



**FACULTAD DE OCEANOGRAFÍA, PESQUERÍA, CIENCIAS ALIMENTARIAS Y  
ACUICULTURA**

**CONTROL DE LA ACTIVIDAD DE AGUA ( $A_w$ ) DE SUSTANCIAS PROTEICAS  
PARA DEPORTISTAS PRODUCIDAS Y ENVASADAS EN SACHETS DE 10, 20 Y  
30 GRAMOS**

**Línea de investigación:**

**Nutrición humana y seguridad alimentaria**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Alimentario

**Autora:**

Espinola Ravello, Shirley

**Asesor:**

Marín Machuca, Olegario

ORCID: 0000-0002-0515-5875

**Jurado:**

Rodenas Seytuque, Pedro José

Ventura Guevara, Luis Leónidas

Blas Ramos, Walter Eduardo

**Lima - Perú**

**2024**



# CONTROL DE LA ACTIVIDAD DE AGUA (A<sub>w</sub>) DE SUSTANCIAS PROTEICAS PARA DEPORTISTAS PRODUCIDAS Y ENVASADAS EN SACHETS DE 10, 20 Y 30 GRAMOS

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://pdfcookie.com">pdfcookie.com</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="https://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://cybertesis.unmsm.edu.pe">cybertesis.unmsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://archivosdemedicinadeldeporte.com">archivosdemedicinadeldeporte.com</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://kidshealth.org">kidshealth.org</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="https://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	1%



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE OCEANOGRAFÍA, PESQUERÍA, CIENCIAS ALIMENTARIAS Y  
ACUICULTURA**

**CONTROL DE LA ACTIVIDAD DE AGUA ( $A_w$ ) DE SUSTANCIAS PROTEICAS  
PARA DEPORTISTAS PRODUCIDAS Y ENVASADAS EN SACHETS DE 10, 20 Y 30  
GRAMOS**

Línea de Investigación:

**Nutrición Humana y Seguridad Alimentaria**

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Alimentario

Autora:

**Espinola Ravello, Shirley**

Asesor:

**Marín Machuca, Olegario**

**ORCID: 0000-0002-0515-5875**

Jurado:

**Rodenas Seytuque, Pedro José**

**Ventura Guevara, Luis Leónidas**

**Blas Ramos, Walter Eduardo**

**Lima - Perú**

**2024**

**DEDICATORIA**

A Dios, mi familia, Tatiana Ravello, Milciades Espinola y a mis hermanas Sheila y Annie, porque son mi motor de todos los días, y a mis buenos amigos de la universidad, por creer y sacar lo mejor de mí.

## AGRADECIMIENTOS

A mi Padre Milciades Espinola Avalos y mi Madre Tatiana Ravello Sánchez cuyas destacadas virtudes siempre inspiraron y enseñaron las características que todo buen profesional y ser humano debe ser.

A mi respetable asesor **Dr. Olegario Marín Machuca**, por confiar en mi trabajo y en mi persona, por sus valiosos consejos cargados de experiencia en la investigación, y por darme la oportunidad de conocer y experimentar su calidad profesional.

A mi respetable profesora **Dra. Luz López** por siempre inspirarnos desde primer año a ser mejores profesionales y confiar en nosotros mismos en el ámbito profesional.

## INDICE

Resumen.....	12
Abstract .....	13
I. Introducción .....	14
1.1 Descripción y formulación del problema.....	15
1.2 Antecedentes .....	15
1.3 Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos .....	21
1.4 Justificación .....	21
1.5 Hipótesis .....	22
1.5.1 Hipótesis principal .....	22
1.5.2 Hipótesis auxiliar .....	22
II. Marco Teórico.....	23
2.1 Bases Teóricas de Proteínas en Polvo.....	23
2.1.1 Suplemento dietario .....	23
2.1.2 Proteína .....	23
2.1.3 Recuperación muscular.....	24
2.2 Teoría relacionada de Isotermas de Sorción .....	26
2.2.1 Curva de adsorción .....	26
2.2.2 Capa monomolecular .....	26
2.2.3 Actividad de agua .....	26

2.2.4	Humedad relativa .....	26
2.2.5	Contenido de Humedad en Equilibrio.....	26
2.3	Isotermas de Sorción.....	27
2.3.1	Adsorción.....	27
2.3.2	Las isotermas de adsorción .....	28
2.4	Utilidad de la Actividad de agua ( $A_w$ ) .....	29
2.5	Tratamiento de datos de la Actividad de agua ( $A_w$ ).....	30
2.6	Métodos para determinar la Actividad de agua ( $A_w$ ) .....	31
2.6.1	Equilibración Bitérmica .....	31
2.6.2	Método del equilibrio isopiéstico o las Isotermas de sorción de humedad.....	32
2.6.3	Higrómetro de Punto de Rocío .....	33
2.6.4	Método De Interpolación Gráfica .....	35
2.7	Factores que influyen sobre la determinación de la actividad del agua ( $A_w$ ) .....	35
2.7.1	Relación entre la Actividad de agua ( $A_w$ ) y el contenido de agua .....	35
2.7.2	Relación de la actividad de agua ( $A_w$ ) con la humedad relativa en equilibrio (HRE) 35	
2.7.3	Relación entre la temperatura y la actividad de agua ( $A_w$ ) .....	35
2.8	Tiempo de vida útil de la sustancia proteica.....	36
2.8.1	Teoría específica de la actividad de agua ( $A_w$ ).....	36
2.8.2	Función de los envases.....	38
2.8.3	Elección del proceso de mezclado .....	40
2.8.4	Factores que influyen en determinar el proceso de mezclado .....	40
III.	Método .....	41

3.1	Tipo de Investigación.....	41
3.2	Ámbito temporal y espacial .....	41
3.3	Variables .....	41
3.4	Población y muestra.....	42
3.5	Instrumentos.....	42
3.5.1	Materiales.....	42
3.6	Procedimientos.....	43
3.6.1	Metodología .....	43
3.6.2	Diseño Experimental.....	58
3.7	Análisis de Datos .....	59
IV.	Resultados.....	60
4.1	Cinética de ganancia de Humedad aplicada a sachet de 10 gramos .....	60
4.1.1	Interpretación de la Ecuación B.E.T.....	63
4.1.2	Método de Interpolación de Lagrange.....	64
4.2	Cinética de ganancia de Humedad aplicada a sachets de 20 gramos.....	66
4.2.1	Interpolación de la Ecuación B.E.T.....	69
4.2.2	Método de Interpolación de Lagrange.....	71
4.3	Cinética de ganancia de Humedad aplicada a sachet de 30 gramos .....	72
4.3.1	Interpretación de la Ecuación de B.E.T.....	75
4.3.2	Método de Interpolación de Lagrange.....	76
4.4	Determinación de Isotermas de adsorción a diferentes pesos.....	78

4.4.1	Prueba experimental aplicada a sachets de 10 gramos .....	78
4.4.2	Prueba experimental aplicada a sachets de 20 gramos .....	79
4.4.3	Prueba experimental aplicada a sachets de 30 gramos .....	80
V.	Discusión de Resultados .....	82
5.1	Determinación de la Cinética de ganancia de Humedad de proteína en polvo.....	82
5.2	Determinación de Isotermas de adsorción a diferentes pesos.....	86
VI.	Conclusiones.....	89
VII.	Recomendaciones.....	91
VIII.	Referencias.....	92
IX.	Anexos .....	103

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Ingredientes por la línea de producto Universal Nutrition iso whey vainilla-proteína (sachet de 30 g).....	40
<b>Tabla 2</b> Presentaciones de la mezcla proteica en sachet .....	52
<b>Tabla 3</b> Datos de humedad de equilibrio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $X_{eq}$ ), por triplicado y humedad de equilibrio promedio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $X_{eq}$ ) en función de la Actividad del Agua ( $A_w$ ).....	60
<b>Tabla 4</b> Datos de humedad de equilibrio promedio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $X_{eq}$ ) en función de la Actividad del Agua ( $A_w$ ) y los datos para la ecuación de B.E.T. ....	61
<b>Tabla 5</b> Datos de Actividad de Agua ( $A_w$ ) y Humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ) para la aplicación del método Lagrange .....	65
<b>Tabla 6</b> Datos de humedad de equilibrio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $X_{eq}$ ), por triplicado y humedad de equilibrio promedio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $X_{eq}$ ) en función de la Actividad del Agua ( $A_w$ ).....	66
<b>Tabla 7</b> Datos de humedad de equilibrio promedio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $X_{eq}$ ) en función de la Actividad del Agua ( $A_w$ ) y los datos para la ecuación de B.E.T. ....	67
<b>Tabla 8</b> Datos de Actividad de Agua ( $A_w$ ) y Humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ) para la aplicación del método Lagrange .....	71
<b>Tabla 9</b> Datos de humedad de equilibrio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $X_{eq}$ ), por triplicado y humedad de equilibrio promedio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $X_{eq}$ ) en función de la Actividad del Agua ( $A_w$ ).....	72

<b>Tabla 10</b> Datos de humedad de equilibrio promedio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $X_{eq}$ ) en función de la Actividad del Agua ( $A_w$ ) y los datos para la ecuación de B.E.T. ....	73
<b>Tabla 11</b> Datos de Actividad de Agua ( $A_w$ ) y Humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ) para la aplicación del método Lagrange .....	77

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fenómeno de Adsorción.....	27
<b>Figura 2.</b> Fenómeno de superficie.....	28
<b>Figura 3.</b> Diferencia entre adsorbente, el adsorbato y el adsortivo.....	29
<b>Figura 4.</b> Determinación de la Aw por la técnica de equilibración Bitérmica.....	32
<b>Figura 5.</b> Isotermas de adsorción y desorción de agua .....	33
<b>Figura 6.</b> Higrómetro de punto de rocío (AQUALAB 4TE) .....	34
<b>Figura 7.</b> Relación de la actividad de agua y temperatura (granos).....	36
<b>Figura 8.</b> Traslado de sacos con insumos .....	47
<b>Figura 9.</b> Balanza Industrial Ventus con Plataforma y Torre B-300T 300 kg.....	47
<b>Figura 10.</b> Mezclador Doble Cono .....	48
<b>Figura 11.</b> Cilindro movable Industrial .....	49
<b>Figura 12.</b> Rueda del Cilindro movable industrial .....	50
<b>Figura 13.</b> Muestreo de textura y sensorial de la Mezcla proteica .....	50
<b>Figura 14.</b> Envasadora vertical, MK-60KZ .....	52
<b>Figura 15.</b> Tipos de bolsas selladas .....	53
<b>Figura 16.</b> Diagrama de flujo para línea de mezcla en seco de proteínas en polvo envasadas en sachet.....	55
<b>Figura 17.</b> Etapas ejecutadas en la investigación.....	58
<b>Figura 18.</b> Linealización de la Ecuación de BET para muestra de la categoría de 10 gramos.....	62
<b>Figura 19.</b> Linealización de la Ecuación de BET .....	68
<b>Figura 20.</b> Linealización de la Ecuación de BET .....	74

<b>Figura 21.</b> Representación de la isoterma de adsorción, para el sachet de 10 gramos de proteína en polvo para deportistas. ....	78
<b>Figura 22.</b> Representación de la isoterma de adsorción, para el sachet de 20 gramos de proteína en polvo para deportistas .....	79
<b>Figura 23.</b> Representación de la isoterma de adsorción, para el sachet de 30 gramos de proteína en polvo para deportistas. ....	80

## RESUMEN

**Objetivo:** Se ha considerado útil examinar el estado de conservación de los suplementos alimenticios destinado a individuos con intensa actividad física, dado su impacto en el desarrollo muscular. En este contexto, la Actividad de agua ( $A_w$ ) constituye un parámetro esencial para evaluar su estabilidad, siendo imprescindible que su contenido acuoso se mantenga por debajo del 10%. **Método:** Se evaluó la Actividad de agua ( $A_w$ ) en sachets de 10, 20 y 30 gramos de sustancia proteica. Utilizando la temperatura de equilibrio y el ajuste de humedad, a través del equipo Aqualab-4TE. Se determinó el contenido de humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ) por triplicado, se realizó una media simple y con esta humedad de equilibrio promedio ( $\overline{X_{eq}}$ ) se realizó el análisis por la ecuación de BET. **Resultados:** En los tres casos la actividad del agua ( $A_w$ ) no superó el valor de 0.39 y ( $\overline{X_{eq}}$ ) no superó el 13 %; por esto se usó BET. Se obtuvo el valor de BET ( $C$  y  $X_1$ ) para hallar el porcentaje de agua para las tres muestras: 5.47%; 6.13% y 7.66 % de agua. **Conclusiones:** Las correlaciones de humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ) en función de la actividad de agua ( $A_w$ ) muestran coeficientes de correlación  $r$  de Pearson y coeficiente de determinación  $r^2$  de:  $r = 0.99723$  y  $r^2 = 0.9943$  (para el sachet de 10 gramos);  $r = 0.9843$  y  $r^2 = 0.9688$  (para el sachet de 20 gramos) y,  $r = 0.9743$  y  $r^2 = 0.9492$  (para el sachet de 30 gramos), mostrando, en los tres casos, una correlación alta entre Actividad de agua y humedad de equilibrio.

**Palabras clave:** Actividad de agua, conservación, ecuación de BET, Humedad de equilibrio, sustancias proteicas.

## ABSTRACT

**Objective:** It was deemed useful to examine the preservation status of dietary supplements intended for individuals engaged in intense physical activity, given their impact on muscle development. In this context, water activity ( $A_w$ ) serves as a key parameter for assessing stability, making it essential to maintain moisture content below 10%. **Method:** Water activity ( $A_w$ ) was evaluated in sachets containing 10, 20, and 30 grams of protein substance. The analysis was conducted using equilibrium temperature and humidity adjustment with the Aqualab-4TE device. The equilibrium moisture content ( $X_{eq}$ ) was determined in triplicate, and a simple mean was calculated. This average equilibrium moisture ( $\overline{X_{eq}}$ ) was then used for analysis via the BET equation. **Results:** In all three cases, water activity ( $A_w$ ) did not exceed 0.39, and ( $\overline{X_{eq}}$ ) remained below 13%; thus, the BET model was applied. The BET values ( $C$  y  $X_1$ ) were obtained to determine the water percentage for the three samples: 5.47%, 6.13%, and 7.66%. **Conclusions:** The equilibrium moisture correlations ( $X_{eq}$ ) as a function of water activity ( $A_w$ ) exhibited Pearson correlation coefficients  $r$  and coefficient of determination  $r^2$  of:  $r=.99723$  and  $r^2 = .9943$  (for the 10 gram sachet);  $r=.9843$  and  $r^2 = .9688$  (for the 20 gram sachet) and,  $r=.9743$  and  $r^2 = .9492$  (for the 30 gram sachet), showing, in all three cases, a high correlation between water activity and equilibrium moisture.

**Key words:** water activity, conservation, BET equation, equilibrium moisture, protein substances.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde hace unos años el número de personas entusiastas o comprometidas profesionalmente con los deportes de resistencia ha aumentado exponencialmente. El ser humano es intrínsecamente competitivo, lo que alimenta la necesidad de mejorar en cualquier cosa para triunfar en el deporte (Vilella, 2021). La actividad física y el deporte han adquirido gran relevancia en la sociedad actual, pues han generado tendencias para mejorar el rendimiento, la fuerza y la masa muscular mediante el consumo de suplementos alimenticios (Alejo et al., 2020). El ejercicio físico se ciñe a reglas de juego y se lleva a cabo metódicamente con el fin de alcanzar un objetivo específico que es la competición, se denomina deporte. El deporte también se considera una actividad relacionada con la salud que promueve el bienestar físico, mental y social de sus participantes de una manera que entraña un riesgo limitado (Fernández, 2019). Asimismo, la Actividad de agua ( $A_w$ ) es una de las herramientas más importantes en la predicción de la estabilidad de los alimentos, cuyos cambios deteriorativos se ha relacionado con este parámetro (Badui, 2006).

El control de  $A_w$  en la industria de sustancias proteicas para deportistas no es aplicada ampliamente en el rubro de mezclas proteínicas para deportistas. La determinación de calidad de las mezclas, mediante la Actividad de agua ( $A_w$ ), es importante para el proceso posterior de Sachetado y facilita la obtención de un producto inocuo y de calidad; evitando de esta manera retiradas de productos del mercado y pérdidas económicas para los productores; en el sentido que el retiro de este tipo de productos del mercado daña la reputación de la marca (BioMerieux, 2023).

En este sentido, en el presente trabajo de tesis se propone como objetivo, determinar los parámetros óptimos de Actividad de agua ( $A_w$ ) en la producción de sustancias proteicas para deportistas, envasadas en Sachets, el cual concretamente se desarrollará para verificar la calidad de las mezclas proteínicas enfocado en los deportistas. Evaluándose los parámetros

para el procesamiento óptimo, así como presentar al consumidor un producto con calidad química, física y microbiológica; manteniendo del mismo modo con características en el producto final.

### **1.1 Descripción y formulación del problema**

En la producción de compuestos proteicos, orientado al consumo por deportistas y actividades similares tiene sus principales dificultades en la cantidad de agua que se debe considerar en los componentes de mezcla para conservar los parámetros de envasado y minimizar las dificultades de formación de grumos y apelmazamiento. Las dificultades que se presentan, por lo general, están en sachets de 10, 20 y 30 gramos, las cuales podemos mencionar el mal sellado de los sachets, contenido de humedad, apelmazamiento de la mezcla por ser sustancias higroscópicas y por el contenido de aminoácidos. Por lo que se plantea lo siguiente: ¿De qué manera influye la Actividad de agua ( $A_w$ ) en Sachets en la producción de sustancias proteicas para deportistas, envasadas en sachet de 10, 20 y 30 gramos para determinar los parámetros óptimos de ( $A_w$ )?

### **1.2 Antecedentes**

Es preciso analizar las aportaciones desde diferentes puntos de vista los trabajos más significativos en el mencionado trabajo.

La alimentación del deportista influye de una manera fundamental en su salud y en su rendimiento deportivo, ya que aporta al individuo que realiza la actividad física, permitiéndoles alcanzar su máximo potencial y lograr los resultados deseados (Nieves et al., 2019).

Los suplementos nutricionales son productos alimenticios que tienen como objetivo, complementar la dieta humana mediante la adición de uno o más nutrientes, que contribuyen a

la salud del ser humano, y que pueden comercializarse en estado líquido, semisólido o sólido y son consumido solamente por vía oral; para así mantener y optimizar la salud, dar un apoyo a situaciones patológicas, y brindar un complemento alimenticio en situaciones fisiológicas y en actividades deportivas (Aymara y Valdivia, 2017).

El consumo de sustancias proteicas y energéticas es una práctica consecutiva en los deportistas. Los deportistas consumen con el fin de mejorar el rendimiento y la salud, e incluso en algunos casos por motivos económicos bajo el patrocinio de algunas marcas comerciales (Martínez et al., 2020).

La forma en que el organismo reacciona a la actividad física está muy influida por las sustancias proteicas, ya que cualquier deportista sabe más que el entrenamiento de fuerza y, como resultado, el musculo utiliza plenamente las proteínas específicas necesarias para mejorar su rendimiento (Garthe y Ramsbottom, 2020).

Los suplementos de proteína y/o aminoácidos, que contienen un porcentaje de agua entre 6 y 9%, actualmente son consumidos por atletas, deportistas que practican actividad física, ejercicio físico y/o deporte de forma recreacional. Los suplementos de proteína no tienen un efecto significativo en el aumento de la masa muscular y fuerza, aunque sí podrían tener un efecto positivo en el aumento del rendimiento y la masa muscular en deportistas con ingesta dietética y entrenamiento adecuados, después de realizar entrenamiento de fuerza prolongado en el tiempo (Blanco y Palma, 2017).

Los suplementos de aminoácidos, que contienen actividad del agua entre .12 y .28; afirman que mejoran la resistencia y reducen la descomposición de proteínas y los dolores musculares provocados por el ejercicio (Anzilotti, 2022).

La mayoría de los suplementos de proteínas, por lo general envasados en cantidades entre 10 y 50 gramos, están fabricados con las proteínas caseína y suero de leche, y suelen estar en venta en polvo y pueden ser mezclados con agua, leche, un sustituto de la leche u otro tipo

de líquido. Es una forma de ganar musculatura con este suplemento, ya que estos ayudan a los deportistas que no ingieren cantidad suficientes de proteínas en su dieta (National Institutes of Health, 2020).

Los suplementos nutricionales, que deben tener un contenido de agua por debajo del 10%, consumidos por los deportistas, estos productos están diseñados para satisfacer las necesidades nutricionales específicas de los deportistas en función de diversos factores (como el tipo y la intensidad del ejercicio, la temporada del año, la edad, la condición física y entorno exterior), en un esfuerzo por ayudarles a alcanzar y mantener un estado de salud óptimo y maximizar su rendimiento deportivo (Castillo et al., 2022).

Los suplementos nutricionales para deportistas de alto rendimiento se producen en todo el mundo, da grandes beneficios para los practicantes de actividad física y al público en general; donde las cantidades, la fabricación y las redes de distribución reflejan las grandes perspectivas de desarrollo. En las últimas décadas, un pequeño número de empresas ha dominado la fabricación de suplementos nutricionales que están ubicadas en naciones con niveles avanzados de industrialización, que pueden garantizar la calidad del producto que esta certificado y altos costos para los consumidores (López et al., 2022).

Cabe resaltar que las proteínas que se recomiendan en el ámbito deportivo son consideradas proteínas de alta calidad y se caracterizan por contener mayores cantidades de proteínas, entre ellos destacan: las proteínas extraídas de la caseína que representa el 80 a 82% de las proteínas encontradas en la leche (el resto se encuentran en el suero) (Ordúz et al., 2018).

Contreras (2019) estudio el fenómeno de la adsorción de semilla de Chía a partir del Mucilago liofilizado, para la construcción de isothermas, en base a diferentes parámetros como el CHE, el  $X_m$  (monocapa) y  $A_w$ . Aplicando seis modelos: B.E.T., G.A.B., Lewicki y Halsey hace uso de dos parámetros; y Oswin y Henderson. La muestra se deshidrato usando un liofilizador. Mediante el método gravimétrico se halló las isothermas de adsorción ( $25^{\circ}\text{C}$ ,  $35^{\circ}\text{C}$

Y 40°C), en celdas de equilibrio con solución saturada. A través del equipo Aqualab se midió la actividad del agua, además del contenido de Humedad en equilibrio (CHE) y la temperatura. Se obtuvo que para el contenido de humedad en la monocapa [0.355-0.278]  $\left(\frac{kg\ H_2O}{100\ Kg\ S.S.}\right)$ , parámetro K a 25°C,35°C,40°C es .872; .963 y 1.010. La aplicación matemática más satisfactoria por regresión no lineal fue G.A.B en comparación con el modelo B.E.T., no obstante, ambos parámetros intrínsecos representan una importancia física en el proceso de adsorción. Los valores obtenidos para área de adsorción específica (So) son 277.517, 186.437 y 141.692. De manera similar, la disminución en el área de superficie de adsorción específica revela que cuando aumenta la temperatura, disminuyen las energías de enlace correspondientes en la monocapa. Finalmente, las isothermas de adsorción construidas según los datos experimentales tiene una forma de sigmoide, tipo II.

Alvarado et al. (2020) comparo y estudio para tres variedades de quinua como INIA Salcedo (IN), Negra Collana (NC) y Pasankalla Roja (PR), malteadas y no malteadas para determinar las isothermas de adsorción a 25°C y la vida útil de las muestras. Se hallaron las isothermas, colocando 2 gramos de muestra en un equipo de analizador de actividad de agua (Aw), y se utilizó un análisis gravimétrico para establecer el contenido de humedad inicial. Se determinó a través de los modelos de B.E.T., G.A.B, Henderson, Halsey y Oswin con los datos experimentales. Finalmente se obtuvo que el modelo GAB, el cual mostro buena concordancia con los datos experimentales con coeficiente de correlación r de Pearson superior a 0,9 con un  $E\% < 10\%$ . De la misma manera por medio del modelo Heiss y Eichner, a un 87% HR de almacenamiento de las muestras, se logró obtener la vida útil de las muestras, dentro de bolsas de polietileno con un espesor de 70  $\mu m$ . Aplicadas para los tres tipos de harina de quinua no malteado: IN con 16.1, NC con 16.6 y PR con 30.1 meses. Lo obtenido para harina de quinua

malteadas son: IN con 23.0, NC con 25.2 y PR 39.7 meses a 25°C. Se puede aseverar que el proceso de malteado aumenta la vida útil de las harinas.

Noguera y Riveroc (2020) en su trabajo, modeló las propiedades termodinámicas del café soluble y halló las isothermas dinámicas de humedad. De manera similar, a través del método dinámico del punto de rocío (DDI) se obtuvieron las isothermas en las muestras a 20,25,35 y 40°C a una actividad de agua entre .10 y .90. Se exhibió un comportamiento del tipo III para isoterma de sorción en café soluble, representativo de alimentos con elevados compuestos solubles. Por último, el contenido de humedad aumenta finalmente hasta un rango de .25 a .65  $A_w$  a medida que aumenta la temperatura. El decrecimiento de calor esotérico se ve afectada directamente por el aumento de humedad, indican que es un proceso instintivo la ganancia de humedad en la muestra de café soluble. Se sugiere usar un material de empaque para conservar el contenido de humedad menor que la Monocapa (2.61- 2.87 g/100g base seca) de alta barrera y que el valor de  $A_w$  no aumente por encima de (.45,.40,.30 y .27) en rango de temperatura de 20,25,35 y 40°C, con el propósito de tener máxima estabilidad y calidad en el almacenamiento.

Saldaña (2020) se propone el cálculo de las isothermas de adsorción y de sus parámetros correspondientes en harina de Haba mediante modelos matemáticos tiene como objetivo la evaluación y comparación. Los modelos elegidos son: Henderson, Halsey, Currie, BET y GAB. Puede observarse que poseen una forma sigmoideal en las curvas obtenidas experimentalmente a 20 °C, 30 °C y 40°C. Según los resultados, los valores de la capa mono molecular fueron de 7.51 g de agua/ 100 g.m.s a 20°C, 6.89 g de agua/ 100 g.m.s. a 30°C y 6.49 g de agua/ 100 g.m.s a 40°C. . El modelo G.A.B. también mostro una mejor correlación (.995), un error relativo menor (.997) para 20°C, (.998) para 30°C y (2.47) para 40°C, y un error relativo 1.23 para la temperatura de 20°C ,2.3 para 30 °C, y 1.23 para 40°C, según la regresión. La misma actividad

de agua se traduce finalmente en un descenso de los niveles de humedad en función de la temperatura.

Coaquira y Delgado (2022) propuso como objetivo evaluar las isotermas de adsorción de harina de torta de castaña de graficas obtenidas a (35,44 y 55°C), haciendo uso del método gravimétrico estático, en niveles de Actividad del agua ( $A_w$ ) de .0979 a .8880. Se uso dato del análisis de modelos matemáticos comunes en isoterma de alimentos (GAB, BET, Halsey, Oswin, Chung-pfost y Henderson). Finalmente, los gráficos obtenidos mostraron similitud a las isotermas de tipo II. Este comportamiento es típico de alimentos con mayor contenido de proteínas. Los modelos que muestran un buen ajuste fueron Oswin y GAB, la temperatura de mejor ajuste es de 45°C a un  $R^2$  de .9848 y error porcentual relativo de 4.6077%. De la misma forma la humedad de monocapa de GAB es dependiente de la temperatura, reduciendo desde 0.0539-0.0324) g H<sub>2</sub>O/gramo de masa seca a las tres categorías de temperatura. Asimismo, las condiciones adecuadas de humedad y temperatura para almacenar el producto son a humedades inferiores a 6.67% y a HR de ambiente <60%, para 35°C, 45°C y 55°C. Si la HR es mayor a 60% y el contenido de humedad mayor a 6.67 %, podría verse afectada la calidad del producto.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 *Objetivo general*

Determinar los parámetros óptimos de Actividad de agua ( $A_w$ ) tales como: contenido de agua (g de agua/ 100 g de sólido seco) ( $X$ ) y el valor de la capa monomolecular ( $X_m$ ) en sustancias proteicas para deportistas, producidas y envasadas en sachet de 10, 20 y 30 gramos.

#### 1.3.2 *Objetivos específicos*

Determinar los parámetros de la actividad del agua ( $A_w$ ) ( $X$  y  $X_m$ ) de sustancias proteicas para deportistas, producidas en Sachets de 10 gramos.

Determinar los parámetros de la actividad del agua ( $A_w$ ) ( $X$  y  $X_m$ ) de sustancias proteicas para deportistas, producidas en Sachets de 20 gramos.

Determinar los parámetros de la actividad del agua ( $A_w$ ) ( $X$  y  $X_m$ ) de sustancias proteicas para deportistas, producidas en Sachets de 30 gramos.

Comparar la influencia de los parámetros de la actividad del agua ( $A_w$ ) ( $X$  y  $X_m$ ); para sustancias proteicas en sachets de 10, 20 y 30 gramos; respectivamente.

### 1.4 Justificación

Las Empresas elaboradoras de productos orientados al consumo del sector Deportivo en el Perú comercializan los productos en diferentes presentaciones, en el caso de la Proteínas en polvo para deportistas, esta se comercializa como productos en Sachets o Potes tanto en importación como para exportación, por lo que una forma de diversificar la Industria dedicada a la producción de sustancias y alimentos para los deportistas, es orientarlo a un desarrollo científico de investigación en el mejor uso de este recurso, que es un suplemento energético, aplicando tecnología de control de calidad y de producción, con nuevas propuestas de valor

agregado debido a la globalización de los mercados, donde se busca el desarrollo de productos, bajo un enfoque deportivo, que satisfagan las exigencias y necesidades del consumidor.

Por lo indicado, este trabajo de investigación responde a la necesidad de aplicar parámetros de control de procesos en la producción de sustancias proteicas para deportistas mediante el Control de la cinética de la Actividad de Agua ( $A_w$ ); envasadas en sachet, conteniendo un alto valor nutritivo y mejorando la resistencia en deportes de corta y larga duración que los deportistas necesitan en la actualidad y se justifica fehacientemente en virtud que los datos de actividad del agua ( $A_w$ ) para valores entre 0.05 y 0.40 se correlacionaron mediante un análisis de regresión lineal por el método de los mínimos cuadrados.

Al diseñar y evaluar, adecuadamente, productos proteicos a base de mezclas idóneas en cuanto a cantidades y calidades; se estará justificando la presente investigación. Por lo mencionado, el presente tema propuesto está, no solo justificado, sino además validado.

## **1.5 Hipótesis**

### ***1.5.1 Hipótesis principal***

**Ho:** ¿Será posible determinar los parámetros óptimos de Actividad de agua ( $A_w$ ); tales como contenido de agua ( $X$ ) y el valor de capa monomolecular ( $X_m$ ) en Sachets en la producción de sustancias proteicas orientadas al consumo de deportistas envasadas en sachet de 10, 20 y 30 gramos?

### ***1.5.2 Hipótesis auxiliar***

**Ha:** ¿No será posible determinar los parámetros óptimos de Actividad de agua ( $A_w$ ); tales como contenido de agua ( $X$ ) y el valor de capa monomolecular ( $X_m$ ) en Sachets para la producción de sustancias proteicas orientadas al consumo de deportistas envasadas en sachet de 10, 20 y 30 gramos?

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Bases Teóricas de Proteínas en Polvo

#### 2.1.1 *Suplemento dietario*

Suplemento dietario se define como un alimento nutricional y deportivo que brinda energía y nutrientes de forma diferente a los alimentos normales como un apoyo nutricional (Maughan et al., 2018). Según MINCETUR (2020) es definida como Suplemento alimenticio a los productos que son elaborados para adicionar o complementar la alimentación normal odiaría con efecto nutricional fisiológico, puedan usar vitaminas minerales y/otros ingredientes alimentarios de acuerdo a su dosis.

Los atletas se encuentran entre los principales consumidores de suplementos nutricionales, especialmente aquellos que participan en competiciones profesionales (Perez-Monzon et al., 2021). Mucha gente cree que es importante seguir sugerencias nutricionales, recomiendan tomar todo tipo de suplementos y seguir una dieta equilibrada para rendir al máximo al practicar deportes o actividades de resistencia. Entre los triatletas hay 2.5 millones de atletas en Estados Unidos y 3.5 millones en todo el mundo (Vitale y Getzin , 2019).

#### 2.1.2 *Proteína*

El suministro proteico es fundamental para el desarrollo muscular, al estimular la síntesis de proteínas musculares, y para reparar el daño muscular producido por el ejercicio; además, en determinadas circunstancias, las proteínas también pueden ser importantes como fuente energética. (Nieves et al., 2019). El consumo de hidratos de carbono ha sido más importante para los atletas de resistencia que el de proteínas. No obstante, las investigaciones indican que consumir cantidades suficiente proteínas en el momento adecuado podría tener efectos positivos (Villela, 2021).

Para rendir mejor en el deporte, los atletas necesitan consumir más proteínas que el RDA (Aporte dietético recomendado), que es de .8 g /kg diarios (Vitale y Getzin, 2019). Dentro de las 0 y 2 horas siguientes a la actividad física, es el momento preciso para la dosis de .25 a .3 g/kg de una fuente proteica de alta calidad.

No obstante, se ha demostrado que consumir proteínas inmediatamente antes del ejercicio tiene efectos muy semejantes, que a las 0-2 horas después de finalizar el ejercicio. (Vitale y Getzin, 2019)

Aunque no se ha demostrado que las ingestas diarias superiores de entre 1.2 a 2 g/ kg al día aconsejados sean más ventajosos a largo plazo, podrían serlo en función de las necesidades durante sesiones de entrenamiento breves pero intensas (Vitale y Getzin, 2019).

Para reducir el riesgo de lesión muscular durante ejercicios extremadamente intensos la ISSN (International Society of Sport Nutrition) sugiere consumir alrededor de .25 g/kg al día de proteínas cada hora, además de hidratos de carbono (Vitale y Getzin, 2019).

Los Deportes de resistencia tales como carreras de larga distancia, fútbol o ciclismo, requieren un esfuerzo de manera eficiente durante el mayor tiempo viable, se sugiere 1.2-1.4 g de proteína/kg al día (Chichidimo et al., 2021). En los deportes de fuerza, como el Físico-culturismo o el levantamiento de pesas, se sugiere mayor consumo de proteínas ,de 1.6-1.8g de proteína/kg al día (Chichidimo et al., 2021). Para quienes hacen ejercicio como pasatiempo, la necesidad de proteína no aumenta, siendo semejante a la población general (.8 g de proteína/kg al día) (Chichidimo et al., 2021).

### ***2.1.3 Recuperación muscular***

Una idea básica y crucial en el ciclo de entrenamiento y adaptación es la recuperación post-ejercicio (Peake, 2019). La deshidratación, el cansancio muscular, el aumento de la temperatura corporal y el agotamiento son habituales tras periodos de entrenamiento riguroso.

Esto significa que es necesario reponer los combustibles que se han perdido durante el ejercicio, y esto debe hacerse una o dos horas después de terminar el ejercicio (Peake, 2019).

Se ha demostrado que el consumo de proteínas después del ejercicio mejora la reposición de glucógeno, y las proteínas también pueden producir cantidades significativas de trifosfato de adenosina (ATP) en los músculos (Nieves et al., 2019).

El aporte conjunto de macronutrientes (Carbohidratos y proteínas), se constató un mejor rendimiento a comparación de un consumo exclusivo de carbohidratos por que tanto proteínas específicas como los aminoácidos, puedan potencialmente afectar el restablecimiento de reservas de glucógeno por medio de la vía mediada por insulina y logre hacer que se restablezcan mejor las laceraciones musculares (Nielsen et al., 2020). A medida que decrece el glucógeno muscular, crece los mecanismo de compensación de oxidación de grasas (Villela, 2021).

El metabolismo energético en el musculo esquelético es el principal mecanismo responsable de la síntesis de amonio durante el ejercicio, tales como la oxidación de aminoácidos de cadena ramificada y otros aminoácidos. El amonio producido de los músculos esqueléticos, al ingresar al sistema nervioso central perjudica la movilidad y provoca fatiga central y periférica. Además, no permite que le musculo funcione correctamente (Ramírez, 2022).

## **2.2 Teoría relacionada de Isotermas de Sorción**

### **2.2.1 *Curva de adsorción***

Se trata de la curva que revela cuanta agua puede absorber un alimento de su entorno antes de alcanzar el equilibrio a una temperatura específica (Rodríguez et al., 2002).

### **2.2.2 *Capa monomolecular***

Es la representación de la capa de agua en la superficie de los alimentos que garantiza que las bacterias o microorganismos puedan acceder a ella, que no se produzcan reacciones químicas, y que no funcione como disolvente esta refrentada por el valor del contenido de humedad (Rodríguez et al., 2002).

### **2.2.3 *Actividad de agua***

Presentado como actividad acuosa es el nexo de un alimento entre la presión de vapor ( $P_o$ ) y la presión de vapor de agua pura a igual temperatura. A menudo se le llama como Water Activity del idioma inglés al  $A_w$  (Rodríguez et al., 2002).

### **2.2.4 *Humedad relativa***

El vapor de agua de la atmósfera produce la humedad del aire. Dicho vapor proviene de los océanos, mares, ríos, lagos, plantas y otros seres vivos. El vapor de agua que puede absorber el aire depende en gran proporción a su temperatura (Rodríguez et al., 2002).

### **2.2.5 *Contenido de Humedad en Equilibrio***

Cuando un producto se mantiene durante un periodo de tiempo suficiente largo a unos niveles específicos de temperatura y humedad en el aire, su contenido de humedad en equilibrio (también conocido como  $X_{eq}$  o MMC) es el contenido de humedad (base seca o base humedad) que alcanza. Al mencionar “estado de equilibrio” se produce como resultado de intercambio de humedad del producto con el aire ambiente. Para

ello, la superficie de la matriz alimentaria y el aire de presión de vapor de agua deben ser homogéneos. (Cortés, 1981). Humedad en equilibrio promedio que es la humedad del producto correspondiente a una capa mono molecular de agua adsorbida (Talens, 2017).

## 2.3 Isotermas de Sorción

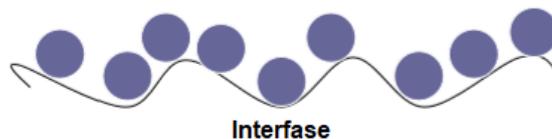
### 2.3.1 Adsorción

La adsorción se puede definir como la propensión de un componente del sistema a concentrarse en la interfaz, donde la estructura interna es diferente de las composiciones correspondiente al seno de las fases (Contreras, 2019).

El término “adsorción”, tal como lo define la IUPAC, caracteriza el proceso por el que los gases se condensan en superficies libres en contraste con el modo en que los gases se adsorben en ellas, sucede cuando las moléculas de gas entran dentro del solido (adsorción positiva) o alternativamente, uno o más componentes de la interfaz pueden ser absorbidos negativamente (vaciado) (Contreras, 2019).

### Figura 1

*Fenómeno de Adsorción*



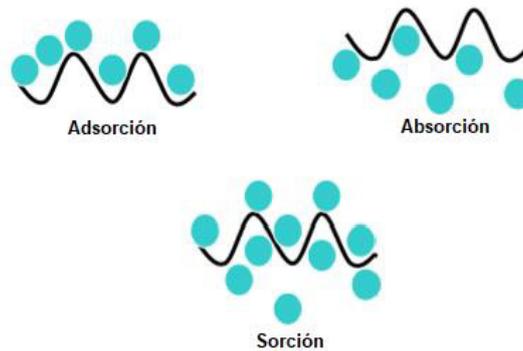
Fuente: Viades (2019)

Existe una diferencia entre el fenómeno de adsorción y el de absorción, esta última existe una penetración física de una fase en la otra, sin embargo, es factible que ambos sucedan

simultáneamente, y en este caso puede ser muy difícil separar los efectos de ambos fenómenos, inclusive uno puede afectar al otro (Contreras, 2019).

## Figura 2

*Fenómeno de superficie*



Fuente: Viades (2019)

### 2.3.2 Las isothermas de adsorción

Las isothermas de adsorción de humedad es la relación entre el contenido de humedad en el equilibrio (masa de agua por unidad en base seca) y la actividad de agua del alimento (Labuza, 1968).

Un proceso de adsorción (hidratación) o desorción (deshidratación) se representa mediante la isoterma de humedad, que explica la relación que existe en equilibrio a temperatura constante entre el contenido de humedad y la actividad de agua ( $A_w$ ). Los datos recabados sobre los procedimientos de secado utilizan los conocimientos adquiridos en desorción, en tanto los estudios sobre el almacenamiento de productos secos se benefician de ellos en adsorción (López, 2004).

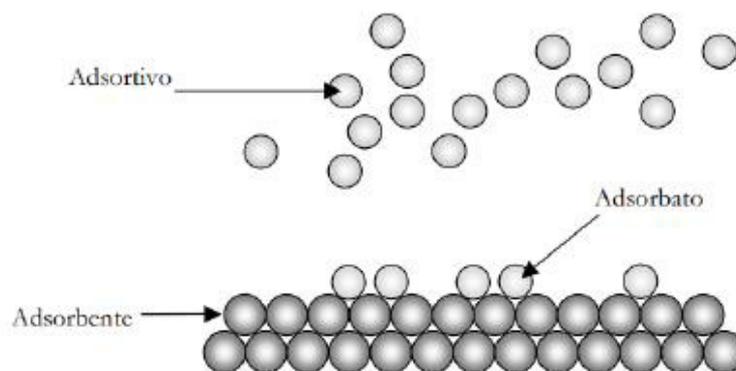
Cuando un sólido poroso, como el carbón, entra en contacto con un gas a cierta presión en un recipiente cerrado, el gas empieza a ser absorbido por el sólido. La presión disminuye y el peso del sólido aumenta (determinado pensando la muestra en una balanza) a medida que

avanza el proceso. Este proceso persiste hasta que el peso del sólido alcanza su máximo valor máximo y la presión se estabiliza en un valor numérico  $p$  (López, 2004).

El componente sólido (adsorbente) en este tipo de prueba es efectivamente adsorbido, a esto lo denominamos “adsorbato”, para distinguirlo del término “absorbente”, palabra utilizada para describir cualquier sustancia que tiene el potencial de ser adsorbida en su fase gaseosa (López, 2004).

### Figura 3

*Diferencia entre adsorbente, el adsorbato y el adsorbtivo*



Fuente: López (2004)

## 2.4 Utilidad de la Actividad de agua ( $A_w$ )

La actividad de agua ( $A_w$ ) es uno de los factores más significativos a considerar cuando se estudia la conservación de alimentos y está definida como la caída de la presión parcial de vapor de agua de un alimento o solución con respecto a la presión parcial de agua para una temperatura específica. La condición seleccionada es el agua pura, cuya actividad se cree es una norma para la unidad, lo que significa que el  $A_w$  de una solución o un alimento nunca es superior a uno (Casp., 2014).

El desarrollo de microorganismos como resultado de la presión osmótica sobre las alteraciones intermembrana es una de las principales razones de la degradación de la actividad de agua. Su crecimiento solo es perceptible a  $A_w$  bastante elevadas (Valor óptimo: .92 - .99). Por debajo de ciertos parámetros, el crecimiento se ralentiza, paraliza o se contiene (Molina et al., 2016).

El control de la actividad de agua ( $A_w$ ) como medio de conservación de los alimentos depende fundamentalmente del contenido del producto final y de cómo afectan esos elementos a su capacidad de retener agua, determinada por la humedad relativa de equilibrio y la actividad del agua disminuye al mismo tiempo que el contenido de agua y la curva de sorción se denomina curva de desorción (Mafart, 2014).

## 2.5 Tratamiento de datos de la Actividad de agua ( $A_w$ )

### a) La ecuación B.E.T.

$$\frac{A_w}{X(1-A_w)} = \frac{1}{Xm.C} + \frac{(C-1)}{Xm.C} \cdot A_w \dots (1)$$

Donde:

$A_w$ : actividad del agua

$X$ : contenido de agua (g de agua/ 100 g de sólido seco)

$Xm$ : es el valor de la capa monomolecular

$C$ : es una constante.

La cifra  $Xm$  describe la capa mono molecular de agua, que es agua fijamente unida a grupos polares y tiene la característica de no ser disolvente, en suma, no ser accesible a los microorganismos y no ser reactiva.

### b) La ecuación G.A.B.

La ecuación que describe la Isoterma de Sorción es la conocida como G.A.B.

$$\frac{A_w}{X} = \frac{1}{XmCk} + \frac{C-2}{XmC} A_w + \frac{k(1-C)}{XmC} A_w^2 \dots (2)$$

Donde:

$A_w$ : actividad del agua

$X$ : contenido de agua (g de agua/ 100 g de sólido seco)

$Xm$ : es el valor de la capa monomolecular

$C$  y  $k$ , son constantes.

Como puede observarse la ecuación tiene una forma parabólica (cuadrática)

## 2.6 Métodos para determinar la Actividad de agua ( $A_w$ )

La gama de métodos, dispositivos y procedimientos creados para calcular la actividad de agua, permite clasificarlos en función de mediciones de características generales de agua, se puede citar a la ósmosis, la reducción del punto de congelación y la presión de vapor. Los dispositivos que utilizan el enfoque isopiéstico, como las células de equilibrio de proximidad, la interpolación grafica o los psicrómetros termoeléctricos y de punto de rocío, son ejemplos de dispositivos basados en la elevación del punto de ebullición o psicrométricos. También pueden aplicarse técnicas que utilicen tensiómetros o higrometría. (Gómez, 1992, como se citó en Mori, 2017).

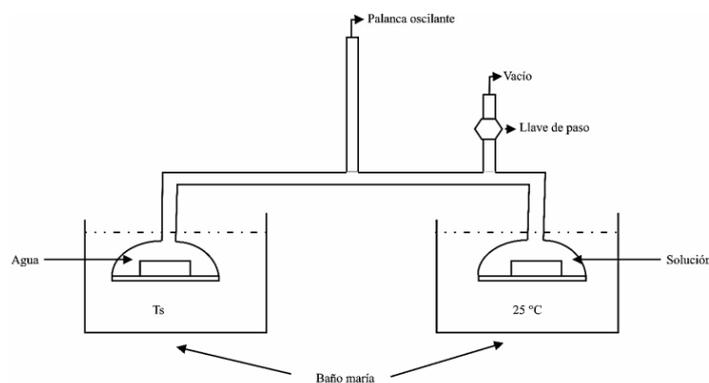
Entonces, se presentan los métodos que se emplean con más frecuencia:

### 2.6.1 *Equilibración Bitérmica*

Stokes (1947) propuso un método en el que la presión de vapor de una solución se determina contratando el equilibrio de la fase vapor de una solución a 25 grados Celsius con el de agua pura a baja temperatura. El aparato tiene un armazón tubular mesuradamente flexible y este sujeto a un par de campanas de base plana sumergidas en un baño de agua caliente (Figura N°4). Gómez, (1992), como se citó en Mori (2017).

## Figura 4

### *Determinación de la $A_w$ por la técnica de equilibración Bitérmica*



Fuente: Troller y Christian 1978; citados por Mori (2017)

La campana se sumergió en un baño de agua a 25°C con la muestra dentro y la otra campana a menor temperatura que contenga agua pura. Un termopar mide con precisión la temperatura de cada baño. Una vez establecido el equilibrio, se calcula la diferencia de temperatura entre ambos. Originalmente, la  $A_w$  de varias soluciones saturadas se determina utilizando este enfoque. Las tablas desarrolladas por Stokes en 1947, son la principal referencia estándar para la mayoría de las técnicas de evaluación de la actividad de agua ( $A_w$ ), habiendo sido comprobadas por Greenspan en 1977 (Gomez, 1992).

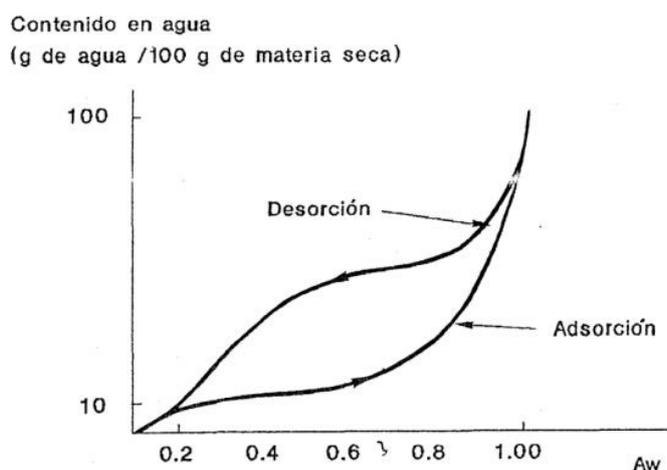
#### **2.6.2 Método del equilibrio isopiéstico o las Isotermas de sorción de humedad**

La cantidad de agua retenida por los alimentos en función de la humedad relativa del ambiente está representada por una curva denominada isoterma de sorción, que se mide en equilibrio y a una temperatura determinada; dicho de otro modo, la presión parcial de vapor que ejerce el agua en el alimento, en base del contenido de agua del mismo, como se muestra en la Figura 5 (Gomez, 1992).

El estudio de la humedad en los alimentos suele recurrir a las isoterms de sorción de humedad. Este enfoque utiliza el contenido de humedad de la muestra en equilibrio (en circunstancias de vacío) para determinar la actividad de agua, con soluciones salinas con actividades de agua conocidas que sirven de referencia. Es la forma de cálculo más precisa de las sencillas (Gómez, 1992; Robinson y Sinclair, 1934, como se citó en Mori, 2017).

## Figura 5

### *Isoterms de adsorción y desorción de agua*



Fuente: Gómez, 1992, citado Mori (2017)

### 2.6.3 *Higrómetro de Punto de Rocío*

Este método mide la temperatura exacta de vapor del agua (punto de rocío), que esta correlacionada con el  $A_w$  de la muestra. Esto se comprueba bajando la temperatura de la cámara que contiene la muestra y registrando la temperatura cuando se forma condensación en un espejo colocado dentro de la cámara. Para los valores entre .72 y 1.00, la precisión prevista del método es de .003 de  $A_w$ . Los dispositivos desarrollados posteriormente hacen uso de lecturas de datos fotoeléctricos de la condensación de vapor en el espejo, momento

que almacena la información mediante microprocesadores. Las lecturas se pueden completar en menos de 5 minutos en la mayoría de las muestras. El instrumento cuenta con un control remoto de temperatura por rayos infrarrojos y no necesita calibración inicial. La lectura de Aw y temperatura de la muestra se realiza a través de una pantalla de cristal líquido. Este es un método que se distingue por su rapidez y fácil manejo no necesitando personal entrenado para realizar las lecturas. El microprocesador que cuenta con el CX-1, es posible almacenar hasta 1000 mediciones (Gómez,1992).

### Figura 6

*Higrómetro de punto de rocío (AQUALAB 4TE)*



Fuente: Laboratorio Ferrer (2023)

El agua juega un papel importante en las propiedades de los sistemas alimentarios. El agua contenida en los alimentos afecta las propiedades físicas y de textura del producto, así como su estabilidad química. Comprender la relación fisicoquímica entre el agua y los diversos componentes de los alimentos nos permite mejorar el envasado y los procesos de los alimentos para mantener la calidad textural y estabilidad química deseada (Bell y Labuza, 2000).

#### **2.6.4 Método De Interpolación Gráfica**

Se evalúa si las muestras de alimento que se introducen con cámaras con humedades relativas variables presentan un aumento o una reducción de peso. La curva que resulta de trazar los cambios de peso de la muestra en función de la HR cruza la línea horizontal de variación de peso cero en una posición en la que la actividad de agua de la muestra está representada por la abscisa de la curva. Esta técnica, que se recomienda para mediciones inferiores de  $A_w$  a .90, se ha utilizado para determinar la actividad de agua de variados alimentos (Gómez, 1992; Landrock y Proctor, 1951).

### **2.7 Factores que influyen sobre la determinación de la actividad del agua ( $A_w$ )**

#### **2.7.1 Relación entre la Actividad de agua ( $A_w$ ) y el contenido de agua**

Existe una intrincada relación entre la actividad de agua de un alimento y su composición. Para entender esta asociación, se determina el valor de la actividad del agua de los alimentos en diferentes concentraciones de agua, que se representa gráficamente para obtener la isoterma de adsorción de agua (Mori, 2017).

#### **2.7.2 Relación de la actividad de agua ( $A_w$ ) con la humedad relativa en equilibrio (HRE)**

La actividad de agua es un término más relevante, para agua accesible que la HRE, que se refiere a la atmosfera en equilibrio de una solución o alimento. De forma similar a la actividad del agua, la HRE es la presión de vapor de la solución dividida por el agua pura, expresada en porcentaje (Mori, 2017).

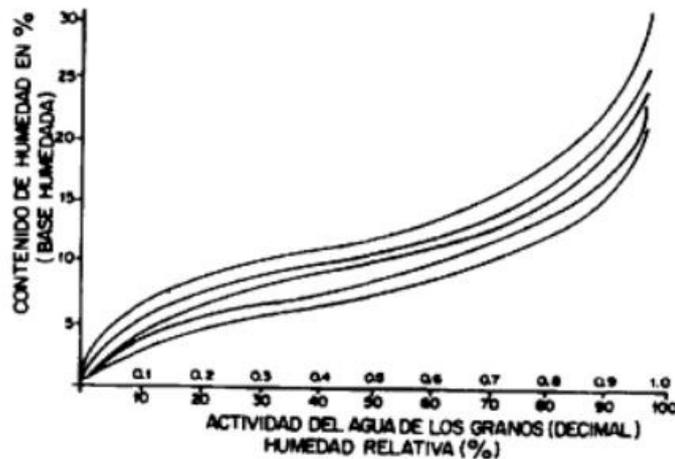
#### **2.7.3 Relación entre la temperatura y la actividad de agua ( $A_w$ )**

Dado que la temperatura influye en la presión de vapor de agua de una solución, que es limitada para la mayoría de los solutos a menos que la solución este saturada, la

temperatura determina la actividad del agua. En estas circunstancias, la actividad de agua y las concentraciones de algunos compuestos en solución pueden cambiar significativamente con la temperatura (Mori, 2017).

## Figura 7

*Relación de la actividad de agua y temperatura (granos)*



Fuente: FAO (2016)

## 2.8 Tiempo de vida útil de la sustancia proteica

### 2.8.1 Teoría específica de la actividad de agua ( $A_w$ )

La cantidad de tiempo que un sobre que contiene proteínas se mantendrá seguro y nutritivo para ingerir cuando se almacena y produce con las directrices aprobadas se conoce como su vida útil. Dicho de otro modo, durante el periodo designado como vida útil, el sachet con sustancias proteicas debe conservar un grado definido de calidad, en circunstancias particulares de almacenamiento, así como sus cualidades originales de olor, sabor y textura (Mafart, 2014).

Los productos deben durar más que el tiempo necesario para su distribución antes de ser adquiridos por los consumidores, que se disponen entonces de un tiempo aceptable para almacenarlos (Rodríguez, 2014).

La vida útil del sachet con sustancias proteicas esperada depende de los factores ambientales a los que este expuesto, incluido el nivel de calidad inicial en que el “sachet” pueda perder sustancias proteicas antes que se considere no apto para la venta a los consumidores, debido a cualquier combinación de pérdida de valor nutricional inaceptablemente alta, cambios desfavorables de sabor u olor, o el desarrollo de una textura desfavorable (Rodriguez, 2014).

El tipo y el método de almacenamiento que recibe el sobre que contiene los componentes proteicos tras salir de la planta de fabricación en circunstancias “óptimas” es el elemento más importante que influye en la vida útil proporcionada por el productor.

Rodríguez (2014) menciona que todos los alimentos, en general, deben considerarse como un sistema químico formado por biomoléculas que incluyen proteínas, péptidos, aminoácidos, lípidos, hidratos de carbono y nutrientes como complejos vitamínicos hidrosolubles y sales minerales. Todo ello forma un sistema químico que suele provocar reacciones químicas cuando se expone a variables externas (oxígeno, humedad, etc.) y, más concretamente, a variaciones de temperatura. En estas condiciones, se producirá la degradación de estos compuestos, con la siguiente pérdida de calidad sensorial o nutricional y, el sobre con sustancias proteicas se considerará degradada y no apta para el consumo del deportista al cabo de cierto tiempo.

A modo de determinar el tiempo de vida del sachet con sustancias proteicas, de acuerdo con el programa previsto, se utilizan pruebas de laboratorio en entornos controlados para vigilar la degradación de calidad. Dado que las estadísticas/o las matemáticas son herramientas esenciales para crear modelos de simulación que nos permitan predecir los resultados a distintas

temperaturas y circunstancias ambientales, es necesario, en consecuencia, interpretar los resultados (Rodríguez, 2014).

Los indicadores de deterioro, o elementos que deben revisarse y observarse periódicamente para determinar el punto en que un producto se considera no apto para el consumo humano y mucho menos para deportistas, si cabe la posibilidad que la calidad del alimento ha disminuido a consecuencia de la degradación nutricional, la pérdida de componentes de calidad o el crecimiento de microbios que producen sustancias peligrosas, entre otras razones (Rodríguez, 2014).

### **2.8.2 Función de los envases**

Los sachets se fabrican a base de bobinas, pasando por un proceso de laminado que contengan características de brillo, impresiones que contengan las especificaciones del producto, indicando que mencione los pesos exactos del producto a embazar. Minimizando los defectos de las bobinas y evitar que afecte la calidad del producto y de la mezcla.

Se pesaba y se verificaba minuciosamente las bobinas Trilaminadas para verificar la cantidad a desechar, así como la cantidad a utilizar. Al inicio de la fabricación de los sachets, se pesaba la bobina y se cuantificaba la merma de la bobina para saber cuántos sachets se iban a utilizar para la próxima producción (Mafart, 2014).

Las funciones principales del envase son las de contener, proteger, informar y atraer. Además de los factores de coste, de las limitaciones ambientales y legislativas, que en la actualidad tienen gran importancia. Garantizar el producto en excelentes condiciones es el principal objetivo del envasado de la mayoría de los productos alimentarios, que aspira tener las mejores cualidades protectoras. El envase debe proporcionar protección física y mecánica para evitar que el producto experimente alteración, infestación, contaminación, captación de humedad, etc (Rodríguez, 2014).

Son llamados envases flexibles aquellos objetos tridimensionales hechos a base de materiales intrincados con propiedades moldeables, plegables, enrollables y divisibles. Como termino general, «laminados flexibles» se refiere a envases compuestos. (Illanes,2004). Utilizados para mezclas en polvo como sopas, refrescos que contengan ingredientes higroscópicos que son sensibles al oxígeno y la humedad, de modo que se utilizan envases flexibles laminados de polietileno de baja densidad, laminado con poliéster metalizado (PETmet) (Illanes, 2004).

Para crear el envase se extruyen tres capas separadas de material que pueden ser: Plásticos-polietileno de baja densidad (PE), PET/AL/PE, Metal-Aluminio (AL) así como Plásticos-PET-Polinaftalato de etileno (PET) (Magret, 2002). Asimismo, los envases multicapa flexibles son formados por múltiples capas, otra de aluminio y otra de plástico. La función de las capas es: El polietileno previene el contacto del envasado con otras capas, el revestimiento impermeable de polietileno del contenedor lo protege de la humedad atmosférica exterior, mientras que el aluminio sirve de barrera contra la luz, el oxígeno y los olores externos (SGS, 2009).

En esa misma línea, Wyser y Lanctuit (2015) coinciden con Fennema (1993) exponiendo así que cuando los alimentos se envasan en envases permeables, el producto puede apelmazarse y mostrara signos de transición de un sólido amorfo a una fase elástica «rubbery», asi como cierto aumento de humedad a una temperatura superior a la de la transición vítrea. En el punto en que se transforma de estado de elasticidad cristalina a “cohesiva”, el contenido critico de agua y la actividad critica del agua cambian, lo que produce una desviación de calidad.

### 2.8.3 Elección del proceso de mezclado

El mezclado de sólidos y pastas es quizá la actividad de transformación alimentaria más común y seda en muchos casos en el sector alimentario, de un gran número de alimentos, cuya elección del proceso mezclado estará en función de las características del producto que se desea obtener, iniciando por una orden de producción, con las cantidades en porcentaje y en gramos (Rodríguez, 2014). Posteriormente dicha orden pasará al laboratorio de mezclado, previo control de calidad de los sacos en polvo conteniendo las diferentes materias primas; tales como se ilustra en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Ingredientes por la línea de producto Universal Nutrition iso whey vainilla-proteína (sachet de 30 g)*

Componentes	%
Suero de leche 80%	50.909
Sabor leche	2.727
Blend Whey (mezcla de suero)	13.636
Sabor vainilla Ji y Sal	0.318
Edulcorante	0.109
Suero de leche crino	16.751
Goma Xantan	1.000
Vitamina B6	0.005
Soya	14.545

*Nota.* Datos obtenidos de Universal Nutrition

### 2.8.4 Factores que influyen en determinar el proceso de mezclado

Con independencia de las influencias de la actividad de agua ( $A_w$ ), Temperatura, Humedad Relativa, etc., el factor más importante en cualquier proceso es la actividad del Agua ( $A_w$ )

### III. MÉTODO

#### 3.1 Tipo de Investigación

Esta investigación es correlacional, cuantitativa, descriptiva y experimental. El método usado es el método Higrométrico para determinar la Actividad del agua ( $A_w$ ). Los datos obtenidos se calcularon en base a la Ecuación de B.E.T. para determinar la humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ), el contenido de la monocapa monomolecular y el Método de Lagrange para determinar a qué valor de la Actividad de agua ( $A_w$ ) corresponde a una Humedad Equilibrio ( $X_{eq}$ ) predicha.

#### 3.2 Ámbito temporal y espacial

El siguiente proyecto de investigación se llevó a cabo en MD Pack S.A.C. Localizado en su Laboratorio de Control de Calidad en el periodo de octubre del 2023 en Lima Metropolitana. Ubicado en Av. Germán Aguirre 889, San Martín de Porres.

#### 3.3 Variables

Las variables de estudio para medir la actividad del agua ( $A_w$ ) en las sustancias proteicas tanto dependientes como independientes, serán las siguientes:

##### 3.3.1 Variables dependientes

Estarán dados por los parámetros de contenido de agua ( $X$ ) y el valor de capa monomolecular ( $X_m$ ) en las sustancias proteicas orientadas al consumo de deportistas.

##### 3.3.2 Variable independiente

La variable independiente estará dada por la Actividad de agua ( $A_w$ ), que su vez estará influenciada por la temperatura y tiempo de proceso de mezcla.

### 3.4 Población y muestra

La población se considera como población finita, siendo ello no cuantificable en producto, sino como producto en desarrollo. No obstante, el tamaño de la muestra será pertinente para los análisis que se llevarán a cabo. Se muestreó los sachet conteniendo la mezcla seca instantánea de reconstitución de proteína en polvo para deportistas de tres categorías de 10 g, 20 g y 30 g con las siguientes dimensiones: el de 10 g (9 × 6 cm), 20 g (10 × 10 cm), 30 g (12 × 12 cm), se utilizó muestras por triplicado. La muestra de estudio será el conjunto de ingredientes permitidos para realizar el proceso de mezclado bajo consideraciones de cantidad de agua, la actividad del agua ( $A_w$ ) y cantidades permisibles para la mezcla.

### 3.5 Instrumentos

En la presente investigación se realizará bajo la establecida Norma Sanitaria para las Actividades de producción de alimentos complementarios con fines de ser consumidos por personas con actividad física constante, deportistas con actividad seguida, prolongada y exigida. Teniendo como parte experimental, un flujo de proceso que será diseñado para el producto, siendo a utilizar equipos y materiales de uso alimentario, limpios y desinfectados, que cumplan las diferentes normativas de buenas prácticas de manufactura, higiene y saneamiento, de tal manera que el producto elaborado sea inocuo, proteico, complementario y en cierto modo saludable.

#### 3.5.1 *Materiales*

##### a) **Materia prima**

Se utilizará la siguiente materia prima para el procesamiento de sustancias proteicas para deportistas envasadas en sachet.

- Suero de leche en polvo (80%)
- Sabor leche

- Blend Whey
- Sabor Vainilla
- Edulcorante
- Suero de leche crino
- Goma Xantan
- Vitamina B-6
- Soya

**b) Material varios**

- Balanza analítica Miray 101
- Balanza electrónica Ventus con Plataforma y Torre B-300T 300KG
- Cucharones
- Bolsas de polietileno
- Mesas de acero inoxidable
- Termohigrómetro H2 Digital HTC2
- Bandeja de acero inoxidable
- Otros

**c) Equipos**

- Mezcladora Doble Cono Eversun
- Envasadora Vertical MK-60KZ
- Javas de plástico para recepción de sachets
- Tambores para mover la mezcla
- Carritos de empuje industrial Saturey

### **3.6 Procedimientos**

#### ***3.6.1 Metodología***

El Método utilizado es el experimental basándose en la técnica de Higrómetro del punto de Rocío para determinar el Aw. Mediante un medidor Aqualab con ajuste equilibrado de temperatura y humedad, se establece la actividad de agua (Aw). Procedimiento aplicado a través de un equipo para obtener un resultado preciso de las muestras. El método usado es el

método Higrométrico para determinar la Actividad del agua. Basado en el método usado por Palich, y Ruszkowska (2016). La cinética para alcanzar la humedad relativa de equilibrio (HRE) en la atmosfera de un sistema para determinar la actividad de agua haciendo uso del equipo Aqualab-4TE, se basa en punto de Rocío de lectura rápida (10-15 min) a 25°C y H.R. de 85% en productos como proteínas en polvo en sachet para tres categorías de peso (10g,20g,30g) para siete muestras aleatorizadas por triplicado. La humedad relativa (HR), la temperatura se controló mediante un termohigrómetro. Los datos obtenidos se calcularon en base a la Ecuación de B.E.T. para determinar la humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ), el contenido de la monocapa monomolecular y el Método de Lagrange para determinar a qué valor de la Actividad de agua ( $A_w$ ) corresponde a una Humedad Equilibrio ( $X_{eq}$ ) predicha.

#### **A. Preparación de la Muestra (Sachet)**

Para producir sustancias proteicas para deportistas en sachet, se utilizaron 5 kg de mezcla en polvo rotuladas con su respectivo nombre e ingredientes usados para la producción de las muestras de sachet. Se tomaron siete muestras por triplicado para cada tipo de peso (10, 20, 30) gramos y obtener una aleatorización de las muestras.

##### **a) Recepción de insumos:**

Los insumos durante la recepción son evaluados y pasan por Control de Calidad, se evalúan las características, parámetros para su Aprobación. Posterior a esto se traslada a sus respectivos Almacenes. Los insumos son trasladados en camiones o en vehículos de la empresa, donde se evalúa condiciones de Higiene y del personal estibador de acuerdo con las Buenas prácticas de Manufactura (ropa de trabajo adecuada y limpia, botas y toca).

**Sacos:**

Los sacos son recepcionados conteniendo los insumos y dispuestos en el almacén de insumos y materias primas. Los sacos son solicitados por el área de ventas a la empresa Agropur S.A.; la empresa proveedora envía su tráiler con los Sacos, los cuales son acomodados y colocados por los operarios de almacén al área de almacén de insumo y materias primas. El almacén esta acondicionada a una temperatura de 25 °C y Humedad relativa menor de 85%. El área de calidad verifica las condiciones del almacén, verifica los sacos con un sello, caso contrario se establece una comunicación con el proveedor. Asimismo, el jefe almacén dispone de forma ordenada los sacos para una rápida y fácil movilización al área de producción.

**b) Recepción de envases:**

Los envases son recepcionados, verificando su llegada y la oficina de control de calidad evalúa las características que, luego de ser aprobados se procede a almacenarlos adecuadamente.

**Bobinas:**

Son recepcionadas las bobinas Trilaminadas en el almacén de Bobinas. Los envases trilaminados consta de tres capas de material distintos: PET/AL/PE, Plásticos - PET - polinaftalato de etileno (PET), Metal - Aluminio (AL) al igual de Plásticos – Polietileno de Baja Densidad (PE) (Magret 2002, citado en Migone, 2017). Estas previamente son solicitadas al proveedor con ciertas características como: el logo de la empresa, la presentación del producto, ingredientes, peso neto del sachet, contenido de proteína, instrucciones de preparación y Registro Sanitario. El área de Calidad verificaba las especificaciones técnicas de las bobinas. Asimismo, se constataba la calidad de la impresión, si la bobina estaba rayada, cortada o mojada. Una vez

establecido la verificación lo identificaba como Aprobada y las bobinas falladas las rotulaban, reportaban y eran enviadas al proveedor.

**c) Recepción de cajas:**

Se verifica como llegan las cajas, Control de calidad evalúa las características, una vez aprobados se procede a almacenarlos.

**Cajas:**

Las cajas son recibidas en el almacén de embalajes y etiquetas. Se le solicita al proveedor ciertas características tales como: Tipo de presentación, logotipo de la empresa, ingredientes, peso neto, registro sanitario e instrucciones para su consumo.

Asimismo, vienen cortadas con la forma que va ser expendida, al tipo de presentación y tamaño de acuerdo al peso del sachet. El jefe de almacén de Empaques y Etiquetas verifica la calidad de la impresión, así como las especificaciones de la caja. El área de calidad verifica el código de registro sanitario de las cajas y las cajas con fallas, rotas o sin impresión, impresión movida son descartadas y reportadas como Merma.

**d) Almacenamiento de insumos**

Los insumos son almacenados generalmente en sacos, tambores, son apilados sobre parihuelas en la sala de almacén de materia prima, todos ellos se almacena a temperatura ambiente (25°C) y Humedad relativa menor de 85%, sobre parihuelas y protegidos bajo un ambiente techado.

**e) Almacén de envases y etiquetas**

Las etiquetas y envases se almacenan a temperatura ambiente (25°C), sobre parihuelas, protegidos bajo un ambiente techado.

**f) Almacén de cajas**

Las cajas se almacenan a temperatura ambiente (25°C), sobre parihuelas, protegidos bajo un ambiente techado.

**g) Pesado de insumos**

Los insumos son pesados dependiendo al tipo de producto establecido con su formulación. Son pesados en la balanza del Área de mezclado colocándolos en bolsas de polietileno, las cuales son rotuladas para su identificación. El operador en esta etapa decidirá si se traslada al equipo Mezclador (equipo) o se realiza el mezclado manual, depende de la cantidad formulada.

**Figura 8**

*Traslado de sacos con insumos*



Fuente: Agropur (2019)

**Figura 9**

*Balanza Industrial Ventus con Plataforma y Torre B-300T 300 kg*



Fuente: Falabella (2023)

## **h) Mezclado**

En esta etapa el operador entrenado procederá a realizar el mezclado manual de todos los insumos, en bolsa de polietileno se realiza movimientos ondulantes hasta obtener una mezcla homogénea. En esta parte del proceso se destinan mezclas formuladas de más de 5 kilogramos al Mezclador Bicónico, este equipo homogeniza la mezcla para su posterior envasado, caso contrario las mezclas menos de 5kg son mezcladas en bolsas de polietileno por el operario entrenado en la sala de Mezclado. El mezclado se realiza aproximadamente durante 10 minutos. Se obtiene como producto una mezcla homogénea sólida (polvos). Finalizado el proceso se trasladan las mezclas a cilindros móviles y posteriormente a la zona de producción.

### **Mezclador Bicónico:**

Los mezcladores Bicónicos, hacen el proceso de mezcla y homogenización sin cizallamiento y con suavidad. Esta máquina puede mezclar líquidos en polvo, escamas, sólidos o granulados (Eversun,2019). Se obtiene una mezcla homogénea sin utilizar otros dispositivos mecánicos al rotar a una velocidad crítica debido a su forma especial. Su aplicación fundamental es la de un mezclado no intensivo, homogenizado de lotes y procesos que requieran un mezclado suave de sólidos para evitar romper aglomerados y partículas (Eversun, 2019).

**Figura 10**

*Mezclador Doble Cono*



Fuente: Eversun (2019)

**Figura 11**

*Cilindro movable Industrial*



Fuente: Hecho in China (2023)

**Figura 12**

*Rueda del Cilindro movable industrial*



Fuente: Hecho in China (2023)

### **i) Llenado**

Luego del Mezclado el operador entrenado traslada la mezcla a la tolva de la Dosificadora (equipo) o Envasadora vertical se coloca la bobina Trilaminada donde son llenados los sachet de 10, 20 y 30 g y verificados de acuerdo con el tipo de presentación del sachet.

Previo a colocarlo en la tolva la mezcla el jefe de producción realiza una prueba de calidad de la mezcla por muestreo de textura y sensorial para verificar el sabor y grumosidad del producto.

**Figura 13**

*Muestreo de textura y sensorial de la Mezcla proteica*



Fuente: Agropur (2019)

Se programa la máquina para para la producción continua de los sachet. Se procede con fabricación y se ejecutan pruebas de hermeticidad a la salida de la línea. El jefe de producción verifica esta parte del proceso y da aprobación continuidad a los productos caso no se hayan observado problemas durante los primeros sachet de la producción. Los sachet son recibidos en una jaba de plástico.

### **Envasadora vertical:**

La envasadora vertical es un modelo que tiene integrado un dosificador volumétrico para la función de pesado, este tipo de máquina es perfecta para productos que sean de finos gránulos, no viscosos, uniformes (Mk Packaging Machines, 2023).

Cuenta con una velocidad de empaque de 30-60 bolsas/min. Asimismo, esta se caracteriza por cumplir funciones como el formado de la bolsa, llenado con el producto, pesado, sellado, corte de la bolsa, cuenta, impresión del código de lote, fecha de vencimiento, descarga del producto terminado, entre otros (Mk Packaging Machines, 2023).

### **Partes de la Máquina Envasadora Vertical:**

1. Dosificador volumétrico
2. Pantalla táctil
3. Cuerpo de la máquina
4. Hombro formador
5. Mecanismo de sellado
6. Cortadora rotativa
7. Codificador de transferencia térmica

**Figura 14***Envasadora vertical, MK-60KZ*

Fuente: MK Packaging Machines (2023)

Los sachet obtenidos son destinados a jabas de plásticos con base con ruedas para su acumulación y traslado al Área de Acondicionado. Dependiendo del tipo de presentación la mezcla proteica se destinan sachet de las siguientes dimensiones:

**Tabla 2***Presentaciones de la mezcla proteica en sachet*

	Presentación de	Presentación de	Presentación de
Sachet	10 g	20 g	30 g
Dimensión(centímetros)	9 × 6	10 × 10	12 × 12

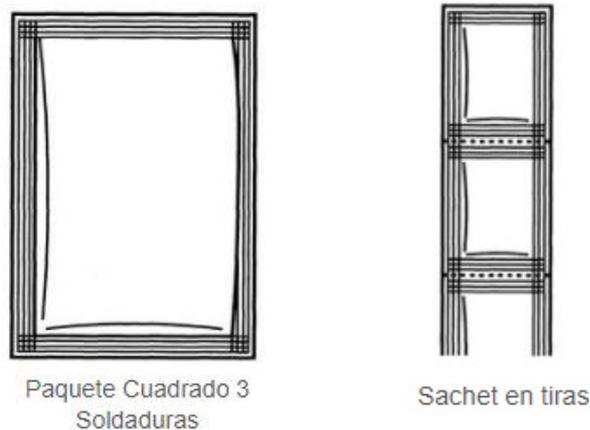
*Nota.* Datos obtenidos de Universal Nutrition

## j) Sellado

La envasadora vertical se encarga de sellar los sachets por medio de calor a través las placas de sellado horizontal alcanzan una temperatura de (200 ° C), las placas verticales alcanzan temperatura de (130-180°C) y presión (-20 a -30 inch por 45 segundos), estos son recibidos en jabas para organizarlas y trasladarlas al área de acondicionado. Una vez verificado los parámetros de sellado se procede a producción continua de sachet.

**Figura 15**

*Tipos de bolsas selladas*



Fuente: MK Packaging Machines (2023)

## k) Acondicionado y etiquetado

Los productos envasados llegan al área de Acondicionado se proceden a ser limpiados por los operarios. En algunos casos los sachets no requieren etiquetas por el envase este impreso por medio de la bobina Trilaminadas. En Caso bobina para envase blanco se pega las etiquetas al sachet. Se trasladan y arman las cajas de cartón que

contiene la información del producto (marca, fecha de vencimiento, lote y registro sanitario), donde se depositan los sachets y se sellan con láminas de seguridad.

**l) Almacenamiento de productos finales**

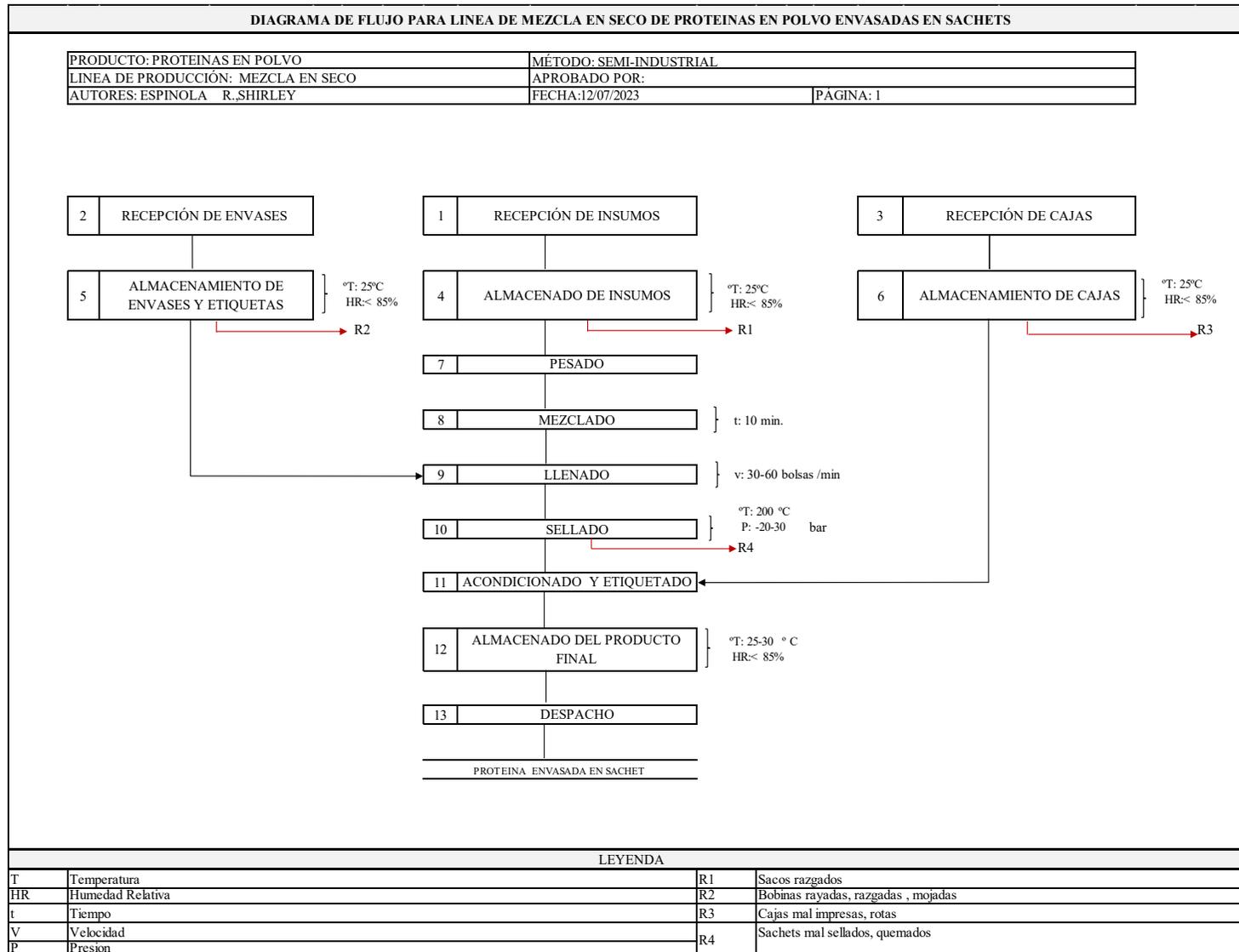
Todos los productos van hacia el Almacén de productos terminados en los cuales hay un termo higrómetro en cada área y se verifica el control de temperatura y humedad relativa (Max. 30°C – Max. 85%).

**m) Despacho**

Los productos son colocados en cajas de cartón de primer uso que contienen las cajitas de los productos y son trasladados hacia los respectivos vehículos autorizados de la empresa, entregados mediante una guía de remisión, indicando la cantidad y lote del producto. En esta esta se evalúa las condiciones de limpieza e higiene del personal y los vehículos de transporte.

Figura 16

Diagrama de flujo para línea de mezcla en seco de proteínas en polvo envasadas en sachet



**B. Procedimiento del Análisis de Actividad de agua ( $A_w$ ) para toma de muestra****i. Muestra:**

Se muestreó los sachet conteniendo la mezcla seca instantánea de reconstitución de proteína en polvo para deportistas de tres categorías de 10 g, 20g y 30g con las siguientes dimensiones: el de 10 g ( $9 \times 6$  cm), 20 g ( $10 \times 10$  cm), 30 g ( $12 \times 12$  cm), se utilizó siete muestras por triplicado aleatorizadas en el Laboratorio de Calidad de la empresa.

Se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos:

**ii. Instrumentos:**

- Balanza Analítica Miray 101
- Placa Petri
- Aqualab- 4TE, con sensor de actividad de Agua ( $A_w$ )

**iii. Materiales:**

- Tijeras
- Espátula
- Guantes
- Sachet de 10 g
- Sachet de 20 g
- Sachet de 30 g

**iv. Software**

- Excel
- Minitab

- Hygrowin V 2.1.1.

**v. Procedimiento para Control de Actividad del agua ( $A_w$ )**

- Se pesó las 7 muestras de sachet aleatorizadas con el peso determinado por categoría. Son pesados los sachet de 10 g, 20 g y 30 g, en el equipo Aqualab- 4TE como se observa en el Anexo 1.
- En una placa Petri colocar la muestra 10, 20,30 g de la muestra analizar.
- Para evaluar la actividad de agua ( $A_w$ ), se rotula con números y se pesa las cubetas(equipo) sin contar con tapas.
- Vinculamos el ordenador y el equipo. Se ejecuta el programa Hygrowin v2.1.1 (Anexo 2) del equipo de actividad de agua; esperando el reconocimiento.
- En el ordenador, seleccione el modo de medición. Son de dos Rápido o Estándar.
- Introduzca la muestra en la cubeta de muestras para su análisis.
- Con el mouse, hacemos clic en el botón START que corresponde al sensor que se utilizara para iniciar la medición. El botón Start inmediatamente cambia a Stop.
- Los resultados aparecen en el ordenador y en el aparato una vez finalizada la medición en modo Rápido, que tarda unos 5 minutos. Indicará que la acción se ha completado con una señal.
- Todas las muestras se proceden por igual y los datos de las muestras se pone en una tabla según por categoría de peso. Los datos se pueden transferir a través de una conexión de USB, con un software que informa el  $A_w$  de la muestra y verifica la calidad de los sachet.
- Se Aplica el cálculo de la ecuación BET para determinar el  $A_w$  de la muestra, determinar simultáneamente la constante de BET y determinar la curva isotérmica de adsorción, así como el valor de la clase molecular Mono  $X_m$ .

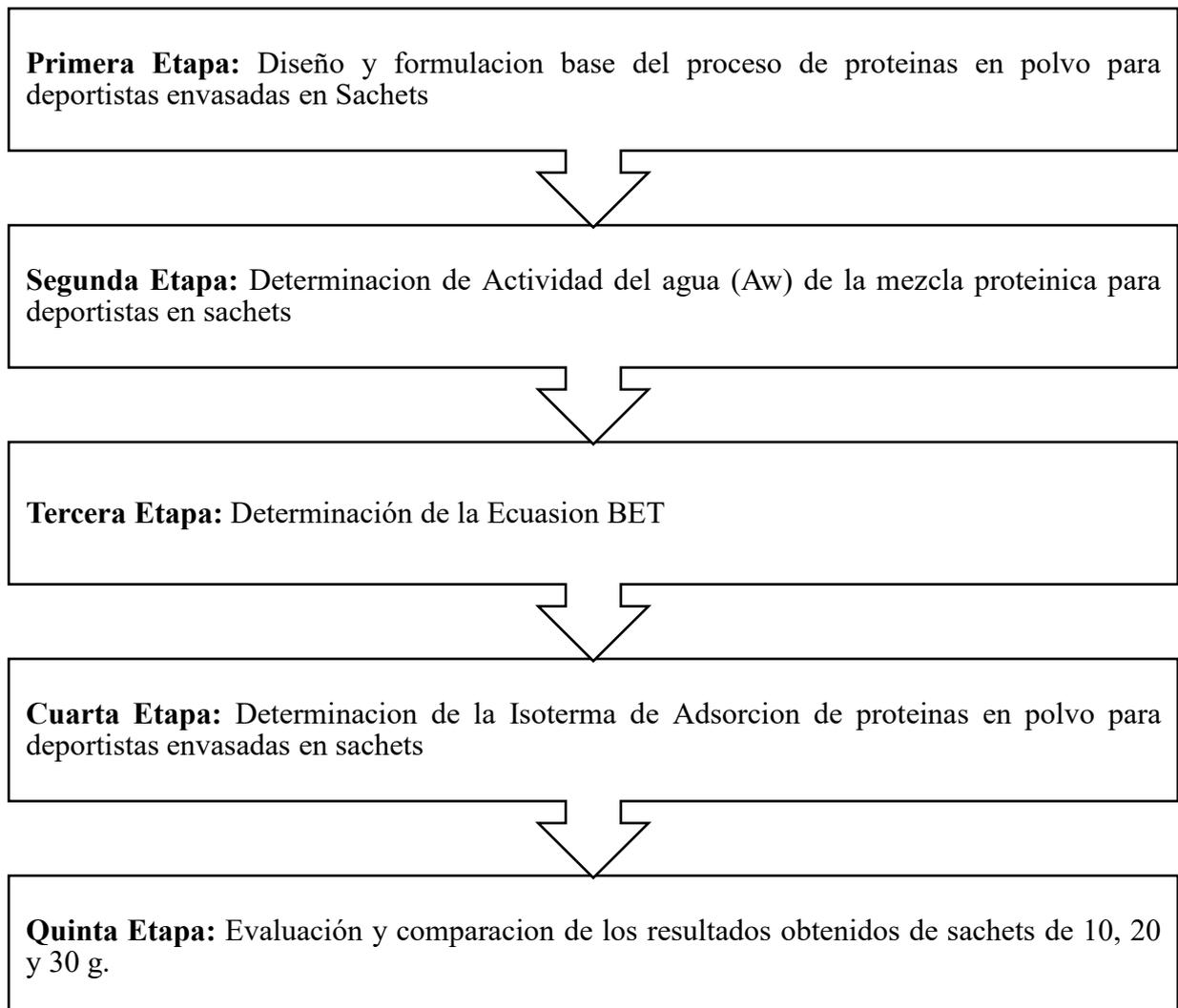
- Los resultados obtenidos se compararon para determinar el tipo de curva y el tipo de deterioro causado por la mezcla de proteína seca instantánea envasados en sachet.

### 3.6.2 *Diseño Experimental*

Esta investigación consistió en cinco etapas que se resumen en la Figura 17.

**Figura 17**

*Etapas ejecutadas en la investigación*



### 3.7 Análisis de Datos

El modelo estadístico será realizado para comparar si existe o no diferencia significativa entre los procesos de mezcla a diferentes temperaturas, llegando a emplear los modelos:

#### La ecuación B.E.T.

$$\frac{A_w}{X(1-A_w)} = \frac{1}{Xm.C} + \frac{(C-1)}{Xm.C} \cdot A_w \dots (1)$$

En donde:

$A_w$ : actividad del agua

$X$ : contenido de agua (g de agua/ 100 g de sólido seco)

$Xm$ : es el valor de la capa monomolecular

$C$ : es una constante.

El valor de la capa monomolecular de agua es descrito por el valor  $Xm$ , correspondiente al agua ligada fija a los grupos polares, la propiedad de esta es que no es solvente, no está disponible para los microorganismos, ni es reactivo.

#### La ecuación G.A.B.

La ecuación que describe la Isoterma de Sorción es la conocida como G.A.B.

$$\frac{A_w}{X} = \frac{1}{XmCk} + \frac{C-2}{XmC} A_w + \frac{k(1-C)}{XmC} A_w^2 \dots (2)$$

Donde:

$A_w$ : actividad del agua

$X$ : contenido de agua (g de agua/ 100 g de sólido seco)

$Xm$ : es el valor de la capa monomolecular

$C$  y  $k$ , son constantes.

Como puede observarse la ecuación tiene una forma parabólica (cuadrática)

El análisis estadístico se realizó por análisis lineal múltiple y validado por el coeficiente de regresión  $r$  de Pearson.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Cinética de ganancia de Humedad aplicada a sachet de 10 gramos

Habiendo realizado el proceso de mezclado (y combinación) por triplicado, considerando que otros parámetros (humedad, textura, consistencia) se mantienen constantes; los resultados lo observamos en las cinco columnas de la Tabla 3. Las humedades de equilibrio ( $X_{eq}$ ) se promediaron, evaluando su desviación estándar, por consiguiente, sus resultados figuran en la quinta columna de la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Datos de humedad de equilibrio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $X_{eq}$ ), por triplicado y humedad de equilibrio promedio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $\overline{X_{eq}}$ ) en función de la Actividad del Agua ( $A_w$ ).*

$A_w$	$X_{eq1}(\frac{gH_2O}{100 g S.S.})$	$X_{eq2}(\frac{gH_2O}{100 g S.S.})$	$X_{eq3}(\frac{gH_2O}{100 g S.S.})$	$\overline{X_{eq}}(\frac{gH_2O}{100 g S.S.})$	Desviación estándar ( $\sigma$ )
0.045	4.20	4.30	4.20	4.23	+/- 0.06
0.098	4.80	4.70	4.60	4.70	+/- 0.10
0.125	5.20	5.00	5.10	5.10	+/- 0.10
0.168	5.60	5.50	5.70	5.60	+/- 0.10
0.226	6.72	6.81	6.72	6.75	+/- 0.05
0.249	7.34	7.22	7.09	7.22	+/- 0.13
0.329	8.20	8.13	8.02	8.12	+/- 0.09

*Nota.* La tabla muestra los datos de Actividad de agua ( $A_w$ ) y Humedad de equilibrio promedio  $\overline{X_{eq}}$  tomado para una muestra de 10 gramos de sachet de proteína en polvo para deportistas.

La desviación estándar mide la dispersión o variación de los datos (Quispe et al.,2020). Nos permite comprender como los datos se desvían de la media y se distribuyen dentro de los

limites medidos (Rendón et al, 2016). Existe una baja variabilidad de los datos de la muestra, lo que indica que los puntos de los datos están cerca de la media.

Para el sachet de 10 gramos la Humedad en equilibrio promedio ( $\overline{X_{eq}}$ ) que es el contenido de humedad mínimo que se puede alcanzar para determinada temperatura y humedad relativa (Rodríguez, 2002) varía entre los valores de min: 4.23 y máx.: 8.12.

Se plantea la aplicación de la ecuación de **BET** y la Linealización de la ecuación para la aplicación de la fórmula como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Datos de humedad de equilibrio promedio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $\overline{X_{eq}}$ ) en función de la Actividad del Agua ( $A_w$ ) y los datos para la ecuación de B.E.T.*

Actividad del agua ( $A_w$ )	$\overline{X_{eq}}$	$\frac{A_w}{\overline{X_{eq}}(1 - A_w)}$	$\frac{\overline{A_w}}{\overline{X_{eq}}(1 - A_w)}$
0.045	4.23	0.01113	0.0135
0.098	4.70	0.02312	0.0223
0.125	5.10	0.02801	0.0268
0.168	5.60	0.03606	0.0339
0.226	6.72	0.04326	0.0436
0.249	7.22	0.04594	0.0474
0.329	8.12	0.06041	0.0607

*Nota.* La tabla muestra los datos de humedad de equilibrio promediado en función de la actividad de Agua ( $A_w$ ) para sachet en polvo de 10 gramos, para proceder con Ecuación de BET.

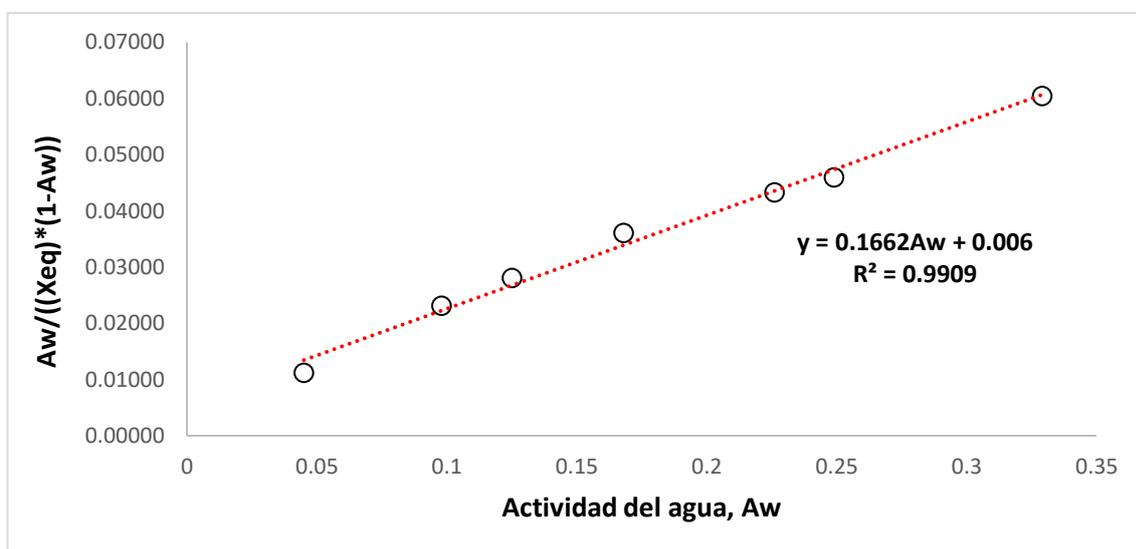
Aplicando la ecuación de BET, el valor de Actividad de agua ( $A_w$ ) se reemplaza en la linealización de la ecuación de BET, hallando el valor  $\frac{1}{\overline{X_{eq}}} * \frac{A_w}{(1 - A_w)}$ , que se toma como base

para desarrollar una recta, de la misma forma para hallar la regresión y la ecuación lineal en base a la Actividad del agua ( $A_w$ ). Se reemplazó el valor de  $A_w$  en la ecuación lineal obtenida, dando resultado los datos de la variable pendiente finales,  $\frac{1}{X_{eq}} * \frac{\widehat{A_w}}{(1 - A_w)}$ .

El  $A_w$  de 10 g varía entre (min .045 y máx. .329), refleja la cantidad de agua disponible metabólicamente para que un microorganismo se desarrolle en un alimento (Vega y Lara, 2006). En un  $A_w$  menor de .25, las fuerzas de Vander Waals unen firmemente la zona de agua al alimento cuando es un componente de la estructura molecular del producto. Rodríguez Francisco (2002). Esta agua está fuertemente unida a la superficie seca, su fugacidad es baja y, en consecuencia, su presión de vapor es reducida (Badui, 2006). Ciertamente según Fennema (2010) aun nivel de 0.20 y 0.30 de  $A_w$  no hay proliferación microbiana.

### Figura 18

*Linealización de la Ecuación de BET para muestra de la categoría de 10 gramos*



*Nota.* Representa a linealización de la ecuación de BET para proteína en polvo en sachet de 10 gramos para deportistas.

Representación de los datos, para el sachet de 10 gramos, para la ecuación BET, entre de los datos de la tabla 2 en la Actividad del agua ( $A_w$ ) e  $Y$  en la ecuación (2).

Se muestra la ecuación del modelo ajustado:

$$Y = 0.1662A_w + 0.006$$

Sabiendo que:

$$\frac{1}{X_{eq}} * \frac{A_w}{(1 - A_w)} = Y$$

Se observa en la Figura N.º 5, se presenta la linealización de la fórmula de BET para poder identificar el valor de la ordenada y valor pendiente. Obteniéndose una gráfica de regresión lineal aun nivel coeficiencia menor del 10%. El  $R^2$  indica que el modelo ajustado lineal es .9909 indicando una relación fuerte entre las variables. El coeficiente de correlación  $r$  de Pearson es .9954. El Error Absoluto medio (MAE) es .00170606 valor promedio de los residuos. Indica no hay una diferencia comparable entre las variables continuas de la recta.

#### **4.1.1 Interpretación de la Ecuación B.E.T.**

Aplicando la relación de B.E.T.; expresada por la ecuación (1), a los datos de la Tabla 2, se tiene los siguientes valores (Donde:  $X_1 = X_m$ ):

$$\frac{A_w}{X_{eq}(1-A_w)} = \frac{1}{X_{1.C}} + \frac{(C-1)}{X_{1.C}} \cdot A_w \dots (1)$$

La ecuación (1) es una línea recta, de la forma:  $y = A + Bx$ ; donde, una vez determinados los coeficientes de regresión  $A$  y  $B$  (juntamente con su coeficiente de correlación  $r$  de Pearson y coeficiente de determinación  $r^2$ ) se procede a igualar de la forma siguiente:

$$A = \frac{1}{X_{1.C}} \quad y \quad B = \frac{(C-1)}{X_{1.C}}$$

Correlacionando los valores de las columnas 1 y 3 de la tabla 2, se tienen los valores correspondientes de  $A$  y  $B$ .

$$A = .00597$$

$$B = .16622$$

$$r = .99542$$

$$r^2 = .9909$$

Se tiene que;

$$\frac{1}{X_1.C} = .00597 \quad (a)$$

Se tiene también;

$$\frac{(C-1)}{X_1.C} = .16622 \quad (b)$$

De donde:

$$X_1 = \frac{1}{.00597C} \quad (a)$$

$$X_1 = \frac{C-1}{.16622C} \quad (b)$$

**X<sub>1</sub>**: Contenido de Humedad de la Monocapa  $\left(\frac{KgH_2O}{100 Kg S. Seco.}\right)$

**C**: Cte. de B.E.T.

Se desarrolló reemplazando e igualando las variables de  $y = A + Bx$ , con las ecuaciones (a) y

(b). Resolviendo, se tiene los valores de:  $C$ ,  $X_1$  y % de agua.

$$C = 28.8$$

$$X_1 = 5.8075$$

$$\% \text{ de Agua} = \frac{5.8075}{5.8075 + 100} \times 100 = 5.49\%$$

#### 4.1.2 Método de Interpolación de Lagrange

El valor de actividad de agua ( $A_w$ ) que le corresponde para una humedad de equilibrio ( $\overline{X_{eq}}$ ) del 5.49 %. Se procedió a tomar en cuenta dos valores inferiores y dos valores superiores al valor deseado que se requiere estimar, en base a la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Datos de Actividad de Agua ( $A_w$ ) y Humedad de equilibrio ( $\overline{X_{eq}}$ ) para la aplicación del método Lagrange*

Actividad del agua ( $A_w$ )	$\overline{X_{eq}}$
0.098	4.70
0.125	5.10
0.168	5.60
0.226	6.75

*Nota.* La tabla muestra la Actividad de agua e Humedad en equilibrio para determinar a qué actividad de agua ( $A_w$ ) le corresponde a 5.49% de agua para proteína en polvo en sachet de 10 gramos para deportistas.

$$A_{w(5,49\%)} = 0.098 \frac{(5.41-5.10)(5.41-5.60)(5.41-6.75)}{(4.70-5.10)(4.70-5.60)(4.70-6.75)} + 0.125 \frac{(5.41-4.70)(5.41-5.60)(5.41-6.75)}{(5.10-4.70)(5.10-5.60)(5.10-6.75)} +$$

$$0.168 \frac{(5.41-4.70)(5.41-5.10)(5.41-6.75)}{(5.60-4.70)(5.60-5.10)(5.60-6.75)} + 0.226 \frac{(5.41-4.70)(5.41-5.10)(5.41-5.60)}{(6.72-4.70)(6.72-5.10)(6.72-5.60)}$$

Operando adecuadamente; se tiene que  $A_{w(5,49\%)} = .1584$

Se tiene que, para sachet de 10 gramos de sustancia proteica, que tiene humedad de equilibrio ( $\overline{X_{eq}}$ ) de 5.49% de agua, le corresponde una actividad del agua ( $A_w$ ) de 0.1584.

Este valor está dentro del rango de  $A_w$  para productos en polvo según Fennema y Tanenbaum (2010), leche entera en polvo con una humedad de 2-3%, consta hasta de 0.2 de  $A_w$  para este tipo de alimentos.

## 4.2 Cinética de ganancia de Humedad aplicada a sachets de 20 gramos

Luego de haber realizado el proceso de mezclado (y combinación) por triplicado, considerando que otros parámetros (humedad, textura, consistencia) se mantienen constantes; los resultados lo observamos en las cinco columnas de la Tabla 5. Se promedian las humedades de equilibrio ( $X_{eq}$ ), evaluando su desviación estándar, tales resultados se observan en la quinta columna de la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Datos de humedad de equilibrio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $X_{eq}$ ), por triplicado y humedad de equilibrio promedio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $\overline{X_{eq}}$ ) en función de la Actividad del Agua ( $A_w$ ).*

$A_w$	$X_{eq1}(\frac{gH_2O}{100 g S.S.})$	$X_{eq2}(\frac{gH_2O}{100 g S.S.})$	$X_{eq3}(\frac{gH_2O}{100 g S.S.})$	$\overline{X_{eq}}(\frac{gH_2O}{100 g S.S.})$	Desviación estándar ( $\sigma$ )
0.05	4.25	4.42	4.32	4.33	+/- 0.09
0.102	4.92	5.05	5.10	5.02	+/- 0.09
0.132	5.45	5.62	5.74	5.60	+/- 0.15
0.174	5.92	6.15	6.45	6.17	+/- 0.27
0.282	6.98	7.22	7.65	7.28	+/- 0.34
0.302	8.52	8.94	9.32	8.93	+/- 0.40
0.358	9.45	9.64	10.32	9.80	+/- 0.46

*Nota.* La tabla muestra los datos de Actividad de agua ( $A_w$ ) y Humedad de equilibrio promedio  $\overline{X_{eq}}$  tomado para una muestra de 20 gramos de sachet de proteína en polvo para deportistas.

Existe una baja variabilidad de los datos de la muestra, lo que indica que los puntos de los datos están cerca de la media. Nos permiten comprender cómo los datos del promedio se desvían y la distribución dentro de los límites medidos (Rendón et al, 2016).

Para el sachet de 20 gramos, la Humedad en equilibrio promedio ( $\overline{X_{eq}}$ ), siendo el contenido de humedad mínimo que se alcanza para determinada temperatura y humedad relativa (Rodríguez, 2002) varía entre los valores de min: 4.33 y Max: 9.8.

Se aplica la ecuación de BET y la Linealización de la ecuación para la aplicación de la fórmula como se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Datos de humedad de equilibrio promedio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $\overline{X_{eq}}$ ) en función de la Actividad del Agua ( $A_w$ ) y los datos para la ecuación de B.E.T.*

Actividad del agua ( $A_w$ )	$\overline{X_{eq}}$	$\frac{A_w}{\overline{X_{eq}}(1 - A_w)}$	$\frac{\widehat{A_w}}{\overline{X_{eq}}(1 - A_w)}$
0.050	4.33	0.01216	0.0146
0.102	5.02	0.02261	0.0222
0.132	5.60	0.02714	0.0265
0.174	6.17	0.03412	0.0327
0.282	7.28	0.05393	0.0484
0.302	8.93	0.04847	0.0513
0.358	9.80	0.05688	0.0595

*Nota.* La tabla muestra los datos de humedad de equilibrio promediado en función de la actividad de Agua ( $A_w$ ) para sachet en polvo de 20 gramos, para proceder con Ecuación de BET.

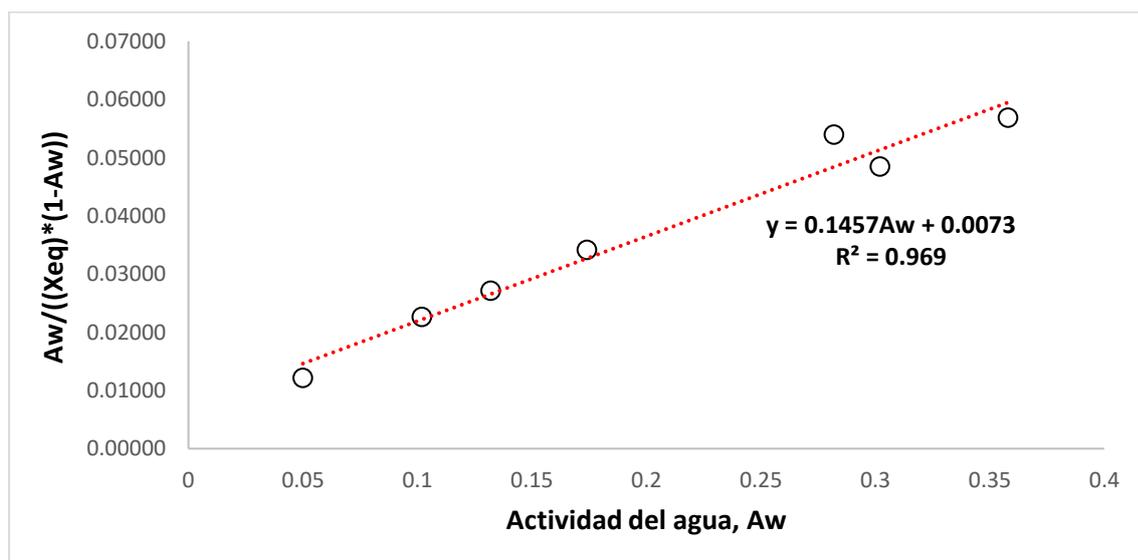
Aplicando la Ecuación de BET, se reemplaza el valor de Actividad de agua ( $A_w$ ) en la linealización de la ecuación de BET, hallando el valor  $\frac{1}{\bar{X}_{eq}} * \frac{A_w}{(1-A_w)}$ , que se toma como base para desarrollar una recta, de la misma forma para hallar la regresión y la ecuación lineal en base a la Actividad del agua ( $A_w$ ). Se reemplazó el valor de  $A_w$  en la ecuación lineal obtenida, dando resultado los datos de la variable pendiente finales,  $\frac{1}{\bar{X}_{eq}} * \frac{\widehat{A_w}}{(1-\widehat{A_w})}$ .

Los valores de humedad de equilibrio de proteína en polvo a 25°C para sachet de 20 gramos se muestran en la tabla 4.

La actividad del agua ( $A_w$ ) del sachet de 20 g varía entre (Min .05 y Max. .358) a un  $A_w$  menor de .25, al ser un componente de la estructura molecular del producto alimentaria, la zona de agua está firmemente ligada unida al alimento mediante fuerzas de Vander Waals (Rodríguez ,2002). Esta agua está fuertemente ligada a la superficie seca, su fugacidad es baja y, en consecuencia, su presión de vapor es reducida (Badui, 2006).

### Figura 19

#### *Linealización de la Ecuación de BET*



*Nota.* Representa a linealización de la ecuación de BET para proteína en polvo en sachet de 20 gramos para deportistas.

Representación de los datos, para el sachet de 20 gramos, para la ecuación BET, entre de los datos de la tabla 5 en la Actividad del agua ( $A_w$ ) e  $Y$  en la ecuación (2).

Se muestra la ecuación del modelo ajustado:

$$Y = 0.1457A_w + 0.0073$$

Sabiendo que:

$$\frac{1}{\bar{X}_{eq}} * \frac{A_w}{(1 - A_w)} = Y$$

Se observa en la Figura 5, se presenta la linealización de la fórmula de BET para poder identificar el valor de la ordenada y valor pendiente. Obteniéndose una gráfica de regresión lineal aun nivel coeficiencia menor del 10%. El  $R^2$  indica que el modelo ajustado lineal es .9695 indicando una relación fuerte entre las variables. El coeficiente de correlación  $r$  de Pearson es .9846. El Error Absoluto medio (MAE) es .00224046 valor promedio de los residuos. Indica no hay una diferencia comparable entre las variables continuas de la recta.

#### **4.2.1 Interpolación de la Ecuación B.E.T**

Aplicando la relación de B.E.T.; expresada por la ecuación (1), a los datos de la Tabla 5, se tiene los siguientes valores (Donde:  $X_1 = X_m$ ):

$$\frac{A_w}{X_{eq}(1-A_w)} = \frac{1}{X_1.C} + \frac{(C-1)}{X_1.C} . A_w \dots (1)$$

La ecuación (1) es una línea recta, de la forma:  $y = A + Bx$ ; donde, una vez determinados los coeficientes de regresión  $A$  y  $B$  (juntamente con su coeficiente de correlación  $r$  de Pearson y coeficiente de determinación  $r^2$ ) se procede a igualar de la forma siguiente:

$$A = \frac{1}{X_1.C} \quad y \quad B = \frac{(C-1)}{X_1.C}$$

Correlacionando los valores de las columnas 1 y 3 de la tabla 5, se tienen los valores correspondientes de  $A$  y  $B$ .

$$A = .00733$$

$$B = .1457$$

$$r = .9846$$

$$r^2 = .969$$

Se tiene que;

$$\frac{1}{X_1 \cdot C} = .00733 \quad (a)$$

Se tiene también;

$$\frac{(C-1)}{X_1 \cdot C} = .1457 \quad (b)$$

De donde:

$$X_1 = \frac{1}{.00733C} \quad (a)$$

$$X_1 = \frac{C-1}{.1457C} \quad (b)$$

$X_1$ : Contenido de Humedad de la Monocapa  $\left(\frac{KgH_2O}{100 Kg S. Seco.}\right)$   
 $C$ : Cte. de BET

Se desarrolló reemplazando e igualando las variables de  $y = A + Bx$ , con las ecuaciones (a) y (b). Resolviendo, se tiene los valores de:  $C$ ,  $X_1$  y % de agua.

$$C = 20.9$$

$$X_1 = 6.5347$$

$$\% \text{ de Agua} = \frac{6.5347}{6.5347 + 100} \times 100 = 6.13\%$$

#### 4.2.2 Método de Interpolación de Lagrange

El valor de actividad de agua ( $A_w$ ) que le corresponde para una humedad de equilibrio ( $\overline{X_{eq}}$ ) del 6.13 %. Se procedió a tomar en cuenta dos valores inferiores y dos valores superiores al valor deseado que se requiere estimar, en base a la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Datos de Actividad de Agua ( $A_w$ ) y Humedad de equilibrio ( $\overline{X_{eq}}$ ) para la aplicación del método Lagrange*

Actividad del agua ( $A_w$ )	$\overline{X_{eq}}$
0.102	5.02
0.132	5.60
0.174	6.17
0.282	7.28

*Nota.* La tabla muestra la Actividad de agua e Humedad en equilibrio para determinar a qué actividad de agua ( $A_w$ ) le corresponde a 6.13% de agua para proteína en polvo en sachet de 20 gramos para deportistas.

$$A_{w(6.13\%)} = 0.102 \frac{(6.13-5.60)(6.13-6.17)(6.13-7.28)}{(5.02-5.60)(5.02-6.17)(5.02-7.28)} + 0.132 \frac{(6.13-5.02)(6.13-6.17)(6.13-7.28)}{(5.60-5.02)(5.60-6.17)(5.60-7.28)} +$$

$$0.174 \frac{(6.13-5.02)(6.13-5.60)(6.13-7.28)}{(6.17-5.02)(6.17-5.60)(6.17-7.28)} + 0.282 \frac{(6.13-5.02)(6.13-5.60)(6.13-6.17)}{(7.28-5.02)(7.28-5.60)(7.28-6.17)}$$

Operando adecuadamente; se tiene que  $A_{w(6.13\%)} = .1719$

Se tiene que, para sachet de 10 gramos de sustancia proteica, que tiene humedad de equilibrio ( $\overline{X_{eq}}$ ) de 6.13% de agua, le corresponde una actividad del agua ( $A_w$ ) de .1719.

Este valor está dentro del rango de  $A_w$  para productos en polvo según Fennema y Tanenbaum (2010), leche entera en polvo con una humedad de 2-3%, consta hasta de 0.2 de  $A_w$  para este tipo de alimentos.

### 4.3 Cinética de ganancia de Humedad aplicada a sachet de 30 gramos

Habiendo realizado el proceso de mezclado (y combinación) por triplicado, considerando que otros parámetros (humedad, textura, consistencia) se mantienen constantes; los resultados lo observamos en las cinco columnas de la Tabla 9. Las humedades de equilibrio ( $X_{eq}$ ) se promediaron, evaluando su desviación estándar, por lo cual los resultados se vislumbran en la quinta columna de la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Datos de humedad de equilibrio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $X_{eq}$ ), por triplicado y humedad de equilibrio promedio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $\overline{X_{eq}}$ ) en función de la Actividad del Agua ( $A_w$ ).*

$A_w$	$X_{eq1}(\frac{gH2O}{100 g S.S.})$	$X_{eq2}(\frac{gH2O}{100 g S.S.})$	$X_{eq3}(\frac{gH2O}{100 g S.S.})$	$\overline{X_{eq}}(\frac{gH2O}{100 g S.S.})$	Desviación estándar ( $\sigma$ )
0.062	4.45	4.32	4.6	4.38	+/- 0.07
0.116	5.32	5.64	5.72	5.56	+/- 0.21
0.142	5.74	5.82	5.93	5.83	+/- 0.10
0.184	6.44	6.84	6.86	6.71	+/- 0.24
0.292	8.15	8.92	8.64	8.57	+/- 0.39
0.321	9.75	9.92	10.12	9.93	+/- 0.19
0.384	12.45	12.64	12.83	12.64	+/- 0.19

*Nota.* La tabla muestra los datos de Actividad de agua ( $A_w$ ) y Humedad de equilibrio promedio  $\overline{X_{eq}}$  tomado para una muestra de 30 gramos de sachet de proteína en polvo para deportistas.

La desviación estándar mide la variación o dispersión de los datos (Quispe et al., 2020). Gracias a ello es posible comprender como se desvían los datos del promedio y la distribución dentro de los límites medidos (Rendón et al, 2016). Existe una baja variabilidad de los datos de la muestra, lo que indica que los puntos de los datos están cerca de la media.

Se plantea la aplicación de la ecuación de BET y la linealización de la ecuación para la aplicación de la fórmula en la tabla 10 como se ejemplifica.

Para el sachet de 30 gramos la Humedad en equilibrio promedio ( $\overline{X_{eq}}$ ) denota una falta de interacción de humedad entre el producto y el aire circundante. Se produce cuando hay idéntica presión de vapor de agua en el aire y en la superficie el alimento (Cortés, 1981), varía entre los valores de min: 4.38 y Max: 12.64.

**Tabla 10**

*Datos de humedad de equilibrio promedio (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) ( $\overline{X_{eq}}$ ) en función de la Actividad del Agua ( $A_w$ ) y los datos para la ecuación de B.E.T.*

Actividad del agua ( $A_w$ )	$\overline{X_{eq}}$	$\frac{A_w}{\overline{X_{eq}}(1 - A_w)}$	$\frac{\overline{A_w}}{\overline{X_{eq}}(1 - A_w)}$
0.062	4.38	0.01510	0.0182
0.116	5.56	0.02360	0.0242
0.142	5.83	0.02839	0.0271
0.184	6.71	0.03359	0.0317
0.292	8.57	0.04812	0.0437
0.321	9.93	0.04761	0.0470
0.384	12.64	0.04932	0.0540

*Nota.* La tabla muestra los datos de humedad de equilibrio promediado en función de la actividad de Agua ( $A_w$ ) para sachet en polvo de 30 gramos, para proceder con Ecuación de BET.

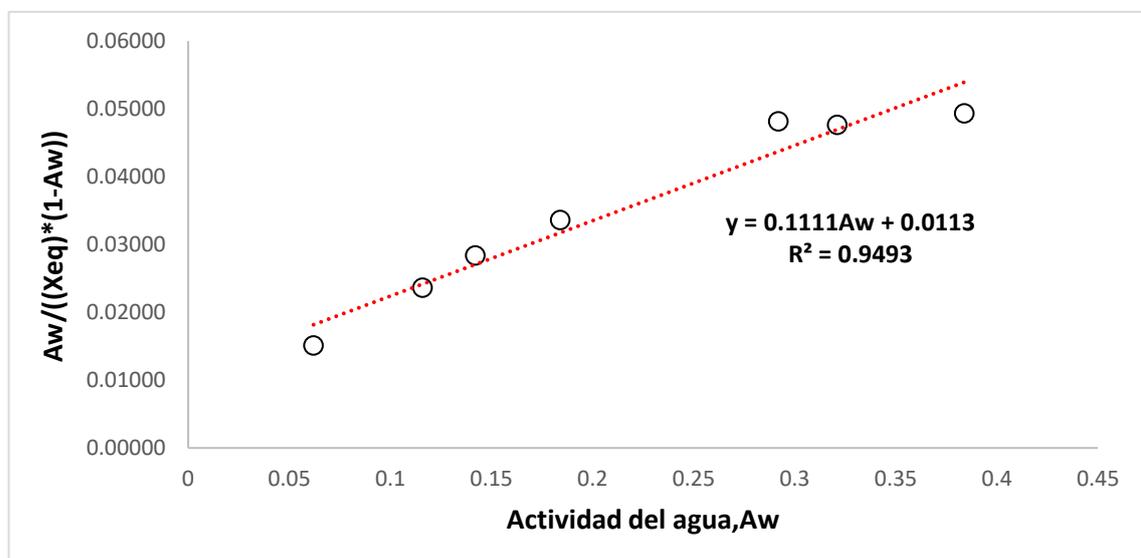
Aplicando la ecuación de BET, el valor de Actividad de agua ( $A_w$ ) se reemplaza en la linealización de la ecuación de BET, hallando el valor  $\frac{1}{X_{eq}} * \frac{A_w}{(1 - A_w)}$ , que se toma como base para desarrollar una recta, de la misma forma para hallar la regresión y la ecuación lineal en base a la Actividad del agua ( $A_w$ ). Se reemplazó el valor de  $A_w$  en la ecuación lineal obtenida, dando resultado los datos de la variable pendiente finales,  $\frac{1}{X_{eq}} * \frac{\widehat{A_w}}{(1 - A_w)}$ .

Los valores de humedad de equilibrio de proteína en polvo a 25°C para sachet de 30 gramos se muestran en la tabla 10.

La actividad de agua ( $A_w$ ) de 30 g varía entre (Min 0.062 y Max. 0.384) donde un  $A_w$  menor de 0.25; la zona de agua se encuentra fuertemente ligada al alimento por fuerzas de Vander Waals, cuando están formando parte de la propia estructura molecular del producto (Rodríguez, 2002). Esta agua está fuertemente unida a la superficie seca, su fugacidad es baja y, en consecuencia, su presión de vapor es reducida (Badui, 2006).

## Figura 20

### *Linealización de la Ecuación de BET*



*Nota.* Representa a linealización de la ecuación de BET para proteína en polvo en sachet de 30 gramos para deportistas.

Representación de los datos, para el sachet de 20 gramos, para la ecuación BET, entre de los datos de la tabla 5 en la Actividad del agua ( $A_w$ ) e  $Y$  en la ecuación (2).

Se muestra la ecuación del modelo ajustado:

$$Y = 0.1111A_w + 0.0113$$

Sabiendo que:

$$\frac{1}{\bar{X}_{eq}} * \frac{A_w}{(1 - A_w)} = Y$$

Se observa en la Figura 3, se presenta la linealización de la fórmula de BET para poder identificar el valor de la ordenada y valor pendiente. Obteniéndose una gráfica de regresión lineal aun nivel coeficiencia menor del 10%. El  $R^2$  indica que el modelo ajustado lineal es .9493 indicando una relación fuerte entre las variables. El coeficiente de correlación  $r$  de Pearson es .9743. El Error Absoluto medio (MAE) es .00236492 valor promedio de los residuos. Indica no hay una diferencia comparable entre las variables continuas de la recta.

#### **4.3.1 Interpretación de la Ecuación de B.E.T.**

Aplicando la relación de B.E.T.; expresada por la ecuación (1), a los datos de la Tabla 10, se tiene los siguientes valores (Donde:  $X_1 = X_m$ ):

$$\frac{A_w}{X_{eq}(1-A_w)} = \frac{1}{X_1.C} + \frac{(C-1)}{X_1.C} . A_w \dots (1)$$

La ecuación (1) es una línea recta, de la forma:  $y = A + Bx$ ; donde, una vez determinados los coeficientes de regresión  $A$  y  $B$  (juntamente con su coeficiente de correlación  $r$  de Pearson y coeficiente de determinación  $r^2$ ) se procede a igualar de la forma siguiente:

$$A = \frac{1}{X_1 \cdot C} \quad \text{y} \quad B = \frac{(C-1)}{X_1 \cdot C}$$

Correlacionando los valores de las columnas 1 y 3 de la tabla 2, se tienen los valores correspondientes de  $A$  y  $B$ .

$$A = .01129$$

$$B = .1111$$

$$r = .9743$$

$$r^2 = .9493$$

Se tiene que;

$$\frac{1}{X_1 \cdot C} = .01129 \quad (a)$$

Se tiene también;

$$\frac{(C-1)}{X_1 \cdot C} = .1111 \quad (b)$$

De donde:

$$X_1 = \frac{1}{.01129C} \quad (a)$$

$$X_1 = \frac{C-1}{.1111C} \quad (b)$$

$X_1$ : Contenido de Humedad de la Monocapa  $\left(\frac{KgH_2O}{100 Kg S. Seco.}\right)$

$C$ : Cte. de BET

Se desarrolló reemplazando e igualando las variables de  $y = A + Bx$ , con las ecuaciones (a) y (b). Resolviendo, se tiene los valores de:  $C$ ,  $X_1$  y % de agua.

$$C = 10.8$$

$$X_1 = 8.1706$$

$$\% \text{ de Agua} = \frac{8.1706}{8.1706 + 100} \times 100 = 7.55\%$$

#### 4.3.2 Método de Interpolación de Lagrange

El valor de actividad de agua ( $A_w$ ) que le corresponde para una humedad de equilibrio ( $\overline{X_{eq}}$ ) del 7.55 %. Se procedió a tomar en cuenta dos valores inferiores y dos valores superiores al valor deseado que se requiere estimar, en base a la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Datos de Actividad de Agua ( $A_w$ ) y Humedad de equilibrio ( $\overline{X_{eq}}$ ) para la aplicación del método Lagrange*

Actividad del agua ( $A_w$ )	$\overline{X_{eq}}$
0.142	5.83
0.184	6.71
0.292	8.57
0.321	9.93

*Nota.* La tabla muestra la Actividad de agua e Humedad en equilibrio para determinar a qué actividad de agua ( $A_w$ ) le corresponde a 7.55 % de agua para proteína en polvo en sachet de 30 gramos para deportistas.

$$A_{w(7.55\%)} = 0.142 \frac{(6.13-5.60)(6.13-6.17)(6.13-7.28)}{(5.02-5.60)(5.02-6.17)(5.02-7.28)} + 0.132 \frac{(6.13-5.02)(6.13-6.17)(6.13-7.28)}{(5.60-5.02)(5.60-6.17)(5.60-7.28)} +$$

$$0.174 \frac{(6.13-5.02)(6.13-5.60)(6.13-7.28)}{(6.17-5.02)(6.17-5.60)(6.17-7.28)} + 0.282 \frac{(6.13-5.02)(6.13-5.60)(6.13-6.17)}{(7.28-5.02)(7.28-5.60)(7.28-6.17)}$$

Operando adecuadamente; se tiene que  $A_{w(7.55\%)} = .1400$

Se tiene que, para sachet de 10 gramos de sustancia proteica, que tiene humedad de equilibrio ( $\overline{X_{eq}}$ ) de 7.55 % de agua, le corresponde una actividad del agua ( $A_w$ ) de .1400.

Este valor está dentro del rango de  $A_w$  para productos en polvo según Fennema y Tanenbaum (2010), leche entera en polvo con una humedad de 2-3%, consta hasta de 0.2 de  $A_w$  para este tipo de alimentos.

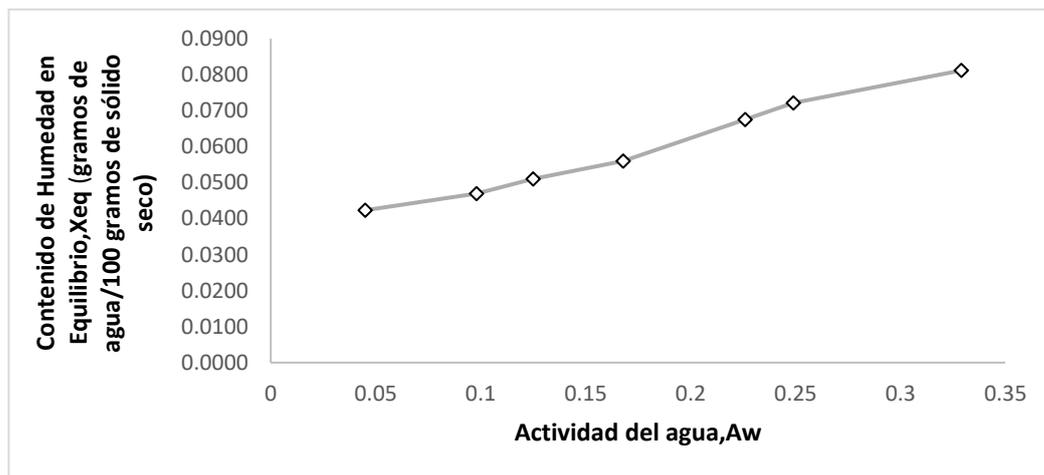
#### 4.4 Determinación de Isotermas de adsorción a diferentes pesos

##### 4.4.1 Prueba experimental aplicada a sachets de 10 gramos

Se observa que las isotermas de adsorción de la proteína en polvo a 10 g a 25°C, tiene una tendencia lineal en el intervalo numérico de actividad de agua de .045 a .329, de modo que fue posible al ajuste de los valores a una isoterma lineal.

#### Figura 21

*Representación de la isoterma de adsorción, para el sachet de 10 gramos de proteína en polvo para deportistas.*



*Nota.* Representa Contenido de Humedad en Equilibrio promedio ( $\overline{X_{eq}}$ ) (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) vs Actividad del agua ( $A_w$ ) para sachet de 10 gramos de proteína en polvo para deportistas.

Representación de los datos, para el sachet de 10 gramos, en la isoterma de adsorción, entre las columnas 1 y 5 de la tabla 1. La columna 5 representa el contenido de humedad de la monocapa ( $X_w$ ) o humedad en equilibrio promedio  $\overline{X_{eq}}$  ( $\frac{gH_2O}{100g S.S.}$ ) en su forma fraccional para

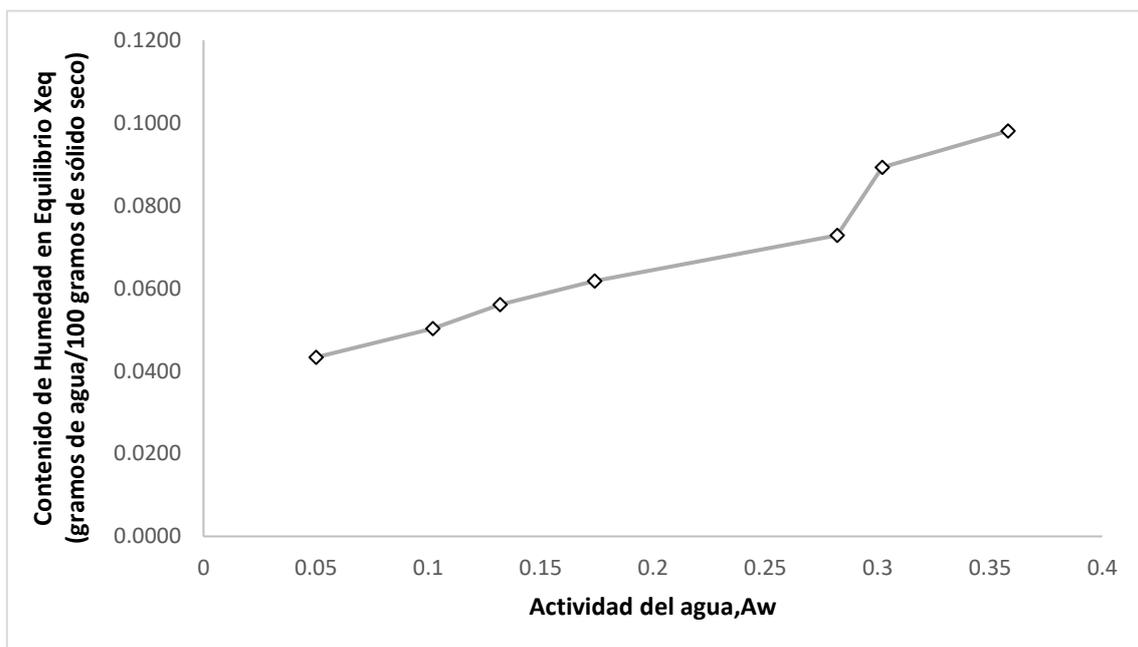
proteínas para deportistas. La forma es una recta de que representa esta, llega a un tipo de isoterma de tipo II.

#### 4.4.2 Prueba experimental aplicada a sachets de 20 gramos

Se observa que las isotermas de adsorción de la proteína en polvo a 20 g a 25°C, tiene una tendencia de una curva sigmoidea en el espectro numérico de actividad de agua de .05 a .358, de modo que fue posible al ajuste de los valores a una isoterma curva.

#### Figura 22

*Representación de la isoterma de adsorción, para el sachet de 20 gramos de proteína en polvo para deportistas*



*Nota.* Representa Contenido de Humedad en Equilibrio promedio ( $\overline{X_{eq}}$ ) (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) vs Actividad del agua ( $A_w$ ) para sachet de 20 gramos de proteína en polvo para deportistas.

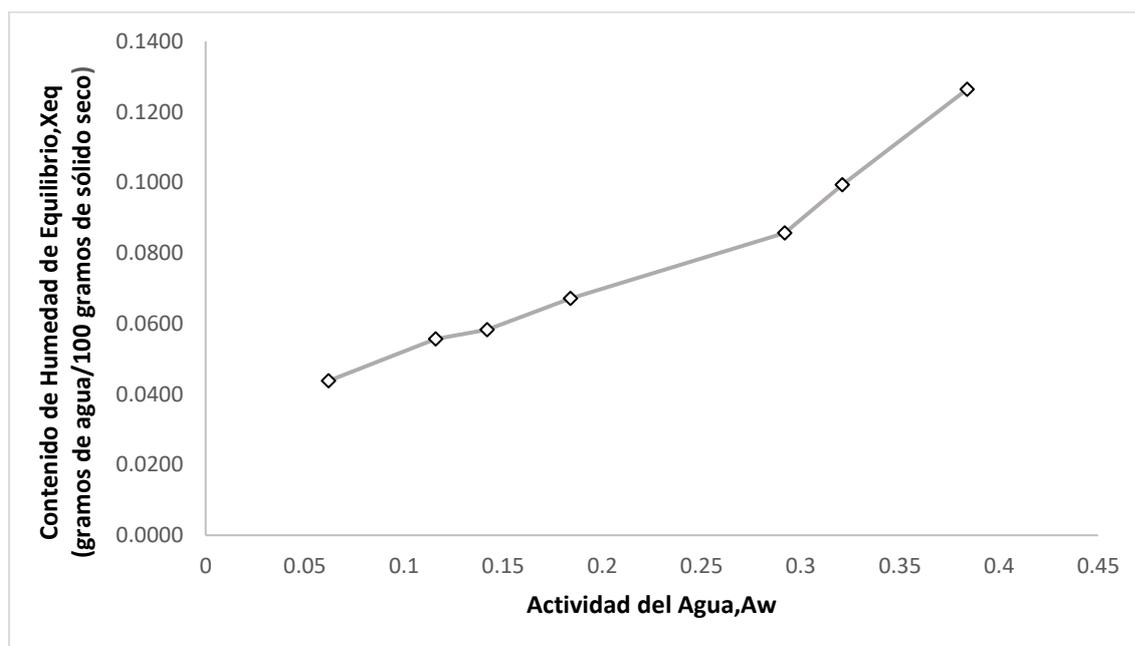
Representación de los datos, para el sachet de 20 gramos, en la isoterma de adsorción, entre las columnas 1 y 5 de la tabla 4. La columna 5 representa el contenido de humedad de la monocapa ( $X_w$ ) o humedad en equilibrio promedio  $\bar{x}_{eq} (\frac{gH_2O}{100 g S.S.})$  en su forma fraccional para proteínas para deportistas. La forma es una curva sigmoidea de que representa, llega a un tipo de isoterma de tipo II.

#### 4.4.3 Prueba experimental aplicada a sachets de 30 gramos

Se observa que las isotermas de adsorción de la proteína en polvo a 30 g a 25°C, tiene una tendencia de una curva sigmoidea en un intervalo de actividad de agua de entre .06 a .384, de modo que fue posible al ajuste de los valores a una isoterma curva.

#### Figura 23

*Representación de la isoterma de adsorción, para el sachet de 30 gramos de proteína en polvo para deportistas*



*Nota.* Representa Contenido de Humedad en Equilibrio promedio ( $\overline{X_{eq}}$ ) (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) vs Actividad del agua ( $A_w$ ) para sachet de 30 gramos de proteína en polvo para deportistas.

Representación de los datos, para el sachet de 30 gramos, en la isoterma de adsorción, entre las columnas 1 y 5 de la tabla 7. La columna 5 representa el contenido de humedad de la monocapa ( $X_w$ ) o humedad en equilibrio promedio  $\overline{X_{eq}} \left( \frac{gH_2O}{100 g S.S.} \right)$  en su forma fraccional para proteínas para deportistas. La forma es una curva sigmoidea de que representa, llega a un tipo de isoterma de tipo II.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Determinación de la Cinética de ganancia de Humedad de proteína en polvo

Se mostraron similares tendencias de humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ) promedio entre las tres categorías de muestras, siendo la última muestra la de 30 gramos es numéricamente más alto que las demás muestras, Reflejando la forma como el agua se liga al sistema (Sajad y Pradyuman, 2016); existe una mayor variación en el sachet de 30 g frente al de 10 gramos.

El  $A_w$  de las tres categorías de muestras a temperatura de 25°C constante y HR: 85% Mostraron similares tendencias, si el agua con una  $A_w$  en el rango de .0 a .3 está altamente ligada el agua. (Rodríguez, 2002). Para evitar la aglomeración de leche en polvo y café instantáneo para así evitar la adherencia (pegajosidad) el  $A_w$  debe oscilar entre .35 a .5 (Fennema, 2010). Corresponde dentro a los valores reportados de las muestras de distintas categorías de peso de proteína de polvo en sachet de 10,20 y 30 gramos (.045-.384)  $A_w$ .

Se mostró el Contenido de Humedad de la Mono capa de Ecuación BET de sachet de 10 g fue de 5.8072 (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) menor a lo reportado comparado con los demás que presentaron para 20 g de 6.5347 (gramos de agua/100 gramos de sólido seco) y para 30 g de 8.17 (gramos de agua/100 gramos de sólido seco), quiere decir mientras menor sea la presentación de sachet de proteína en polvo decrece también el Contenido de Humedad en la monocapa. El contenido de la capa mono molecular la mayoría investigadores concluye no se encuentra disponible para los microorganismos y protege a las proteínas (Rodríguez, 2002). Asimismo, según Ryan et al. (2022), sugiere los valores bajos en humedad en la monocapa necesitan nivel de humedad menor de 50°C para compensar la vulnerabilidad de pegajosidad del polvo, formación de grumos y apelmazamiento durante el almacenamiento.

Se tiene que el porcentaje de agua o humedad en las muestras de 10 g, 20 g y 30 g (5.49%; 6.13%; 7.55%) para proteína en polvo para deportistas no coincide con lo reportado según (Think Usa Diary, 2017) para leche entera en polvo tal como es debe contener no más de 5% de humedad por peso, pueda deberse a la interacción con otros componentes dentro de la mezcla proteica como Blend Whey, edulcorante, goma Xantan, vitamina B6 y soya. Los elementos higroscópicos como los polvos bajos en proteínas son susceptible a la cristalización de lactosa en condiciones de la alta humedad o temperatura, en comparación con los polvos ricos en proteínas que son relativamente insolubles, y la solubilidad de deteriora con el almacenamiento (Maidannyk et al., 2020). La soya en polvo según Neira (2021) reporto una humedad 7.8% encontrándose similar al sachet de 30 g de proteína para deportista en polvo. Los problemas asociados con las proteínas lácteas en polvo varían según la concentración de proteínas/carbohidratos y generalmente son el resultado de un almacenamiento prolongado en condiciones ambientales no ideales (Maidannyk et al., 2020). Los polvos se envasan en condiciones atmosféricas y se transportan a todo el mundo, a menudo con poco control de temperatura durante el almacenamiento. Como tal las propiedades funcionales (fluidez, humectabilidad, disolución) de estos polvos pueden verse afectadas significativamente (Maidannyk et al., 2020).

Contenido de humedad inferior al de la Monocapa (2.61-2.87 g/100g, b.s.), los valores de  $A_w$  no incrementen 0.40 a temperatura de 25 °C, a fin generar máxima calidad y estabilidad durante su almacenamiento (Noguera y Rivero, 2020).

Contrario a lo reportado por Noguera y Rivero (2020), para polvos como café instantáneo se encontró Contenido de humedad es menor al de la Monocapa (2.61-2.87 g/100g, b.s.), con un  $A_w$  de 0.40 a temperatura de 25 °C. Este último se asemeja con los datos que representa para Sachet de proteína en polvo para deportistas, podría deberse a que los contenidos de actividad del agua disminuyen en función de la temperatura (Guillermo, 2020).

Sabiendo que la Ecuación de B.E.T en el intervalo de actividad de agua ( $A_w$ ) entre .05 y .45, la ecuación ofrece un ajuste satisfactorio para una amplia diversidad de alimentos (Gabas et al., 1998), lo cual lo hace apropiado para este tipo de estudios.

El estudio para isoterma de adsorción para polvos en harina de Haba de Saldaña (2020), se encontró a 20 °C corresponde 7.511 g de agua/100 g.m.s, para 30°C es 6.893 g de agua/100 g.m.s, y para 40°C es 6.493 g de agua/100 g.m.s. Con un comportamiento similar tuvimos para temperatura cte. 25°C, HR<85% siendo para la categoría de 10 g contenido de humedad de monocapa de B.E.T de 5.8072 g de agua/ 100 g.m.s, para 20 g de 6.5347 g de agua/100 g.m.s y para 30 g es 8.1706 g de agua/ 100 g.m.s. Mostrando el comportamiento de adsorción en la proteína similar a la presentación de 20 gramos. En general, los grupos polares de algunas sustancias, en particular los grupos  $\text{NH}_3^+$  y  $\text{COO}^-$  de las proteínas y los grupos OH de los almidones, tienen una capa mono molecular de agua ligada a ellos en esta zona de la isoterma, según múltiples autores (Rodríguez, 2002). Podría deberse además a qué medida que aumentaban el nivel de proteínas en polvo, también aumentaba la cantidad de agua absorbida, independientemente de la cristalización de la lactosa (Maidannyk et al., 2020).

La cinética de sorción asimismo se ve afectado por el carácter de la materia prima, la superficie diversificada del producto, así como por la humedad relativa del aire y la temperatura (Ruszkowska, 2010).

Para sorción de productos alimenticios en polvo de leche entera en polvo y bebida de soja en polvo de (Piotr, 2016) contrario a los expresado el ensayo realizado aun rango de  $A_w$  de .33 para leche y soja .98, en el estudio fue numéricamente menor con para 10 gramos  $A_{w(5.49\%)} = .1584$  , Para 20 gramos  $A_{w(6.13\%)} = .1719$  y Para 30 gramos  $A_{w(6.13\%)} = .1400$  y menor con respecto a bebida de soja en polvo. Se podría deber a mayor concentración de proteínas mayor capacidad de adsorción de vapor de agua, contenido de  $A_w$  reducido y menos

contenido de humedad de equilibrio en contraste con las bebidas de soja. La bebida en soya en polvo mostró menor capacidad de adsorción de vapor de agua (Ruszkowska y Palich, 2016).

Los suplementos proteicos mencionados en el presente estudio no tienen un efecto significativo en el aumento de la masa muscular y fuerza, cuyo porcentaje de agua de los tres sachets (de 10, 20 y 30 gramos) fue de 5.47; 6.13 y 7.55 %; coincidiendo lo mencionado por Blanco y Palma (2017). La actividad del agua de los suplementos de aminoácidos y proteicos que fueron diseñados y producidos tuvieron una actividad del agua ( $A_w$ ) entre .09 y .32; estando dentro del margen de actividad del agua ( $A_w$ ) entre .12 y .28; mejorando la resistencia y reduciendo la descomposición de proteínas y los dolores musculares provocados por el ejercicio; coincidiendo con lo que menciona Anzilotti (2022). Los suplementos de proteínas, contenidos en los sachets, por lo general envasados en cantidades entre 10 y 50 gramos, están fabricados con las proteínas caseína y suero de leche, fueron mezclados y vendidos en polvo, que a su vez pueden ser mezclados con agua, leche, un sustituto de la leche u otro tipo de líquido, provocando ganar musculatura con este tipo de suplemento, ayudando a los deportistas que no ingieren cantidad suficientes de proteínas en su dieta alimenticia, coincidiendo con lo reportado por la National Institutes of Health (2020).

Los tres presentaciones de suplementos proteicos de 10, 20 y 30 gramos tienen un contenido de agua menor del 10% que al ser consumidos por los deportistas, que son destinados a satisfacer necesidades nutricionales específicas factores, como el volumen y la intensidad del ejercicio, la disciplina deportiva, la edad, el entorno y la condición física, con el fin de mejorar y optimizar el rendimiento atlético y ayudar a alcanzar y mantener un óptimo estado de salud, corroborando con lo mencionado por Castillo et al., (2022).

## 5.2 Determinación de isothermas de adsorción a diferentes pesos

La relación entre el contenido de humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ) y la actividad de agua ( $A_w$ ) la cual, forma la gráfica de isoterma de sorción de la proteína de polvo para deportistas, fueron ajustada al modelo matemático B.E.T.

Se visualiza la gráfica de adsorción en la figura, a temperatura de 25°C y HR: 85%, según las curvas el tipo de pendiente puede demostrarse basándose en la categorización hecha por Brunauer et. al. (1938), la forma sigmoidea tipo II de las curvas es una característica de los alimentos desecados e indica una desorción física multicapa (Sapailla, 2020).

El extremo más húmedo de la Zona I (Limite entre zona I y II) corresponde al contenido de humedad de la monocapa de BET del alimento. El agua añadida en la zona II ocupa sitios de la primera capa que aún permanece libres (capa monomolecular). Esta agua se asocia a las moléculas de aguas vecinas y las moléculas de soluto fundamentalmente (primariamente) por enlaces hidrogeno (Fennema y Tannenbaum, 2010).

La representación de isoterma de adsorción para la categoría de sachet de 10 gramos presento una tendencia lineal en comparación de la categoría de 20 gramos y el de 30 gramos, que se presentó una curva más pronunciada. Los datos están dentro de los parámetros reportados por (Viades, 2007), la ecuación BET es aplicable en el intervalo  $.05 < A_w > .35-0.4$  para la aplicación de la isoterma de BET. Kiselev y Eltekov (1957) expresa que puede depender incluso del valor del parámetro C de la ecuación BET, siendo por lo general despreciable la variación de  $A_w$  para elevados valores de C.

La forma y posición de la isoterma están determinadas por diversos factores entre los que figuran la composición de la muestra, temperatura y metodología (Fennema y Tannenbaum, 2010).

Existe una ligera tendencia para formación de curva sigmoidea en las muestras de la categoría de para sachets de proteína en polvo para deportistas de 20 y 30 gramos en un  $A_w$  de .282 y el ultimo de  $A_w$  en .292, sugiere que se encuentran dentro de los parámetros reportados por (Viades, 2007). Los gráficos conocidos como isothermas de sorción son gráficos que representan el punto de equilibrio a temperatura constante, entre el contenido de humedad del alimento y la actividad del agua. (Fennema,1993). Si se utilizado cambio de temperatura según (Rodríguez, 2002).

Las velocidades de reacción mínima determinadas en el límite de Zona I y II, no afectan las reacciones oxidativas. (Fennema y Tannenbaum, 2010). Los valores de  $A_w$  mayores de 0.35 comienza a deteriorarse (Fennema y Tannenbaum, 2010).

Se muestran las muestras las curvas de adsorción de aislado de proteína de leche bovina sigmoideas, que son indicativas de isothermas de tipo II según la calificación de Brunauer (Brunauer et al., 1938) citado en Ryan et al. (2022), de acuerdo a lo presentado, de las tres categorías de 10,20 y 30 gramos para proteína en polvo para deportistas las gráficas mostraron un comportamiento de adsorción de agua similar, dentro de los parámetros reportados por Viades (2007).

Asimismo, los problemas evitables asociados con las proteínas lácteas en polvo varían dependiendo de la concentración de proteínas/carbohidratos y generalmente es la consecuencia de un almacenamiento prolongado en condiciones ambientales no ideales. Estos polvos son envasados en condiciones atmosféricas y se envían a todo el mundo, frecuentemente con poco control de temperatura durante su almacenamiento. Por tanto, las propiedades funcionales (fluidez, solubilidad, humectabilidad), pueden verse afectadas significativamente (Maidannyk et al., 2020).

Las Isothermas de adsocion en primer lugar se corroboran en varios casos, las interpretaciones teoricas el numero de sitios activos o la superficie efectiva de un producto,

posibilidad de prever su comportamiento en almacenamiento en condiciones distintas. La humedad de monocapa ( $X_m$ ) calculada con las ecuaciones de BET, determina las características higroscópicas del producto (Vilca, 2019).

Los polvos bajos en proteínas son susceptibles a la cristalización de lactosa, también aumenta el cambio fase vítrea a fase gomosa en condiciones de la alta humedad o alta temperatura, en comparación con los polvos ricos en proteínas que son relativamente insolubles, y la solubilidad se deteriora con el almacenamiento (Maidannyk et al., 2020).

## VI. CONCLUSIONES

- ❖ El objetivo general del trabajo se ha cumplido de manera satisfactoria, determinando que el porcentaje (%) de agua y  $A_w$  para cada tipo de sachet de 10 gramos ( $A_w$ :.1584), 20 gramos ( $A_w$ :.1709) y 30 gramos ( $A_w$ :.1400) fue de 5.49 %; 6.13 % y 7.55 %; respectivamente
- ❖ Se determinó que cada sachet es independiente de los demás en el comportamiento de la actividad del agua, de la humedad en equilibrio y por lo tanto respecto a los parámetros de la ecuación de B. E. T.
- ❖ El porcentaje de agua (%) (5.49; 6.13 y 7.55;) y la masas de los sachets (10, 20 y 30 gramos) están en relación directa.
- ❖ Se determinó que, para el sachet de 10 gramos de sustancia proteica envasada, los parámetros de regresión de la ecuación lineal de BET fueron:  $A = .00597$  y  $B = .16622$ .
- ❖ Se determinó que, para el sachet de 20 gramos de sustancia proteica envasada, los parámetros de regresión de la ecuación lineal de BET fueron:  $A = .00733$  y  $B = .1457$ .
- ❖ Se determinó que, para el sachet de 30 gramos de sustancia proteica envasada, los parámetros de regresión de la ecuación lineal de BET fueron:  $A = .01129$  y  $B = .1111$ .
- ❖ El método de los mínimos cuadrados (MMC) empleado para determinar la dependencia de humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ) en función de la actividad de agua ( $A_w$ ), para los sachets de 10, 20 y 30 gramos; es más que suficiente y válido.
- ❖ Las tres correlaciones de humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ) en función de la actividad de agua ( $A_w$ ) (para las tres presentaciones de sustancias proteicas) muestran

coeficientes de correlación  $r$  de Pearson y coeficiente de determinación  $r^2$  de:  $r = .9954$  y  $r^2 = .9909$  para el sachet de 10 gramos;  $r = .9846$  y  $r^2 = .9695$  para el sachet de 20 gramos y,  $r = .9743$  y  $r^2 = .9493$  para el sachet de 30 gramos.

## VII. RECOMENDACIONES

- ❖ Para tener un mejor control de los productos verificar los datos del equipo Aqualab-4TE y así evitar el intercambio de humedad de las muestras en el Laboratorio de Calidad, este método simplifica la determinación de la actividad acuosa del producto.
- ❖ El manejo en la recepción de sacos de Mezcla en polvo se debe hacerse con cuidado para evitar roturas de los sacos y perder Suero de leche en polvo.
- ❖ Los datos de actividad de agua deben ser guardados transferidos a través software en la computadora para tener un registro de las medidas tomadas y verificadas a posteriori en la empresa.
- ❖ Las técnicas estadísticas de regresión por el método de los mínimos cuadrados (MMC) deben ser usadas adecuadamente, si es posible ser contrastadas con otras medidas que lleven a resultados semejantes e interpretaciones similares.
- ❖ A partir de esta investigación se puede ampliar para determinar la vida útil de proteína en polvo para deportista envasadas sachet.
- ❖ Podrían utilizarse otras combinaciones de proteínas con fines de investigación, mezclas con aminoácidos y comparar las isotermas de sorción.

## VIII. REFERENCIAS

- Agropur (2019) *Agropur our history*. <https://www.agropur.com/us/our-cooperative/our-history>.
- Alejo, H., Montiel, R., Roa, C., Perales, A. y Castillo, R. (2020) Consumo de suplementos nutricionales en personas que se ejercitan en gimnasios del norte de México.
- Anzilotti, A. (2022). Suplementos deportivos. *Nemours Teens Health*.
- Aqualab (2020) <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=CBFziocpoFw>
- Asla, M. (2015). *El papel de la nutrición en la cicatrización de las heridas*. [Tesis de pregrado, Universidad del País Vasco]. Repositorio Institucional UPV. <https://www.enfermeriaaps.com/portal/wp-content/uploads/2017/03/Papel-de-la-nutricion-en-la-cicatrizacion-de-las-heridas.pdf>
- Aymara, C., y Valdivia, H. (2017). *Influencia del nivel de conocimientos sobre el consumo de ayudas ergogénicas; suplementos nutricionales en personas que asisten a los gimnasios de la ciudad de Arequipa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/da31caac-1c17-4df0-bca2-3a8188e6623f/content>
- Badui (2006) *Química de los Alimentos*. (4ª ed.) Pearson Education.
- Ballesteros, J., Velo, J. y López, L. (2016). Análisis de la energía y nutrientes de las raciones individuales de convite y su adecuación a una dieta saludable. *Sanidad Militar*; 72 (3):182-189.
- BioMerieux (2023) *Microbiología industria*. <https://www.biomerieux-industry.com/es/calidad-seguridad-alimentaria/mercados/lácteos/leche-en-polvo>

- Blanco, J., y Palma, I. (2017). Efectos de los suplementos de proteína y aminoácidos de cadena ramificada en entrenamiento de fuerza: Revisión Bibliográfica. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 21(1), 55-73. <https://scielo.isciii.es/pdf/renhyd/v21n1/2174-5145-renhyd-21-01-55.pdf>
- Brunauer, S., Deming, L., Demming, W. y Troller, E. (1938) On the theory of Van der Waals adsorption of gases. *Journal of the American Chemical Society*, 62(1),1723-1732.
- Castillo, P., Cabrera, V., y Ramírez, L. (2022). Desarrollo de suplementos nutricionales para deportistas cubanos de alto rendimiento. *Revista Cubana de Medicina y la Cultura Física*, 17(1), 520-529.
- Chidichimo, A., D'Agostino, E. y Cash J. (2021) Importancia de las proteínas en la alimentación de los deportistas. [Licenciatura en Nutrición, Universidad Maimónides]. Repositorio Institucional UMAI. <https://www.cincap.com.ar/wp-content/uploads/2021/01/GACETILLA-CINCAP-Prote%C3%ADnas-y-deporte-Enero-2021.pdf>
- Contreras (2019). *Estudio del fenómeno de adsorción del mucílago liofilizado de la semilla de chíá*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio institucional UNAM. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/104756/TesisMICV.%2011.08.19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cortés (1981) Contenido de humedad en equilibrio. *Ingeniería de procesos agrícolas*, 1(7), 12-17.
- Eversun (2019) *Mezclador de doble cono*. <https://www.vibrosievingmachine.com/es/products/double-cone-mixer/>

- Falabella (28 de Junio del 2023) *Balanza industrial con plataforma*. [.https://sodimac.falabella.com.pe/sodimac-pe/product/114438298/Balanza-Industrial-con-Plataforma-y-Torre-B-300T-300KG/114438299?disp=1&gclid=Cj0KCQjwtO-kBhDIARIsAL6LorcGNHF0sBDkX0MA\\_347J92hs7NkPAxoBqya48W1xfZwbUga9KUnA1waAg6jEALw\\_wcB&kid=shopp6fc](https://sodimac.falabella.com.pe/sodimac-pe/product/114438298/Balanza-Industrial-con-Plataforma-y-Torre-B-300T-300KG/114438299?disp=1&gclid=Cj0KCQjwtO-kBhDIARIsAL6LorcGNHF0sBDkX0MA_347J92hs7NkPAxoBqya48W1xfZwbUga9KUnA1waAg6jEALw_wcB&kid=shopp6fc).
- Food and Agriculture Organization (2016) *Aireación de los granos*. <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S0k.htm>.
- Fennema (1993) *Química de los Alimentos*. (2ª ed.). Acribia S.A.
- Fennema (2000) *Química de los Alimentos*. (4ª ed.) Acribia S.A.
- Fennema y Tannenbaum (2010) *Introducción a la química de alimentos*. (3ª ed.) Acribia
- Fong (2015) *Efecto del contenido de grasa y la temperatura en las características de sorción de la leche en polvo*. [Trabajo académico, Universidad Simon Bolívar]. [https://www.researchgate.net/publication/282850277\\_EFECTO\\_DEL\\_CONTENIDO\\_DE\\_GRASA\\_Y\\_LA\\_TEMPERATURA\\_EN\\_LAS\\_CARACTERISTICAS\\_DE\\_SORCION\\_DE\\_LA\\_LECHE\\_EN\\_POLVO](https://www.researchgate.net/publication/282850277_EFECTO_DEL_CONTENIDO_DE_GRASA_Y_LA_TEMPERATURA_EN_LAS_CARACTERISTICAS_DE_SORCION_DE_LA_LECHE_EN_POLVO)
- Fox, P., y McSweeny, P. (2009) *Advanced Dairy Chemistry: Volume 3: Lactose, Water, Salts and Minor Constituents*. (3ª ed.). Springer
- Funes, P. (2019). *Hábitos de vida saludables* [Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla]. Repositorio Institucional US. <https://idus.us.es/handle/11441/90515>.
- Gabas, A. (1998) *Secagem de Uva Itália em Leito Fixo*. [Tesis maestría, Universidad Estadual de Campinas]. Repositorio Institucional UNICAMP. <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=462989>
- Garthe, I., y Ramsbottom, R. (2020) Elite athletes, a rationale for the use of dietary supplements: A practical approach. *Pharma Nutrition*, 14(1), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2020.100234>

- Gómez, R. (1992). Actividad de agua de los alimentos, métodos de determinación. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, ISSN 0300- 5755, N° 229, 1992,77-82.  
[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/awMetDet\\_1817.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/awMetDet_1817.pdf).
- Guillermo, E. y Saldaña, L. (2020) *Correlación de Modelos Matemáticos de Adsorción De Agua En Harina De Haba*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica]. Repositorio Institucional UNSLG.  
<https://repositorio.unica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13028/3972/Correlaci%C3%B3n%20de%20modelos%20matem%C3%A1ticos%20de%20adsorci%C3%B3n%20de%20agua%20en%20harina%20de%20haba%20%28Vicia%20faba%20L.%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Illanes, J. (2004) *Envases flexibles: usos y Aplicación en la Industria Alimentaria* [Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile]. Repositorio Institucional UNSAM.  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fai.29e/pdf/fai.29e-TH.3.pdf>
- Kiselev, A. y Eltekov, Y. (1957) Int. Congr. Surf. Activity II. *Butterworth, Londres*. 1(1), 228.
- Knapik, J., Steelman, R., Hoedebecke, S., Austin, K., Farina, E., y Lieberman, H. (2016). Prevalence of Dietary Supplement use by athletes: Systematic Review and meta-analysis. *Sport medicine*, 46(1), 103-123. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0387-7>
- Madariaga, F. (2013). *Lean Manufacturing: exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos*. Bubok Publishing S.L.
- Made in China (28 de Junio del 2023) *Cilindro metálico*. [https://es.made-in-china.com/tag\\_search\\_product/Steel-Drum\\_eeghun\\_1.html](https://es.made-in-china.com/tag_search_product/Steel-Drum_eeghun_1.html)
- Mafart, P. (2014). *Procesos Físicos de conservación*. Volumen I. Ingeniería Industrial Alimentaria. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Magret, R. (2002) *Evaluación y selección de empaques para productos alimenticios aromáticos*. [Trabajo Monográfico, Universidad Nacional Agraria la Molina].

Repositorio

Institucional

UNALM.<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3057/Q80-M5-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez, A. (2015). Efectos de la dieta y práctica de deportes aeróbicos o anaeróbicos sobre los trastornos del comportamiento alimentario. *Nutrición Hospitalaria*, 31 (3), 1240-1245. Grupo Aula Medicad de Madrid, España.

Martínez, J., Mata, F., Sala, M., Puya, J., Segura, A., Sánchez, A., y Cortell, J. (2020). Fraude en suplementos nutricionales para deportistas: Narración narrativa. *Nutrición Hospitalaria*, 38(4), 839-847.<http://dx.doi.org/10.20960/nh.03413>

Martínez, J., Sospedra, I., Ortiz, C., Baladia, E., Gil, A., y Ortiz, R. (2017). Intended or Unintended doping? A review of the presence of doping substances in dietary supplements used in sports. *Nutrients*, 9(10), 1093.<https://doi.org/10.3390/nu9101093>

Maughan, R., Burke, L., Dvorak, J., Larson, D., Peeling, P., Phillips, S., Rawson, E., Walsh, N., Garthe, I., Geyer, H., Meeusen, R., Van Loon, L., Shirreffs, S., Spriet, L., Stuart, M., Verne, A., Currell, K., Ali, V., Budgett, R., y Engebretsen, L. (2018). IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *British Journal of Sports Medicine*, Vol.52 (7), pp. 439–455. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2018-099027>

McCabe, W., Smith, J. y Harriott, P. (2005). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (7.a ed.). McGraw-Hill.

Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (2020) *Comisión de libre comercio del protocolo adicional al acuerdo marco Alianza del Pacífico*. [https://www.mincetur.gob.pe/reglamentostecnicos/inventario\\_reglamentos\\_tecnicos/pdf/Decision\\_9Suplementos\\_Alimenticios.pdf](https://www.mincetur.gob.pe/reglamentostecnicos/inventario_reglamentos_tecnicos/pdf/Decision_9Suplementos_Alimenticios.pdf)

Molina, C., Cifuentes, G., Martínez, C., Mancilla, R. y Díaz, E. (2016). Disminución de la grasa corporal mediante ejercicio físico intermitente de alta intensidad y consejería nutricional en sujetos con sobre peso u obesidad. *Revista Médica de Chile*, 1(144), 1254-1259.

Moreno, E. (2008) *Validación del proceso de mezclado en la fabricación de un alimento enriquecido con vitaminas y minerales* [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes].

Repositorio Institucional UNIANDES.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstreams/a34811d7-c589-41d4-baa1-e73beea8345c/download>

Mori (2017) *Agua y actividad de agua*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín]

Repositorio Institucional UNSA.

<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/5bd5ce9b-178b-4bca-8f81-fa8f940f08fe/content>

MK Packaging Machines (26 de junio del 2023) *Envasadora vertical*. <http://mkpackagingmachines.com/2-5-vertical-form-fill-seal-machine-mk-60kz.html>

National Institutes of Health (2020). *Dietary Supplements for Exercise and Athletic Performance*.

Neira, A. (2021) *Análisis Bromatológico de la Harina de Soya*. [Tesis de pregrado, Universidad

Técnica de Machala]. Repositorio Institucional UTMACH.

[http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16978/1/E12172\\_NEIRA%20QUEZADA%20ANGIE%20MISHEL.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16978/1/E12172_NEIRA%20QUEZADA%20ANGIE%20MISHEL.pdf)

Nielsen, Lambert y Jeppesen (2020) The effect of ingesting carbohydrate and proteins on athletic performance: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients*. Vol. (12). DOI: 10.3390/nu12051483

- Nieves, G., Pedro, Manonelles, P., Blasco, R., Contreras, C., Franco, L., Gaztañaga, T., Manuz, B., Teresa, C., Valle, M., García, A. y Villegas, J. (2019) Suplementos nutricionales para el deportista. Ayudas ergogénicas en el deporte – 2019. *Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte*. Vol. (36), pp. 22-25. <https://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/Doc-consenso-ayudas-2019.pdf>
- Labuza, T. (1968) Sorption phenomena in foods. *Food Rechnology*, 1(1),15-23.
- Labferrer (2023) *Higrómetro Aqualab*. <https://www.lab-ferrer.com/medidor-de-actividad-de-agua-aqualab-4te/>
- López, M., Marta, M., y Garces, M. (2022). Protein and sport: Alternative sources and strategies for bioactive and sustainable sports nutrition. *Frontiers in Nutrition*, 9(1), 926043. <https://doi.org/10.3389%2Ffnut.2022.926043>
- López, R. (2004). *Caracterización de Medios Porosos y Procesos Percolativos y de Transporte*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de San Luis]. Repositorio Institucional UNSL. [http://linux0.unsl.edu.ar/~rlopez/cap1\\_2.pdf](http://linux0.unsl.edu.ar/~rlopez/cap1_2.pdf)
- Orduz, A., Nitola, O., Ramírez, G. y Cely, N. (2018). Aprovechamiento de la proteína k-caseína presente en la leche bovina para la elaboración de una biopelícula plástica comestible. *XIII Encuentro Facultad de Ciencias UPTC – I Encuentro Internacional*
- Peake, J. (2019). Recovery after exercise: what is the current state of play? *Current Opinion in Physiology*. Vol. (10), pp. 17–26. <https://doi.org/10.1016/J.COPHYS.2019.03.007>
- Potgieter, S. (2013). Sport Nutrition: A review of the latest guidelines for Exercise and sport nutrition from the American College of Sport Nutrition, the International Olympic Committee and the International Society for Sports Nutrition. *South African Journal of Clinical Nutrition*, 26(1), 6-16. <https://doi.org/10.1080/16070658.2013.11734434>

- Quispe, A., Pinto, D., Huaman, M., Bueno, G. y Valle, A. (2020) Metodologías cuantitativas: cálculo del tamaño de muestra con Stata y R. *Rev. Cuerpo Med. HNAAA*, 13 (1), 78-83.  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2227-47312020000100012](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-47312020000100012)
- Ramirez (2022) *Efecto de la Suplementación Nutricional de aminoácidos de cadena ramificada en atletas de resistencia y fuerza de edad adulta: Una Revisión De Literatura*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional PUJ.<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/60237/RAMIREZ%20GONGORA,%20NIKOL%20PAMELA.pdf?sequence=2>
- Ramos, Y. y Sánchez, P. (2015). *Análisis de la suplementación con proteínas en el deporte: Uso y efectos de la creatina y el suero de leche*. [Tesis de pregrado, Universidad de León]. Repositorio Institucional ULE.  
<https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/4214/RODR%3%8DGUEZ%20RAMOS.pdf?sequence=>
- Rendón, M., Villasís, M. y Miranda, M. (2016) Estadística Descriptiva. *Rev. Alergia México*, 63(4), 397-407.
- Revista Médica del Instituto mexicano del seguro social (2006) Consumo de suplementos Nutricionales en personas que se ejercitan en gimnasios del norte de México. *RMIM*, 58(6), 650-656. [http://revistamedica.imss.gob.mx/editorial/index.php/revista\\_medica/article/download/3466/4242](http://revistamedica.imss.gob.mx/editorial/index.php/revista_medica/article/download/3466/4242)
- Rodríguez, F. Aguado, J., Calles, J., Cañizares, P., López, B., Santos, A. y Serrano, D. (2002) *Ingeniería de la Industria Alimentaria*. (1ª ed., Vol.3). Editorial Síntesis.
- Rodríguez, F. (2014). *Ingeniería de la industria alimentaria*. Volumen II. Operaciones de Procesado de alimentos. Editorial Síntesis. Madrid, España.

- Ruszkowska, M. (2010) Higroskopijność mlek modyfikowanych dla niemowląt. *Methody inzynier skie w zarzadzaniu* .Ed. P. Palich, WTN, Gdynia. 31 (2), 263-273.  
[https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPP2-0008-0013/c/InzApChem\\_2011\\_2\\_34-35.pdf](https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPP2-0008-0013/c/InzApChem_2011_2_34-35.pdf)
- Ruszkowska, M. y Palich, P. (2016). Características de las propiedades de sorción de productos alimenticios en polvo seleccionados. *Rev. Polaca de Ciencias Naturales*, 31(2), 263-273.
- Ryan, G., O'Regan, J. y FitzGerald, R. (2022) Comportamiento de rehidratación y sorción de agua del aislado de proteína de leche bovina y sus hidrolizados enzimáticos asociados. *Revista láctea internacional*, 128 (2022), 7-8.  
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105323>
- Sapailla, R. (2020) *Estimación de las isoterms de adsorción y caracterización de la sangre de pollo (Gallus domesticus) deshidratada*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional UNMSM.[https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15791/Sapailla\\_ar.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15791/Sapailla_ar.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Saza, J. y Jiménez, J. (2020) Determinación de condiciones ambientales para la conservación de granos de cacao (*Theobroma cacao L*) deshidratado durante el almacenamiento. *Rev. Sist Prod Agroecol*, 11(1), 2-33.
- Société générale de surveillance (2009) *Guía de Envase y Embalajes*.  
[https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio\\_exterior/Sites/ueperu/consultora/docs\\_taller/taleres\\_2/42.pdf](https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/Sites/ueperu/consultora/docs_taller/taleres_2/42.pdf)

- Talens, P. (2017) *Determinación de la isoterma de sorción de agua un alimento*. [Trabajo académico, Universidad Politécnica de Valencia] <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83506/Talens%20-%20Determinaci%C3%B3n%20de%20la%20isoterma%20de%20sorci%C3%B3n%20de%20agua%20un%20alimento.pdf?sequence=1>
- Think Usa Dairy (2017) *Leche entera deshidratada y leche entera en polvo*. <https://www.thinkusadairy.org/es/inicio/productos-lacteos-estadounidenses/leches-en-polvo/categorias-de-leche-en-polvo/leche-entera-deshidratada-y-leche-entera-en-polvo>
- Torres, J. (1990) "*Conceptos Modernos de Preservación De Alimentos en el mercado norteamericano*". U.N.A. VIDAL
- Vega, A., Lara, E. y Lemus, R. (2006). Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.) *Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas*, 26(4), 821-827. <https://www.redalyc.org/pdf/3959/395940080017.pdf>
- Viades, J. (19-22 octubre de 2007). *Adsorción de agua en alimentos, Isoterma de adsorción de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB)*. [Seminario]. Seminario de Investigación: Fenómenos de Superficie, Postgrado en Ciencias Químicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México (CDMX), México.
- Viades, J. (2019) *Fenómenos de superficie. Adsorción*. <http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Unidad3.Adsorcion23226.pdf>
- Vilella, J. A. (2021) *Consumo de suplementos e ingesta nutricional en deportistas de resistencia*. [Trabajo académico, Universitat de les illes Balears]. Repositorio Institucional UIB. [https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/158177/Vilella\\_Mart%C3%ADnez\\_Pi%C3%B1ero\\_Jos%C3%A9\\_Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/158177/Vilella_Mart%C3%ADnez_Pi%C3%B1ero_Jos%C3%A9_Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Vilca, Y. (2019) *Tratamiento térmico*. [Trabajo académico, Universidad Nacional de Juliaca].

<https://es.scribd.com/document/438869284/Modelamiento-BET-en-alimentos>

Vitale, K. y Getzin, A. (2019) Nutrition and supplement update for the endurance athlete:

Review and recommendations. *Nutrients*. 11(1), 1-3. DOI: 10.3390/nu11061289

Wyser, Y. y Lanctuit, H. (2015) *Shelf life prediction barrier technologies*. NESTLÉ.

# **IX. ANEXOS**

## ANEXO A

## EQUIPO MEDIDOR DE ACTIVIDAD DE AGUA

**How it Works**

Put a 7.5 ml product sample in a disposable cup, seal the chamber lid over the sample, and wait for vapor equilibrium. An infrared beam focused on a tiny mirror determines the precise dewpoint temperature of the sample. That dewpoint temperature is then translated into water activity.

**Easy to Clean**

The chamber lid lifts up allowing easy access to clean sensors.

**Secure Data**

The 4TE stores up to 8,000 secure data points including time and date for up to 25 unique users with every measurement and calibration.

**Easy to Use**

AquaLab 4TE makes water activity measurements quick, accurate, and simple. Using AquaLab, anyone, from a researcher in the lab to an operator at the line, can measure water activity in 5 minutes or less to 0.003  $a_w$  specifications.

**AQUALAB 4TE SPECIFICATIONS**

**Sensor Type:** Chilled-mirror dewpoint, Infrared temperature

**Accuracy:**  $\pm 0.003 a_w$

**Repeatability:**  $\pm 0.001 a_w$

**Resolution:**  $\pm 0.0001 a_w$

**Range:** 0.030 to 1.000  $a_w$

**Measurement Time:** Less than 5 min (most samples)

**Operating Environment:** 5 to 50°C (39.2 to 122°F) 20 to 80% Relative Humidity (non-condensing)

**Temperature Control:** 15 to 50°C ( $\pm 0.2^\circ\text{C}$ )

**Universal Power:** 110 V to 220 V AC, 50/60 Hz Less than 0.4 amps

**Data Interface:** USB

**Warranty:** Three years, factory parts & labor

**Test Result Memory:** 8,000 readings (each reading includes water activity, temperature, time, date, operator, and sensor used)

**Program Identification:** Alphanumeric; Programmable to display product name, lot, or product ID number

**Certifications:** CE; AOAC Approved Method for Measurement of Water Activity

**AQUALAB 4TEV SPECIFICATIONS**

**Samples Containing Volatiles:** All the features of the Series 4TE plus a volatiles sensor for measuring samples containing propylene glycol, ethanol and other volatiles.

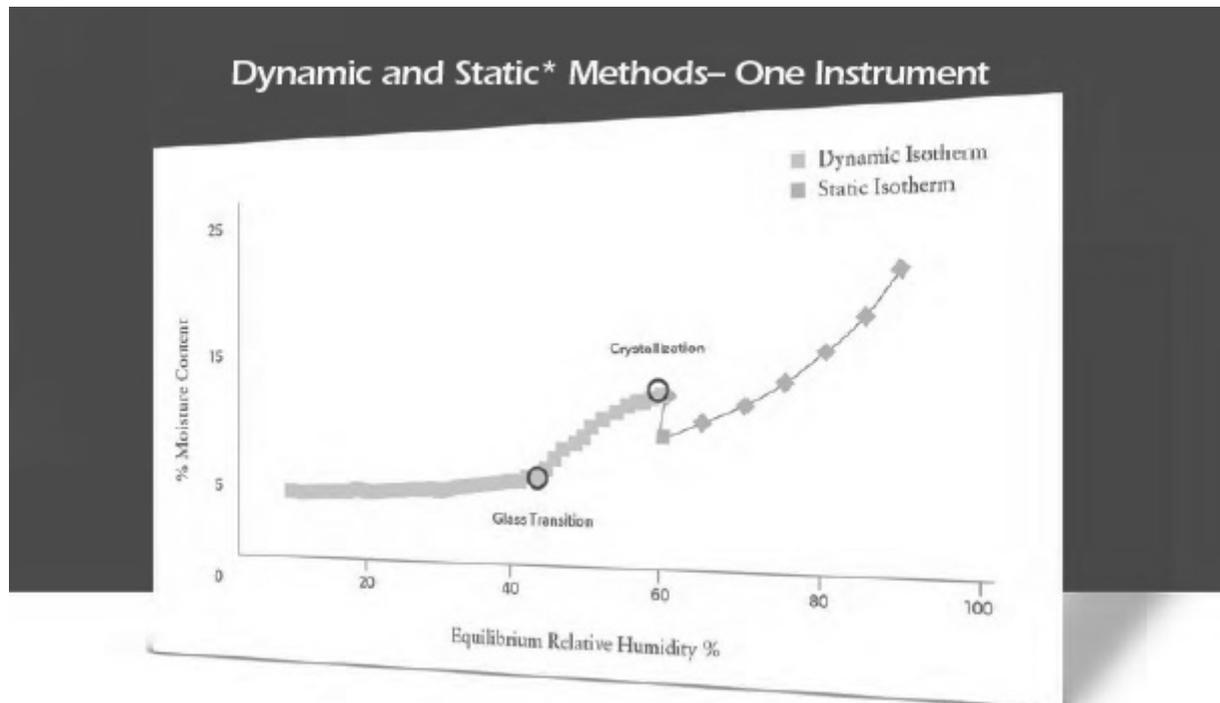
**Easy Switching:** The AquaLab 4TEV comes with both a volatiles capacitance sensor and the standard Series 4 dewpoint sensor. You can switch between sensors using the 4TEV instrument menu.

**Volatiles Sensor Accuracy:**  $\pm 0.015 a_w$

**Dewpoint:**  $\pm 0.003 a_w$

## ANEXO B

## GRAFICOS DEL EQUIPO DE ACTIVIDAD DE AGUA



### DVS Isotherm Generation

The AquaLab VSA also offers traditional DVS isotherm generation. DVS analyzers step humidity to a specified level and hold the sample at that humidity until it comes to vapor equilibrium. In DVS mode, the VSA produces isotherms equivalent to those produced by any existing vapor sorption analyzer.

#### Use DVS to explore:

- Kinetics of sorption
- Moisture diffusion coefficients
- Product surface area and pore size
- Packaging requirements
- In package desiccant requirements
- Maximum moisture sorption
- Moisture Migration
- Crystallization

#### AQUALAB VSA SPECIFICATIONS

**Repeatability:**  $\pm 0.003 a_w$   
**Range:** 0.030 to 0.950  $a_w$   
**Isotherm Methods:** Dynamic Dew point Isotherm (DDI) and Static (DVS)  
**External Gas:** Not needed, if external gas, no more than 7 PSI  
**Data Interface:** USB  
**Mass Resolution:**  $\pm 0.1$  mg  
**Water Activity:** Accuracy  $\pm 0.005 a_w$   
**Water Reservoir:** 20 ml  
**Sample Cup Volume:** 10 cc  
**Sample Weight:** 500 to 5,000 mg  
**Power:** 110V to 220V AC, 50/60 Hz  
**Weight:** 28 lbs  
**Temperature:** 15 to 60°C  
**Temp Stability:**  $\pm 0.1$  °C  
**Dimensions:** 10 x 15 x 12 in (25.4 cm x 38.1 cm x 30.5 cm)