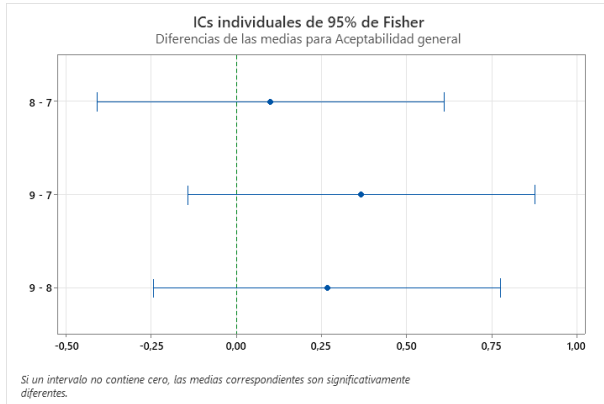
**Anexo 5** *Grafica para ICs individuales de 95% de Fisher. Diferencias de las medidas para AROMA*



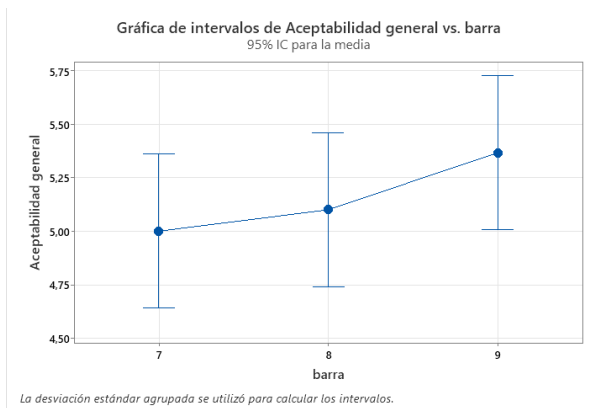
**Anexo 6** *Gráfica de intervalos de AROMA vs. BARRA*



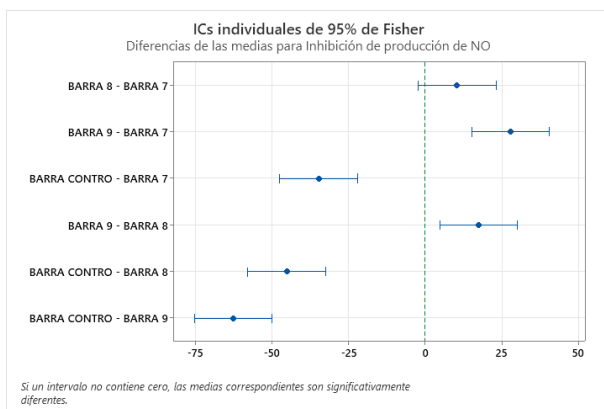
**Anexo 7** Grafica para ICs individuales de 95% de Fisher. Diferencias de las medidas para **ACEPTABILIDAD GENERAL**



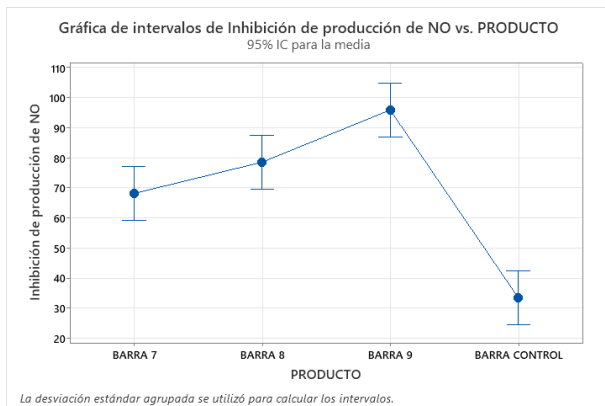
**Anexo 8** Gráfica de intervalos de ACEPTABILIDAD GENERAL vs. BARRA



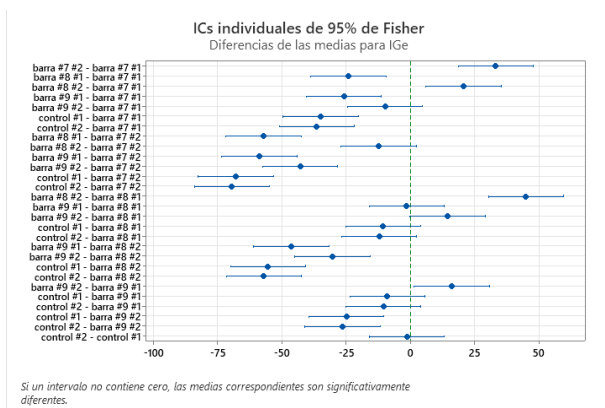
**Anexo 9** ICs individuales de 95% de Fisher. Diferencias de las medidas para **INHIBICIÓN DE PRODUCCIÓN DE NO**



### Anexo 40 Gráfica de intervalos de INHIBICIÓN DE PRODUCCIÓN DE NO vs. PRODUCTO



### Anexo 11 Gráfica para ICs individuales de 95% de Fisher. Diferencias de las medidas para ÍNDICE GLICÉMICO ESTIMADO



### Anexo 12 Gráfica de intervalos de ÍNDICE GLICÉMICO ESTIMADO vs. PRODUCTO

