

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**



ANÁLISIS DE ACTIVIDAD DE AGUA EN ALIMENTOS

FABIAN ANDRES BARRIOS RIOS

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
TÉCNICO UNIVERSITARIO EN CONTROL DE ALIMENTOS

PROFESOR GUÍA: SR. MIGUEL ZAZOPOLUS G

DICIEMBRE 2019

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**



ANÁLISIS DE ACTIVIDAD DE AGUA EN ALIMENTOS

FABIAN ANDRES BARRIOS RIOS

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR A TÍTULO DE
TÉCNICO UNIVERSITARIO EN CONTROL DE ALIMENTOS

PROFESOR GUÍA: SR. MIGUEL ZAZOPOLUS G

“MATERIAL DE REFERENCIA SU USO NO INVOLUCRA RESPONSABILIDAD DEL
AUTOR O LA INSTITUCIÓN”

DICIEMBRE 2019

RESUMEN

Los alimentos contienen agua en su composición, ya sea en mayor o menor cantidad dependiendo del tipo de alimento y a su proceso de elaboración, lo que influye directamente en la vida útil del alimento. En el presente trabajo se realizaron análisis a cuatro matrices de alimentos, tomando cada día la cantidad suficiente de alimento para llenar hasta el tope indicado en la taza de muestra, que luego es colocada en el interior de la sonda, permitiendo determinar los niveles de actividad de agua presentes en la muestra, con el objetivo de cuantificar el valor que corresponde a la porción de agua libre inicialmente y las variaciones que sufre durante la vida útil dada a dicho alimento, que se mantiene bajo medidas adecuadas de conservación. Refrigeración para la carne, mantequilla y cecinas, y el choclo conservado bajo temperatura de congelación. De las cuatro matrices, las tres de origen animal (carne, mantequilla y cecinas), se obtuvieron resultados iniciales similares al igual que las variaciones que sufrieron durante el periodo de análisis, dando un promedio para la carne de 0,876 A_w ; promedio de la mantequilla de 0,841 A_w ; y finalmente el promedio de las cecinas de pollo de 0,776 A_w . La matriz de origen vegetal que corresponde al choclo congelado, el cual se han reducido sus niveles de agua debido a su método de conservación, arrojó un promedio de 0,289 A_w . Estos resultados permiten concluir, que los cuatro alimentos presentan cierto nivel de A_w en su composición inicial, y que este valor va variando dependiendo del tipo de alimento, siendo los alimentos de origen animal y de conservación bajo temperaturas de refrigeración los que presentan mayores niveles de A_w , mientras que el de origen vegetal y conservado bajo temperaturas de congelación presenta menor cantidad de A_w , por lo que es un alimento menos susceptible a perecer a diferencia de los alimentos con mayor nivel de A_w , aun así, ambos métodos (refrigeración y congelación) son útiles evitando de forma eficaz que el agua libre provoque reacciones químicas, enzimáticas o permita la acción microbiana sobre el alimento, reacciones que requieren de mayor temperatura para afectar al alimento rápidamente, lo que se aprecia durante los leves cambios durante el transcurso del tiempo y el cambio observado al momento de la descomposición.

ABSTRACT

Food contains water in its composition, either in greater or lesser quantity depending on the type of food and its elaboration process, which directly influences the shelf life of the food. In the present work, analyzes were carried out on four food matrices, taking each day a sufficient quantity of food to fill to the top indicated in the sample cup, which is then placed inside the probe, allowing the determination of activity levels. of water present in the sample, in order to quantify the value that corresponds to the portion of free water initially and the variations that it undergoes during the useful life given to said food, which is maintained under adequate conservation measures. Refrigeration for meat, butter and cured meats. The corn is kept under freezing temperature. Similar initial results were obtained from the four matrices, the three of animal origin (meat, butter and jerky), as well as the variations they suffered during the analysis period, giving an average for meat of 0.876 Aw; the butter average of 0.841 Aw; and finally the average of chicken jerky of 0.776 Aw. The matrix of plant origin that corresponds to frozen corn, which has reduced its water levels due to its conservation method, gave an average of 0.289 Aw. These results allow us to conclude that the four foods present a certain level of Aw in their initial composition, and that this value varies depending on the type of food, with foods of animal origin and those stored under refrigeration temperatures having the highest levels of Aw, while that of plant origin and preserved under freezing temperatures has a lower amount of Aw, making it a food less susceptible to perishing unlike foods with a higher level of Aw, even so, both methods (refrigeration and freezing) are useful in effectively preventing free water from causing chemical, enzymatic reactions or allowing microbial action on the food, reactions that require a higher temperature to affect the food quickly, which can be seen during slight changes over time and the change observed at the time of decomposition.

GLOSARIO

Aw	= Actividad de agua.
Agua Libre	= Agua disponible en el alimento o actividad de agua.
HR	= Humedad relativa ambiente
HRE	= Humedad relativa ambiente en equilibrio
T°	= Temperatura.
(p)	= Presión de vapor del agua del alimento.
(po)	= Presión de vapor del agua pura.
°C	= Medición de temperatura en grados Celsius.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
GLOSARIO	iii
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1: Antecedentes generales y fundamentos teóricos	2
1.1: Actividad de agua, humedad relativa y humedad relativa en equilibrio	3
1.2: Concepto de Aw	3
1.2.1 Porción de agua congelable en un alimento	3
1.3: Capacidad de retención de agua en los alimentos	8
1.3.1 Aw en las zonas del alimento	8
1.4: Humedad Relativa (HR)	3
1.5: Isotermas de adsorción y desorción	10
1.5: Sonda ROTRONIC HYGROPALM-23-AW	11
1.5.1: Descripción	11
1.5.2: Procedimiento de medición	12
1.6: Metodología de trabajo y análisis	13
1.6.1 Materiales, equipos y soluciones	14
1.6.2 Procedimiento de toma de muestra y análisis	15
Capítulo 2: Análisis de alimentos	16
2.1: Análisis de carne	18
2.2: Análisis de mantequilla	23
2.3: Análisis de cecinas (pollo)	30
2.4: Análisis de choclo congelado	36
DISCUSIONES	42
CONCLUSIONES	46

ANEXO	47
Refrigeración y congelación.	47
Microorganismos y actividad de agua	48
Acción de la humedad relativa ambiente sobre los alimentos	51
Promedio	52
Desviación estándar	52
Coefficiente de variación	52
Bibliografía	54

INDICE DE FIGURAS

[Figura 1.1: Zonas hipotéticas donde se encuentra contenida el agua en los alimentos]	9
[Figura 1.2: Humedad en equilibrio = actividad de agua] [Folleto actividad de agua. <www.rotronic.com>]	5
[Figura 1.3: Isotermas de adsorción y desorción. Química de alimentos. 4ta edición. Capítulo 1: El agua]	11
[Figura 1.4: Sonda Hygropalm-23-Aw, utilizada en las mediciones]	12
[Figura 1.5: Partes que conforman la sonda Hygropalm-23-Aw]	13

INDICE DE FORMULAS

[Formula (1.1). Expresión matemática de Aw, empleando la ley de Raoult, 1887]	3
--	---

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1: Variación de Aw en carne	22
Gráfico 1.2: Variación de Aw en mantequilla	29
Gráfico 1.3: Variación de Aw en cecinas de pollo	34
Gráfico 1.4: Variación de Aw en choclo congelado.....	41
Gráfico 1.5: Variación de Aw en las 4 matrices.	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Porción de agua no congelable y contenido de sólidos	4
Tabla 2.1: Resumen de mediciones de actividad de agua en diversas matrices	17
Tabla 2.2: Análisis inicial de carne	19
Tabla 2.3: Segundo análisis 2 de carne	19
Tabla 2.4: Tercer análisis 3 de carne.....	20
Tabla 2.5: Cuarto análisis de carne	20
Tabla 2.6: Quinto análisis de carne	21
Tabla 2.7: Sexto análisis de carne.....	21
Tabla 2.8: Análisis inicial de mantequilla	24
Tabla 2.9: Segundo análisis de mantequilla.....	24
Tabla 2.10: Tercer análisis de mantequilla.....	25
Tabla 2.11: Cuarto análisis de mantequilla	25
Tabla 2.12: Quinto análisis de mantequilla	25
Tabla 2.13: Sexto análisis de mantequilla.....	26
Tabla 2.14: Séptimo análisis de mantequilla	26
Tabla 2.15: Octavo análisis de mantequilla	26
Tabla 2.16: Noveno análisis de mantequilla	27
Tabla 2.17: Décimo análisis de mantequilla	27
Tabla 2.18: Décimo primer análisis de mantequilla	28

Tabla 2.19: Análisis inicial de cecinas	31
Tabla 2.20: Segundo análisis de cecinas	31
Tabla 2.21: Tercer análisis de cecinas	32
Tabla 2.22: Cuarto análisis de cecinas	32
Tabla 2.23: Quinto análisis de cecinas	32
Tabla 2.24: Sexto análisis de cecinas	33
Tabla 2.25: Séptimo análisis de cecinas	33
Tabla 2.26: Primer análisis de choclo	37
Tabla 2.27: Segundo análisis de choclo	37
Tabla 2.28: Tercer análisis de choclo	37
Tabla 2.29: Cuarto análisis de choclo	38
Tabla 2.30: Quinto análisis de choclo	38
Tabla 2.31: Sexto análisis de choclo	38
Tabla 2.32: Séptimo análisis de choclo	39
Tabla 2.33: Octavo análisis de choclo	39
Tabla 2.34: noveno análisis de choclo	39
Tabla 2.35: Décimo análisis de choclo	40
Tabla 2.36: Un décimo análisis de choclo	40
Tabla A: Requerimientos de actividad de agua en Bacterias	48
Tabla B: Requerimientos de actividad de agua en hongos y levaduras	49
Tabla C: Actividad de agua en tipos de alimentos frescos	49

INTRODUCCIÓN

Los alimentos en general, tienen agua en su composición, sin embargo este término hace referencia al contenido total de agua en el alimento. En los tejidos animales y vegetales el agua no está distribuida de manera uniforme, quedando una porción del agua en estado móvil o libre, la que se conoce como actividad de agua (A_w) e influye directamente en los cambios que sufre el alimento durante su vida útil, la que va variando dependiendo del tipo de alimento, procesamiento, y el método usado para su conservación, y se puede encontrar en menor o mayor cantidad siendo los alimentos con mayor cantidad de agua libre los más susceptibles a una descomposición rápida o un rápido desarrollo microbiano (alimentos inestables).

El objetivo de este trabajo es determinar de manera cuantitativa la A_w presente inicialmente en cada alimento analizado, y las variaciones que sufre la A_w en el alimento a lo largo de la vida útil dada a dicho alimento, conservado bajo medidas adecuadas de refrigeración y congelación (dadas por los fabricantes), utilizando una herramienta específica para medir valores de A_w con un análisis preciso de una muestra de alimento. Dichos análisis se realizaron con una sonda especial, que permite determinar los niveles de actividad de agua en una muestra de alimento, a través de un cálculo matemático que realiza la sonda durante el equilibrio entre el agua libre que dispone el alimento y la humedad relativa del ambiente a una misma temperatura, bajo una medición estándar de 45 a 60 minutos de duración y que permitirá obtener datos más exactos. Esta investigación se llevó a cabo dentro de las dependencias de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede José Miguel Carrera, laboratorio de química II, durante los meses de abril y mayo de 2015.

Capítulo 1: Antecedentes generales y fundamentos teóricos

1.1: Concepto de Aw

La definición de A_w , es la relación entre la presión de vapor de agua del alimento (p) y la presión de vapor de agua pura (p_o), ambos permaneciendo a una temperatura constante. Empleando la ley de RAOULT, la cual señala que “la disminución relativa de la presión de vapor de un líquido al disolverse en él un soluto, es igual a la fracción molar del solvente”, obteniéndose la siguiente expresión matemática:

$$A_w = P/P_o$$

[Formula (1.1). Expresión matemática de A_w , empleando la ley de Raoult, 1887]

La definición más simple de A_w se expresa como agua libre o agua disponible en un alimento, valor que no hace referencia al valor total del agua presente en el alimento. Corresponde a la porción de agua que reacciona durante el proceso de descomposición, cuyos valores van de 0.1 a 0.9 A_w (el agua pura es la única que posee valor 1 A_w), considerándose al alimento con actividad de agua más próxima a 1, más inestable y corresponden a alimentos perecibles, mientras que un alimento con actividad de agua próxima a 0, se considera un alimento menos perecedero y por tanto, más estable.

1.1.1 Porción de agua congelable en un alimento

Otra definición utilizada para diferenciar el agua libre del agua ligada, es la definición de agua congelable y no congelable, esto hace referencia a los distintos niveles energéticos del agua en el alimento, los que se reflejan en las diferencias de temperaturas requeridas para su congelación. Un alimento se congela a -20°C , pero a estas temperaturas una fracción del agua permanece líquida y requiere temperaturas de -40°C para su congelación, el agua que permanece líquida bajo los -20°C , corresponde al porcentaje de agua ligada, mientras que el contenido que se solidifica a una temperatura de -20°C , corresponde al porcentaje de agua libre.

Para entender mejor la relación de la temperatura de congelación y el agua ligada y agua libre se tiene la siguiente tabla del análisis de leche descremada y leche entera:

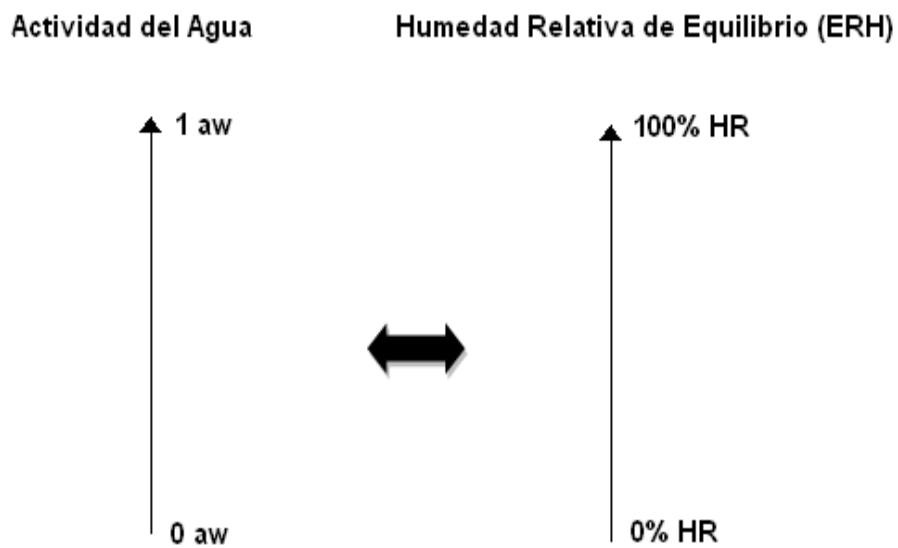
Tabla 1.1: Porción de agua no congelable y contenido de sólidos

T°	LECHE DESCREMADA		LECHE ENTERA	
	Agua no congelable (%)	Sólidos en solución (%)	Agua no congelable (%)	Sólidos en solución (%)
-24	4.0	72.0	12.0	74.5
-20	4.5	69.5	14.0	71.5
-16	5.0	67.1	15.5	69.4
-12	5.5	65.2	19.0	64.8
-8	7.5	57.8	26.0	57.5
-4	12.5	45.1	47.0	42.8
-2	25.0	29.0	80.0	30.5

Se puede observar en la Tabla 1.1, que en el caso de la leche descremada existe un 4% del agua que no congela a -24° C, por la presencia de una solución con un 72% de sólidos, mientras que la leche entera contiene un 12% de agua que no congela a -24° C, por la presencia de una solución con un 74.5% de sólidos. Es debido a esto que se considera agua ligada a la porción de agua que no se congela a -24° C y se encuentra ligada a distintos sólidos, mientras que la porción de agua libre es la que se congela a una temperatura mayor a -24° C.

1.2: Humedad Relativa (HR)

En el ambiente, siempre existe un porcentaje de humedad que se denomina humedad relativa del ambiente, la cual tiende a equilibrarse con el agua libre del alimento, cuando está expuesto al ambiente, debido a la fugacidad del agua que tiende a escapar del alimento o a la presión de vapor donde se absorbe parte de la humedad ambiente hacia el alimento. Este equilibrio se denomina humedad relativa en equilibrio (HRE), y equivale a la actividad de agua en porcentaje:



[Figura 1.2: Humedad en equilibrio = actividad de agua] [Folleto actividad de agua.
<www.rotronic.com>]

1.3: Actividad de agua, humedad relativa y humedad relativa en equilibrio

El contenido de agua de un alimento, hace referencia al agua total que lo compone, sin embargo en los tejidos animales y vegetales, el agua no está distribuida de manera uniforme, debido a complejos hidratados con proteínas, hidratos de carbono y estructuras internas propias de cada tejido que evitan que toda el agua reaccione quedando una parte de esta sin reaccionar. Esta situación heterogénea de distribución de agua también se presenta en productos procesados, ya que sus componentes se encuentran en diferentes formas de dispersión y dependiendo del alimento, pueden ser cantidades elevadas o más bajas de agua, que por ende provocará mayor o menor cantidad de agua libre presentes en el producto final. Mientras más agua contenga un alimento en su composición, más

percedero, mientras que un alimento con baja actividad de agua se considera un alimento menos percedero. Estas consideraciones han llevado al uso de términos de agua ligada o agua no disponible y agua libre o agua disponible. Son utilizados para hacer referencia al agua que es parte de la estructura de su composición y por lo tanto es un agua que no está disponible o en movimiento y que se encuentra en reacción con otros componentes del alimento, mientras que el agua libre hace referencia al agua que está en el alimento que se encuentra disponible sin reaccionar y que es la causal del crecimiento microbiano, reacciones químicas y bioquímicas, lo que provoca deterioro y descomposición del alimento en menor o mayor tiempo dependiendo de las condiciones en la que este es almacenado.

La A_w se relaciona de manera directa con la humedad relativa del ambiente, formando un equilibrio entre la humedad relativa y el agua libre. La velocidad del equilibrio dependen de que la temperatura sea constante, mientras más elevada es la temperatura, más rápido es el equilibrio y por ende más rápida es la descomposición del alimento y menor su vida útil.

Debido al equilibrio citado anteriormente, se puede utilizar una sonda que permite un espacio reducido entre la muestra y el ambiente, permitiendo que el aire atrapado en la sonda alcance rápidamente el equilibrio con la muestra de alimento y así determinar de manera precisa la cantidad de agua libre presente en la muestra, a una temperatura constante. Es importante a la hora de la medición, que la temperatura sea constante, de lo contrario se producirán resultados erróneos de la actividad de agua del alimento.

La porción de humedad ambiente que se equilibra con el agua libre del alimento se denomina humedad relativa en equilibrio y está determinada por la presión parcial de vapor de agua en la superficie del alimento.

ACTIVIDAD DE AGUA (AW) = HUMEDAD RELATIVA EN EQUILIBRIO (HRE).

[EXPRESION DEL EQUILIBRO ENTRE AGUA LIBRE Y HUMEDAD RELATIVA MABIENTE]

La investigación sobre actividad de agua, además de la adquisición de una sonda para realizar mediciones de actividad de agua por parte de la institución, permite realizar un análisis sobre la actividad de agua de algunos tipos de alimentos de consumo habitual para determinar y comprobar los siguientes objetivos:

- Determinar la actividad de agua del alimento (presencia de agua libre).
- Registrar los cambios de actividad de agua que sufre el alimento, a medida que pasa el tiempo y se mantiene bajo condiciones de conservación para determinar su vida útil.
- Relacionar los cambios organolépticos que se observan en el alimento con el pasar de los días con los cambios en la actividad de agua.
- Determinar a través de datos cuantitativos, la adsorción y desorción que sufre la actividad de agua del alimento, al equilibrarse con la humedad relativa del ambiente.
- Determinar si las medidas de conservación dadas para el alimento, son las adecuadas para mantener un control sobre la actividad de agua.

1.4: Capacidad de retención de agua en los alimentos

El agua no se encuentra distribuida de manera uniforme en los alimentos procesados, esto ocurre porque se forman complejos hidratados entre el agua que forma parte de la composición del alimento, formando complejos con hidratos de carbono, proteínas, estructuras internas, formación de micro-capilares y otras moléculas hidrófilas.

Dependiendo de la naturaleza, composición y procesamiento de los alimentos, la cantidad de retención de agua es mayor o menor. Durante el procesamiento, los alimentos se lavan y se someten a otros procesos en medio acuosos, lo que provoca un exceso de agua, cuyas moléculas se fijan en la capa más externa del alimento y de los complejos hidratados ya formados de la retención natural de los alimentos.

El agua que reacciona en estos complejos corresponde al agua retenida o ligada, mientras que el exceso corresponde a agua libre, que sufre variaciones debido a la descomposición natural de los alimentos.

El agua libre no se forma únicamente del exceso que se adquiere durante algunos procesos de producción o del agua que ya no es capaz de retener el alimento, hay parte del agua que reacciona con moléculas lipídicas hidrofóbicas, las cuales no permiten su presencia dejando el agua en la capa más externa del alimento.

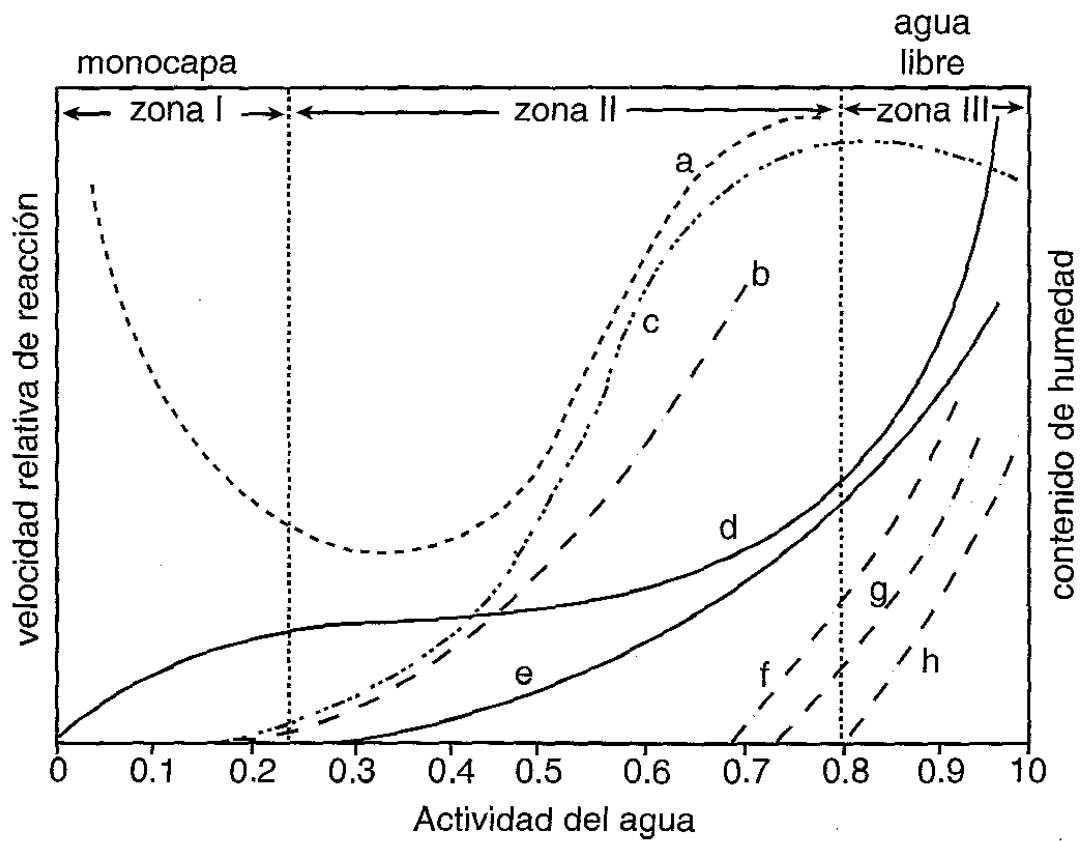
1.4.1 Aw en las zonas del alimento

Según la figura 1, se pueden observar 3 zonas hipotéticamente hablando y con datos muy generales, donde se encuentra agua en el alimento según su capacidad de retención y los valores de AW para cada zona:¹

La zona III se considera la capa más externa del alimento, y es donde se encuentra la denominada agua “libre” ya que es la más fácil de congelar y evaporar, se encuentra en macro-capilares y forma parte de las soluciones que disuelven sustancias de bajo peso molecular y su eliminación reduce la actividad de agua a 0.8 AW.¹

La zona II corresponde al agua que se encuentra en diferentes capas más estructuradas y en microcapilares, es más difícil de remover, pero al removerla se pueden alcanzar niveles de actividad de agua de 0.25 AW. Parte de esta agua forma parte del agua “ligada”.¹

La zona I, corresponde a la porción de agua que forma parte de la capa mono-molecular y es la más difícil de eliminar, sobre todo en procesos comerciales de secado y su eliminación puede afectar las propiedades coligativas, reológicas y de textura en el alimento.¹



[Figura 1.1: Zonas hipotéticas donde se encuentra contenida el agua en los alimentos]

a) oxidación de lípidos; b) reacciones hidrolíticas; c) oscurecimiento no enzimático; d) isoterma de adsorción; e) actividad enzimática; f) crecimiento de hongos; g) crecimiento de levaduras; h) crecimiento de bacterias.¹

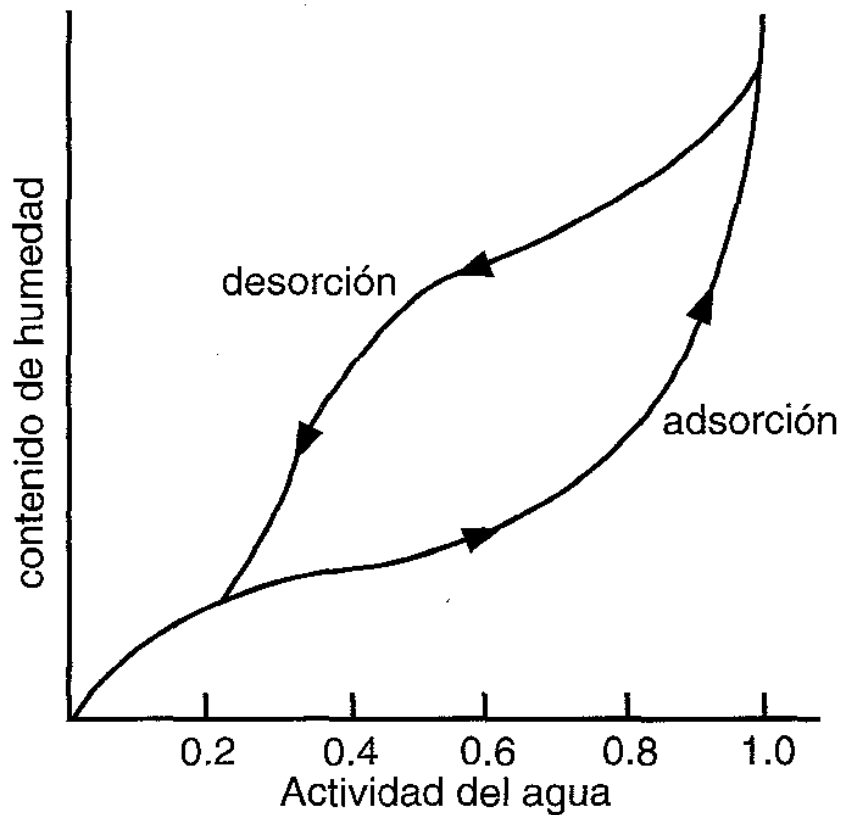
¹[Química de los alimentos, cuarta edición, Capítulo 1: El agua, 1.6 Distribución de agua en los alimentos]

1.5: Isotermas de adsorción y desorción

La A_w del alimento sufre variaciones cuando el alimento entra en contacto con la humedad relativa ambiente durante un tiempo prolongado. Bajo ciertas condiciones de temperatura y presión tiende a equilibrarse con la humedad relativa del ambiente, provocando en alimentos con A_w elevada, de textura húmeda y blanda, cuando entra en contacto con un ambiente con baja humedad, el agua libre del alimento se inclina hacia el ambiente, aumentando la humedad relativa y la actividad de agua del alimento disminuye provocando que el alimento se reseque. Cuando el alimento tiene una actividad de agua baja, de textura más sólida y seca, al exponerse a una humedad relativa ambiente elevada, provocará que el alimento absorba parte de esa humedad durante el equilibrio, haciendo que la actividad de agua se eleve.

Por consiguiente al tener un alimento con bajo nivel de A_w , bajo condiciones de temperatura y conservación, al pasar el tiempo y aplicando una atmosfera de humedad relativa elevada se observará la transferencia de masa del gas hacia el sólido, aplicando diferentes atmosferas se obtendrán varios valores de humedad relativa vs A_w . Al graficar los valores, se obtiene la isoterma de adsorción (Hidratación del solido). Cuando se parte de un alimento con alto nivel de A_w , y se aplican atmosferas de humedad relativa baja se observara una transferencia desde el agua del alimento hacia la atmosfera, hasta alcanzar una humedad relativa constante, al graficar estos valores, se obtiene la isoterma de desorción (deshidratación del solido).

Las isotermas de adsorción y desorción, permiten determinar la estabilidad de los alimentos expuestos a diferentes contenidos de humedad relativa, durante un tiempo determinado y a una temperatura constante. La Figura 1.2 representa las curvas típicas de adsorción y desorción:



[Figura 1.3: Isotermas de adsorción y desorción. Química de alimentos. 4ta edición. Capítulo 1: El agua]

1.5: Sonda ROTRONIC HYGROPALM-23-AW

1.5.1: Descripción

El “Rotronic Hygropalm-23-Aw”, es un instrumento portátil que permite la conexión hasta de dos sondas a la vez, donde no solo se obtienen registros de actividad de agua, sino también de humedad relativa de equilibrio y temperatura de medición. Es entregado en un maletín, en un set de piezas que corresponde a la sonda, indicador, sales de calibración, porta-muestra y tazas (2).



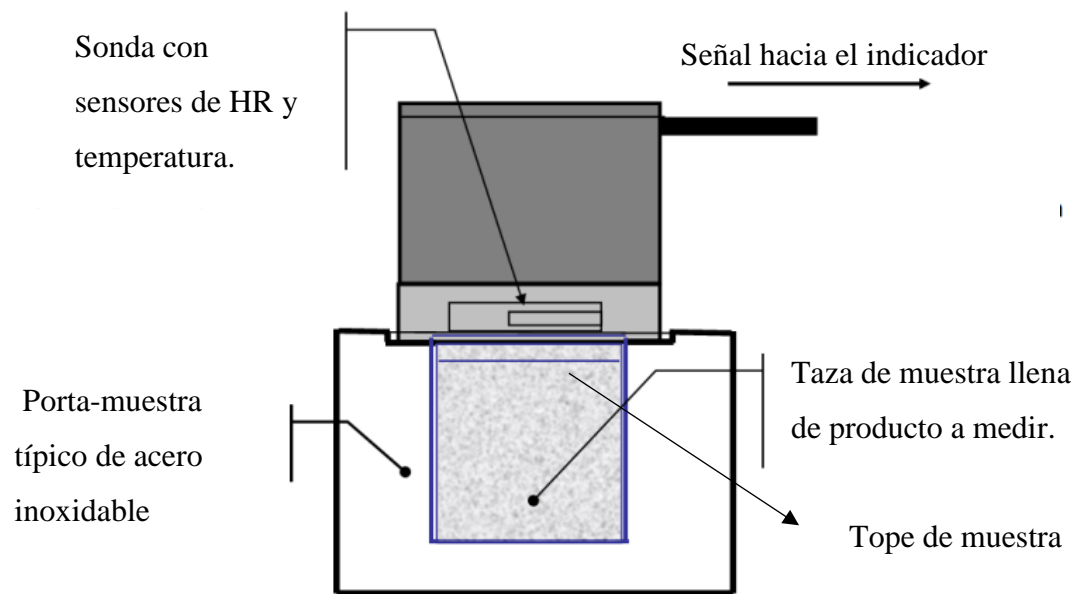
[Figura 1.4: Sonda Hygropalm-23-Aw, utilizada en las mediciones]

1.5.2: Procedimiento de medición

Para iniciar la medición de A_w , se debe conectar la sonda al instrumento o indicador antes de encenderlo; con el instrumento ya conectado a la sonda y encendido, se debe seleccionar las condiciones de medición, la que puede ser “QUICK” o “STANDAR”. Es recomendable realizar los análisis de manera estándar, ya que un tiempo más prolongado de medición arrojará resultados más exactos.

La ventaja de este instrumento se debe a que la medición se realiza en un espacio reducido al interior de la sonda, entre la muestra y la humedad relativa ambiente, a una temperatura constante obteniéndose resultados más precisos y rápidos.

La figura 2 muestra cómo está compuesta la sonda del instrumento de medición, donde se aprecia que la sonda y el porta-muestra forman un sellado hermético, espacio reducido entre la muestra y el ambiente, y los sensores que dispone la sonda.



[Figura 1.5: Partes que conforman la sonda Hygropalm-23-Aw]

1.6: Metodología de trabajo y análisis








Para realizar el análisis de una muestra de alimento, y continuar con ellos durante ciertos días, es necesario iniciar el análisis con un producto fresco, su fecha de elaboración debe ser lo más cercana posible a la fecha de inicio del análisis, lo que permitirá obtener resultados exactos de actividad de agua inicial que contiene el tipo de alimento analizado. Para realizar una buena lectura, se toma una porción pequeña del alimento la cual se coloca en la taza de muestra procurando cubrir las paredes de la taza sin dejar espacios vacíos entre la taza de muestra y el alimento, procurando usar guantes para evitar contaminar el alimento o la taza de muestra y provocar resultados erróneos. Posteriormente se coloca la taza de muestra en la sonda para su análisis.

1.6.1 Materiales, equipos y soluciones

- Sonda Rotronic HYGROPALM-23-Aw.
- Indicador Aw.
- Taza de muestra.
- Cuchillo.
- Piseta.
- Guantes.
- Papel de secar.
- Agua destilada.
- Detergente líquido.
- Refrigerador con congelador.
- Cotona.
- Esponja.
- Espátula.
- Carne de vacuno.
- Choclo congelado.
- Vienesas de pollo.
- Mantequilla.
- Material usual de laboratorio.

1.6.2 Procedimiento de toma de muestra y análisis

Para proceder a realizar el análisis de las cuatro muestras de alimentos, se deben preparar las muestras y el equipo de medición (sonda), según se describe en los siguientes pasos:

- Conectar la sonda al indicador de A_w
- Realizar limpieza y secado de la taza de muestra. (evita resultados erróneos por contaminación externa).
- Preparar la muestra de alimento y distribuirla uniformemente en la taza de muestra de manera inocua, usando guantes y procurando evitar la contaminación por agentes externos, dejando cubierta las paredes de la taza de muestra por completo.
- Encender la sonda 
- Seleccionar análisis de A_w   
- Análisis “STANDARD”   
- Cubrir la taza de muestra con muestra en su interior, con la sonda y dejar por 30 a 45 minutos aproximadamente, para obtener resultados más precisos.
- Registrar medición, y guardar sonda limpia en su maletín.

Este procedimiento debe realizarse cada vez que se va a realizar un análisis de alimento o se cambia de análisis de un alimento a otro. Se debe tener cuidado con la contaminación cruzada durante la conservación del alimento, la limpieza del instrumento y la toma de muestra para la medición.

Capítulo 2: Análisis de alimentos

Tabla 2.1: Resumen de mediciones de actividad de agua en diversas matrices

Alimento	Día (fecha de análisis)	Resultado	Promedio	Desviación estándar (s)	Coefficiente variación
CARNE	Día 1: 20/04/2015	0,966	0,876	0,090	10,3%
	Día 2: 21/04/2015	0,906			
	Día 3: 22/04/2015	0,880			
	Día 4: 27/04/2015	0,752			
	Día 5: 28/04/2015	0,865			
	Día 6: 29/04/2015	0,929			
MANTEQUILLA	Día 1: 21/04/2015	0,880	0,841	0,030	3,6%
	Día 2: 22/04/2015	0,901			
	Día 3: 23/04/2015	0,844			
	Día 4: 27/04/2015	0,842			
	Día 5: 28/04/2015	0,833			
	Día 6: 29/04/2015	0,828			
	Día 7: 30/04/2015	0,824			
	Día 8: 04/05/2015	0,811			
	Día 9: 05/05/2015	0,808			
	Día 10: 07/05/2015	0,776			
	Día 11: 11/05/2015	0,601			
CECINAS DE POLLO	Día 1: 21/04/2015	0,935	0,776	0,107	13,8%
	Día 2: 22/04/2015	0,847			
	Día 3: 23/04/2015	0,801			
	Día 4: 27/04/2015	0,726			
	Día 5: 28/04/2015	0,710			
	Día 6: 29/04/2015	0,637			
	Día 7: 11/05/2015	0,671			

Alimento	Día (fecha de análisis)	Resultado	Promedio	Desviación estándar (s)	Coefficiente variación
CHOCLO CONGELADO	Día 1: 21/04/2015	0,340	0,289	0,025	8,7%
	Día 2: 22/04/2015	0,324			
	Día 3: 23/04/2015	0,306			
	Día 4: 27/04/2015	0,293			
	Día 5: 28/04/2015	0,289			
	Día 6: 29/04/2015	0,285			
	Día 7: 30/04/2015	0,269			
	Día 8: 04/05/2015	0,265			
	Día 9: 05/05/2015	0,269			
	Día 10: 07/05/2015	0,272			
	Día 11: 11/05/2015	0,264			

2.1: Análisis de carne

El primer alimento analizado fue la carne de vacuno, considerada un alimento perecedero, con Aw elevada. La carne es de procedencia Paraguaya y corresponde a 0.226 Kg de bistec posta paleta, elaborada el 20 de abril de 2015 y con fecha de vencimiento 23 de abril de 2015.



El envasado del alimento está compuesto por una bandeja de plumavit de base para la carne, cubierta con papel aluza, sin ningún defecto o ruptura en su exterior. El rotulado del alimento, corresponde a un rótulo propio del supermercado, ya que la carne es

elaborada en el mismo supermercado. El rótulo describe la fecha de elaboración y vencimiento del alimento, cantidad neta, tipo de alimento, razón social y fecha de resolución sanitaria.

Tabla 2.2: Análisis inicial de carne

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,966	96,6 %	21,5 °C	(20-04-2015): Corresponde a carne de vacuno, color rojizo típico de la carne de vacuno con sus características propias de olor, sabor y características organolépticas, pudiendo notarse su estado de carne fresca en buen estado, perfecta para el análisis, que permitirá medir su variación de actividad de agua de acuerdo al paso de los días, permitiendo relacionar su vida útil con los cambios de A_w . Se mantiene en refrigeración (5°C), bien sellado para evitar su descomposición rápida. Su actividad de agua inicial lo cataloga como un alimento inestable propenso a una descomposición rápida.

Tabla 2.3: Segundo análisis 2 de carne

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,906	90,6 %	19,5 °C	(21-04-2015): La carne sufre cambios leves en sus características organolépticas en relación al observado anteriormente; se observa un color un poco más opaco, un olor que se presenta de una manera más intensa, además de una consistencia un poco menos blanda, por la pérdida de agua gradualmente, por lo que su actividad de agua baja lentamente, haciendo que el método de conservación sea eficiente.

Tabla 2.4: Tercer análisis 3 de carne

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,880	90,6 %	20,3 °C	(22-04-2015): La carne es sometida a su tercer análisis, a un día de su expiración (según la fecha indicada en su etiquetado) y la carne ya tiene una consistencia más dura, un olor más intenso y un color más oscuro que el rojizo del análisis anterior, ya que comienzan a aparecer rastro de color pardo y verdoso, que son signos de pardeamiento enzimáticos, reacciones de descomposición no enzimática, como la reacciones de oxidación y de hidrólisis.

Tabla 2.5: Cuarto análisis de carne

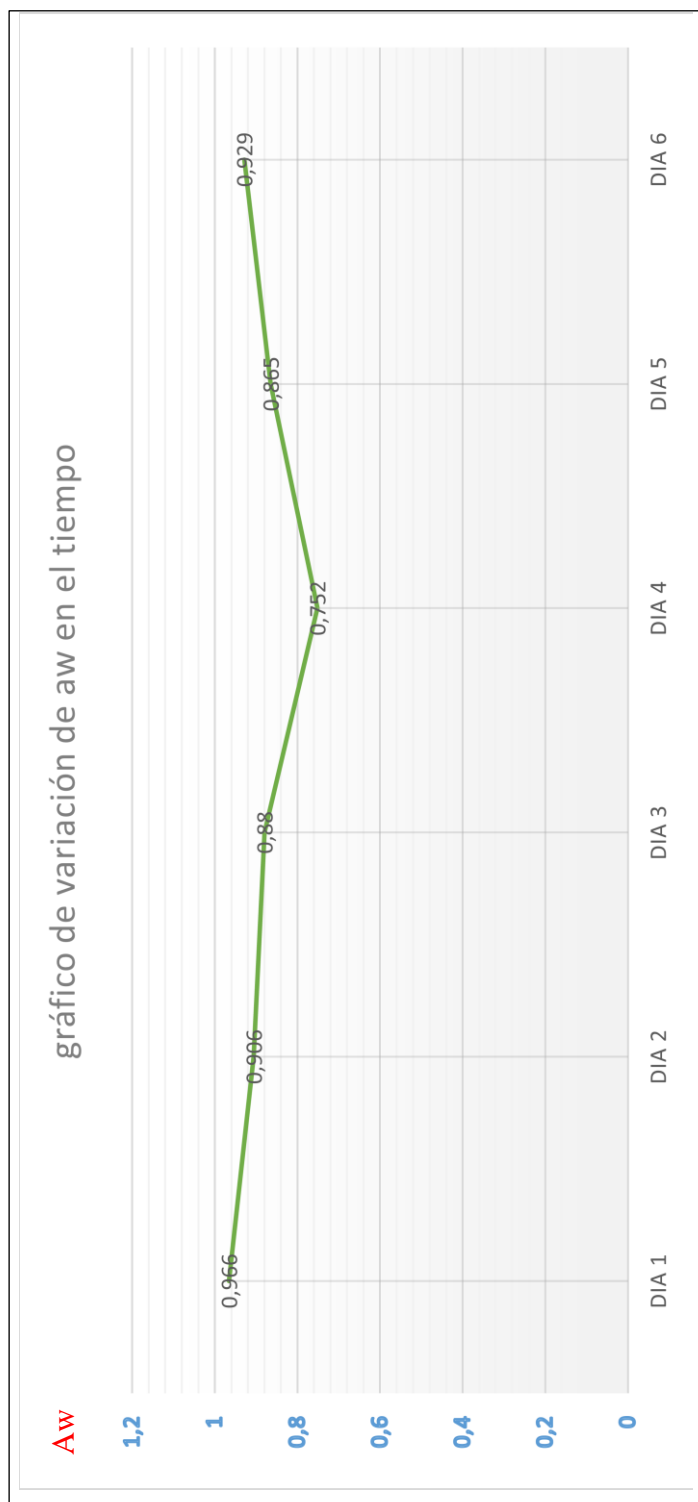
Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,752	75,2 %	19,1 °C	(27-04-2015): Se vuelve a analizar la carne cuatro días después del último análisis hecho, ya que la pérdida de agua es evidente de acuerdo al resultado de Aw, aun así, el alimento sigue su curso de descomposición de manera lenta, esto por su consistencia dura, su olor penetrante y desagradable, y con un color bastante oscuro, verdoso que puede significar presencia de microorganismos de manera estacionaria y el curso normal de las reacciones descritas en el último análisis.

Tabla 2.6: Quinto análisis de carne

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,865	86,5%	19,8 °C	El alimento ya se encuentra descompuesto, se sometió a análisis evidenciando un cambio repentino en la actividad de agua, aumentando debido al agua de la descongelación de hielo caído desde la parte superior del refrigerador (error de manipulación externa), mostrándose un alimento en mal estado, muy húmedo casi esponjoso con un olor pestilente que al abrir el refrigerador, genera un olor bastante desagradable.

Tabla 2.7: Sexto análisis de carne

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,929	92,9%	17,9 °C	El alimento ya se encuentra totalmente descompuesto, desprende un hedor difícil de soportar, ya que las demás personas presentes en el laboratorio, y que utilizan para mismos fines el refrigerador, pueden sentir el olor a descomposición; el alimento sigue elevando su actividad de agua, las reacciones de descomposición y la invasión de agua en la superficie debido al error ocurrido el día anterior, facilitan el aumento de agua disponible permitiendo el desarrollo de microorganismos



**Gráfico 1.1: Variación de Aw en
carne**

2.2: Análisis de mantequilla

Continuando con el análisis de los alimentos, se somete al análisis una muestra de mantequilla, que es alimento con A_w elevada debido a la gran cantidad de lípidos que componen este tipo de alimento de origen animal, fabricado por empresas COLUN, corresponde a una mantequilla pasteurizada, con sal y elaborada el 20 de agosto de 2015 con un contenido neto de 125g.



El envase del alimento, es un papel impermeable color amarillo y que evita la absorción de humedad del ambiente y el contacto directo de la luz sobre la mantequilla, para evitar reacciones oxidativas de las grasas y que el alimento alargue su vida útil. En el rótulo se observa la fecha de elaboración y vencimiento, tipo de alimento, aporte nutricional, adición de otras sustancias, número de lote, resolución sanitaria, método de conservación, etc. por lo que cumple con las normas de rotulación del R.S.A.

Tabla 2.8: Análisis inicial de mantequilla

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,880	88,0%	18,6 °C	(21-04-2015): La mantequilla a analizar, corresponde a una mantequilla obtenida y elaborada en base a crema de leche de vaca, teniendo una textura grasosa, color amarillo, sabor y olor característico de las mantequillas. Es una mantequilla recién abierta y lista para el análisis de actividad de agua en base al paso del tiempo, y así determinar su vida útil después desde que ha sido abierta y mantenida por refrigeración (5°C).

Tabla 2.9: Segundo análisis de mantequilla

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,901	90,1 %	19,5 °C	(22-04-2015): La mantequilla, lleva solo un día de abierta, y se ha mantenido con sus características organolépticas intactas, es decir, el mismo olor, color, sabor y textura. Se puede apreciar un pequeño incremento en la actividad de agua en la mantequilla, ya que el día de ayer, si sellado no fue óptimo, por lo que parte de la humedad ambiente fue absorbida por la mantequilla. Se debe tener precaución de no exponer mucho tiempo al aire ambiente el alimento.

Tabla 2.10: Tercer análisis de mantequilla

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,844	84,4 %	20,7 °C	(23-04-2015): La mantequilla, sigue manteniendo su color, textura y sabor, aunque su olor se hace un poco más intenso y más fácil de percibir. Cabe destacar que esta vez se conservó la cantidad analizada anteriormente y se conservó en el mismo paquete junto con el resto de la mantequilla para su análisis.

Tabla 2.11: Cuarto análisis de mantequilla

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,842	84,2 %	19,5 °C	(27-04-2015): La mantequilla no ha cambiado mucho desde su último análisis, ya que a simple vista se mantiene del mismo color inicial, aparte de su textura tal vez un poco más dura, por lo que se espera una disminución de su contenido de agua disponible, esto debido a la temperatura de refrigeración.

Tabla 2.12: Quinto análisis de mantequilla

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,833	83,3 %	19,6 °C	(28-04-2015): La mantequilla sigue sin cambios significativos, tal cual el día anterior reduciendo poco a poco su actividad de agua.

Tabla 2.13: Sexto análisis de mantequilla

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,828	82,8 %	20,7 °C	(29-04-2015): La mantequilla sigue manteniéndose, por lo menos en sus cualidades organolépticas intacta, y su actividad de agua se sigue reduciendo, pero tal como se espera sus cambios no son muy significativos en relación a tiempo y actividad de agua.

Tabla 2.14: Séptimo análisis de mantequilla

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,824	82,4 %	19,5 °C	(30-04-2015): La mantequilla continúa sin cambios significativos de ningún tipo, solo en cantidad, ya que cada vez comienza a quedar menos del alimento en cuestión.

Tabla 2.15: Octavo análisis de mantequilla

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,811	81,1 %	20,3 °C	(4-05-2015): Se realiza un análisis de la mantequilla, pero esta vez es un poco menos de muestra; Los resultados siguen su curso, disminuyendo gradualmente la actividad de agua.

Tabla 2.16: Noveno análisis de mantequilla

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,808	80,8 %	18,2 °C	(5-05-2015): El color se ha opacado, pero no ha afectado de manera considerable al alimento, ya que olor y sabor se mantienen normales, al igual que el cambio en su actividad de agua sigue disminuyendo de forma normal. Esta vez el alimento también es analizado en una muestra de menor tamaño que las anteriores, debido a que el producto comienza a acabarse.

Tabla 2.17: Décimo análisis de mantequilla

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,776	77,6 %	21,1 °C	(7-05-2015): La mantequilla se mantiene tal como se describió en el análisis anterior, no presenta descomposición, pero presenta una baja considerable de la actividad de agua de acuerdo a como venía comportándose el cambio de esta. La cantidad de alimento restante es la mínima.

Tabla 2.18: Décimo primer análisis de mantequilla

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,601	60,1%	23,0 °C	(11-05-2015): La mantequilla se encuentra con una “capa externa de la misma endurecida y de un color amarillo bastante opaco, el tamaño de mantequilla es pequeño, pero más allá de la reacción hacia la temperatura de refrigeración que llega de forma directa, no ha afectado al alimento, pero su actividad de agua vuelve a sufrir un cambio brusco disminuyendo, lo que se debe a la relación de la cantidad de alimento y la cantidad de agua total.



Gráfico 1.2: Variación de Aw en mantequilla

2.3: Análisis de cecinas (pollo)

El tercer alimento en análisis corresponde a cecinas hechas de ave (pollo), elaboradas por la empresa de embutidos SAN JORGE, con un contenido de 5 unidades, con peso neto de 250 g. La cecina al ser un alimento hecho en base a carne y grasas animales, tiene una actividad de agua elevada y se considera un producto altamente perecedero. Producto elaborado el 17 de abril de 2015



El envasado de las cecinas corresponde a una bolsa plástica, sellada al vacío para evitar la contaminación cruzada. La rotulación del producto cumple con las normas del R.S.A para el rotulado de alimentos, como son la fecha de vencimiento, fecha de elaboración, lote, resolución sanitaria, aporte nutricional, etc. Es un producto relativamente fresco, pero gracias a su envase sellado y la adición de algunas sustancias químicas para favorecer su conservación y evitar la contaminación por microorganismos, se mantiene bien durante un tiempo determinado sin que sea abierto.

Tabla 2.19: Análisis inicial de cecinas

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,935	93,5 %	18,2 °C	(21-04-2015): Se puede observar las características típica de los embutidos con su forma alargada y su color rosado dado por la carne y la adición de nitritos para su conservación, tiene su olor característico al igual que su sabor, después de ser abierto, este reduce rápidamente su durabilidad ya que se termina el vacío que genera el empaque y entra en contacto con el frío y el ambiente, provocando que su deterioro se acelere.

Tabla 2.20: Segundo análisis de cecinas

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,847	84,7 %	19,1 °C	(22-04-2015): Realizando el segundo análisis, a simple vista el alimento mantiene sus características de textura, sabor, color y el aroma puede sentirse un poco más intenso que el día de ayer, se puede ver el desprendimiento de líquido luego de estar conservándose abierto el paquete, como transpiración o una pequeña emulsión. Los cambios de actividad de agua, es decir la disminución observada, es debido a la abertura del paquete, provoca que la mayoría del alimento entre en contacto directo con el ambiente lo que hace que parte del alimento se vea afectada por efecto de la interacción con el ambiente después de estar sellado.

Tabla 2.21: Tercer análisis de cecinas

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,801	80,1 %	21,1 °C	(23-04-2015): Las cecinas se encuentran con características similares o iguales a las del análisis anterior, tal vez se observa un poco más seca que días anteriores lo que es normal después de abierta y refrigerada.

Tabla 2.22: Cuarto análisis de cecinas

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,726	72,6 %	19,2 °C	(27-04-2015): Las cecinas se encuentran bastante menos humedecidas, con la parte donde se ha cortado con pequeños puntos verdosos, y una de las cecinas con pardeamiento (color rojizo oscuro) en la parte superior que da directamente hacia fuera del paquete por el corte realizado al mismo.

Tabla 2.23: Quinto análisis de cecinas

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,710	71,0 %	19,5 °C	(28-04-2015): Las cecinas se encuentran de la misma manera que el día anterior, ya en menos cantidad, y con gelatinización, probablemente un agente emulsionante al momento de elaborar las cecinas.

Tabla 2.24: Sexto análisis de cecinas

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,637	63,7 %	18,2 °C	(29-04-2015): Las cecinas siguen igual al día anterior, con las mismas características que se han venido observando desde que comenzó el análisis. Se dejara una mínima cantidad para tomar muestra de actividad de agua en el producto ya descompuesto con varios días abierto pero aun refrigerado. Su actividad baja considerablemente en relación al comportamiento de los días anteriores, debido a que la cantidad del producto ya es la mínima y su proceso de descomposición a avanzado debido a que la mayor parte del tiempo permanecía perdiendo frio debido a que se ubicaba en la puerta del refrigerador que se abre constantemente.

Tabla 2.25: Séptimo análisis de cecinas

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,671	67,1 %	19,6 °C	(11-05-2015): Las cecinas se encuentran a simple vista, muy resacas, un color bastante oscuro al color típico rosado de las cecinas, su nivel de actividad de agua comienza a elevarse, en comparación a la que presentaba cuando el alimento se encontraba recientemente descompuesto, su textura dura y poca consistencia retoma una más esponjosa, debido a que las reacciones de descomposición así como en la carne, hace que las moléculas de agua se liberen y ocupen el espacio más cercano a la superficie del alimento.

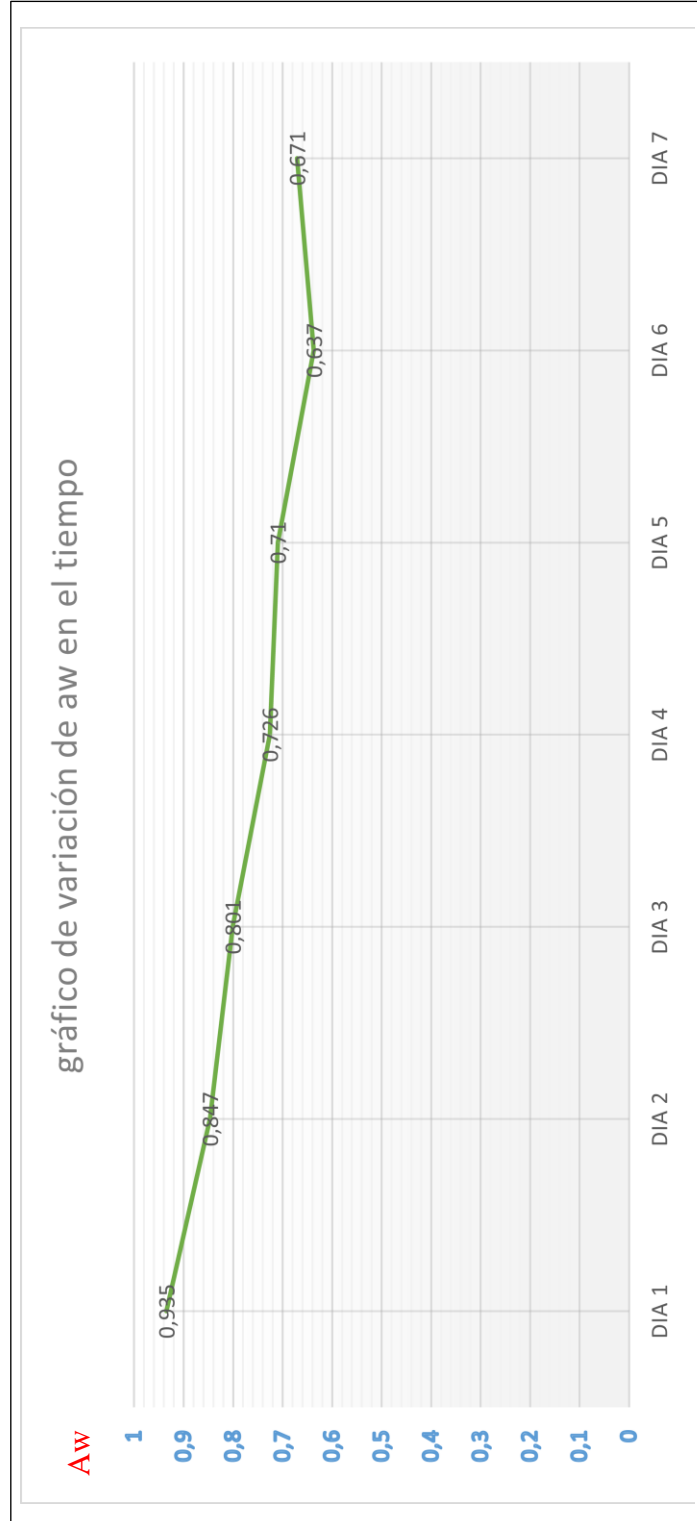


Gráfico 1.3: Variación de Aw en cecinas de pollo

2.4: Análisis de choclo congelado

El cuarto alimento en análisis corresponde a choclo congelado, elaborado por la empresa “FRUTOS DEL MAIPO”, con un contenido neto de choclo de 500 gr. El choclo es un producto de origen vegetal, por lo que tiene un contenido de agua alto, pero que ha sido reducido debido al método de conservación, que se basa en mantener el alimento bajo temperaturas de congelación (-18 a -20 ° C). El producto fue elaborado el 14 de abril de 2015 y tiene una duración mínima de 2 años.



El envasado del choclo corresponde a una bolsa de plástico gruesa, que permite que el alimento se congele sin que el frío entre directamente en contacto con la superficie del alimento. El envase cumple con los estándares de rotulación e información nutricional, así como resolución sanitaria correspondiente.

Tabla 2.26: Análisis inicial de choclo

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,340	34,0 %	19,8 °C	(21-04-2015): El choclo tiene las características típicas del choclo envasado, pues son granos amarillos, exentos de la coronta, con una capa de hielo debido a su método de conservación, que corresponde a agua solidificada. Este se considera un producto con alto nivel de conservación, pero una vez sacado del hielo se considera un producto que demora o requiere poco tiempo para descomponerse.

Tabla 2.27: Segundo análisis de choclo

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,324	32,4 %	20,8 °C	(22-04-2015): El choclo se mantiene, sin ningún cambio de color, sin ningún tipo de mal olor, ni ninguna anomalía detectada, la actividad de agua se ve reducida respecto al análisis anterior.

Tabla 2.28: Tercer análisis de choclo

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,306	30,6 %	20,4 °C	(23-04-2015): El choclo se mantiene en perfectas condiciones, sin malos olores, ni algún tipo de descomposición. La actividad de agua se ve reducida respecto al análisis anterior, un resultado esperable ya que no es una reducción considerable.

Tabla 2.29: Cuarto análisis de choclo

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,293	29,3 %	22,3 °C	(27-04-2015): El choclo sigue sin presentar cambios en su composición, color ni olor, su actividad de agua se ve reducida de manera lenta, a medida que se mantiene bajo temperaturas de congelación, bien sellado en su bolsa de empaque.

Tabla 2.30: Quinto análisis de choclo

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,289	28,9 %	20,5 °C	(28-04-2015): El choclo, como es de esperar, sigue sin sufrir variaciones en su color, olor, textura, ni parámetros que puedan representar algún tipo de descomposición. Su actividad de agua se mantiene dentro de un nivel bajo, típico de un alimento congelado.

Tabla 2.31: Sexto análisis de choclo

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,285	28,5 %	19,6 °C	(29-04-2015): El choclo se mantiene en condiciones aptas para su consumo, sin olor extraño, ni textura fuera de lo normal, color amarillo típico. La actividad de agua sigue oscilando en los mismos valores, tal como se espera de un producto congelado, cuya actividad de agua se ve reducida y mantenida en bajos niveles.

Tabla 2.32: Séptimo análisis de choclo

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,269	26,9 %	21,2 °C	(30-04-2015): El choclo sigue sin variaciones, en su color, textura, sabor y olor, no presenta ningún signo de descomposición. La actividad de agua se mantiene en los mismos valores analizados desde ya hace unos días, tal como se esperaba.

Tabla 2.33: Octavo análisis de choclo

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,265	26,5 %	20,4 °C	(04-05-2015): El choclo sigue con las mismas características observadas durante el proceso de análisis, no presenta cambios visibles de descomposición y su actividad de agua se mantiene en los valores que últimamente se han determinado.

Tabla 2.34: noveno análisis de choclo

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,269	26,9 %	19,6 °C	(05-05-2015): El choclo se mantiene en perfectas condiciones. Su actividad de agua también continua en sus niveles desde los últimos análisis oscilando entre los valores 0,260 a 0,280 Aw.

Tabla 2.35: Décimo análisis de choclo

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,272	27,2 %	22,6 °C	(07-05-2015): El choclo se mantiene de la misma manera desde el primer día que fue abierto, sin presentar ningún tipo de descomposición. La actividad de agua sigue oscilando en los niveles destacados en el análisis anterior.

Tabla 2.36: Un décimo análisis de choclo

Aw	%HRE	T°	OBSERVACIONES
0,264	26,4 %	21,3 °C	(11-05-2015): El choclo es sometido a su último análisis, sigue manteniéndose en perfectas condiciones sin presentar indicios de descomposición. La actividad de agua se mantiene en los niveles que venían mostrándose en los análisis anteriores. El alimento no se ha acabado por lo que se puede deducir que aún se puede mantener por meses.

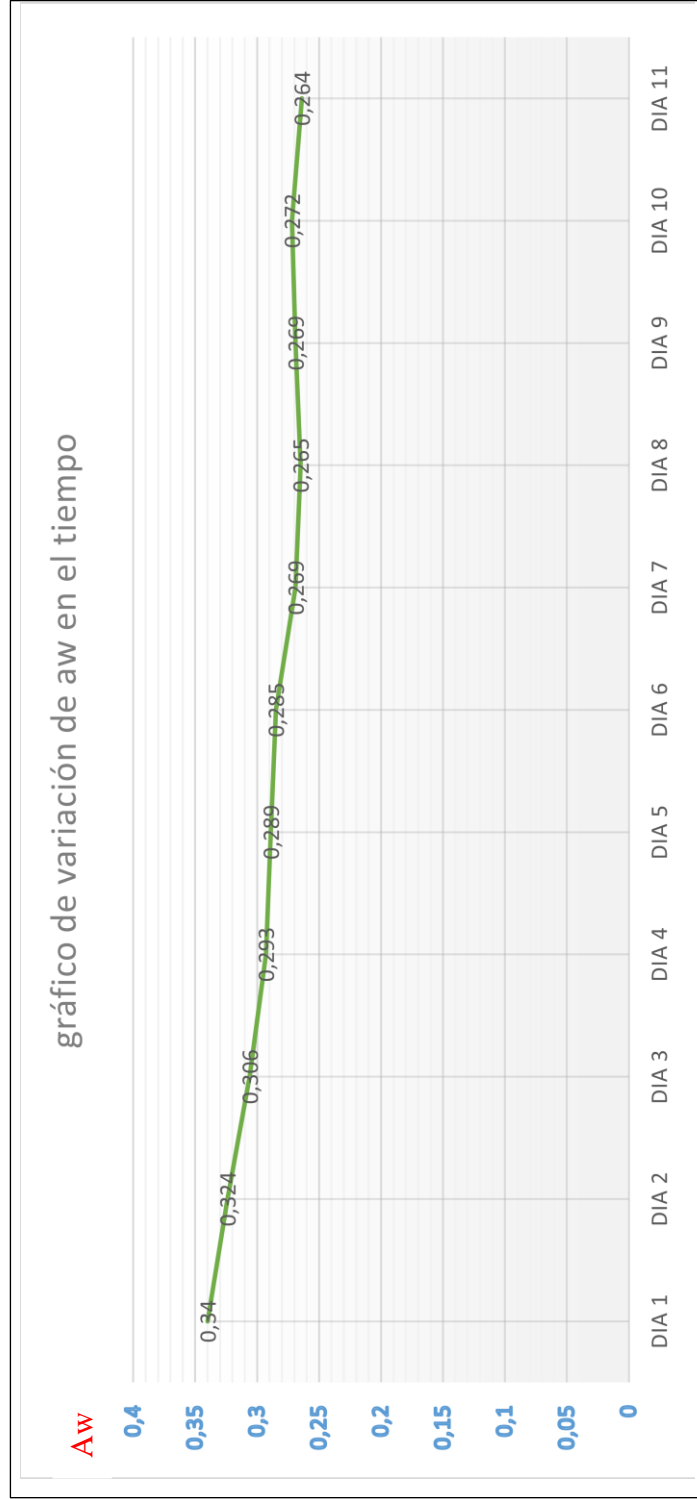


Gráfico 1.4: Variación de Aw en chocolate congelado

DISCUSIONES

Los alimentos sometidos a análisis de A_w cumplen todos con el primer objetivo de determinar la presencia de A_w o agua “libre” en los alimentos elaborados, y su nivel de A_w , depende de su naturaleza y elaboración, cómo se observa en los resultados de la carne, las cecinas de pollo, la mantequilla y el choclo congelado. Existe una posibilidad que parte de la actividad de agua se haya modificado en el transporte de los alimentos hacia el establecimiento, ya sea por acción de calor que hace perder la cadena de frío que es sometido el alimento y provoca la aceleración de los procesos de descomposición.

Durante el tiempo de conservación y análisis, todos los alimentos presentaron cambios en sus niveles de A_w a medida que el tiempo transcurre, ya sea por reacciones químicas, bioquímicas (enzimáticas) o por el equilibrio del agua que compone el alimento con la humedad relativa del ambiente. Se cumple con el segundo objetivo propuesto, que indica la determinación de los cambios de actividad de agua que sufre el alimento a través del tiempo y se mantiene bajo conservación adecuada (refrigeración y congelación), a excepción del choclo congelado cuyos cambios no son significativos.

Los cambios de A_w observados durante el análisis de A_w , específicamente en la carne, cecinas y la mantequilla van acompañado por otros cambios que no se pueden cuantificar, pero si observar a simple vista y permite relacionar los cambios de actividad de agua directamente con los cambios organolépticos de los alimentos. Estas variaciones que se aprecian durante los análisis de A_w son cambios de color, textura y aroma, las que se asocian a reacciones químicas y físicas durante el proceso natural de descomposición del alimento procesado, que requieren de un medio acuoso o la presencia de agua para llevar a cabo dichas reacciones; siendo A_w la Proción de agua que reacciona primero, ya que la otra porción se encuentra ligada en las estructuras que conforman el alimento. El análisis de choclo, permite confirmar que los cambios organolépticos que sufre el alimento están relacionados con actividad de agua, ya que el método de conservación es más eficiente, al realizar los análisis se observan variaciones prácticamente nulas en sus niveles de A_w , las cuales también se ve reflejada en los cambios nulos de color, aroma y textura.

Al establecer la relación de los cambios cuantificados A_w y los cambios organolépticos observados, no se puede relacionar toda el agua disponible a estos cambios, existe una parte de esta agua que no se pierde en las reacciones que ocurren en el alimento, parte de esta agua se equilibra con la humedad relativa del ambiente ocurriendo una desorción en los alimentos con A_w elevadas, al determinar la A_w del alimento, se establece que si existe tal equilibrio, ya que la sonda permite realizar la medición en base a este equilibrio de A_w y humedad relativa ambiente, por lo que si no existiese tal equilibrio, la sonda no podría

entregar un resultado de A_w . El fundamento de funcionamiento de la sonda, y la obtención de un resultado de actividad de agua del alimento analizado, permite establecer que si existe una desorción donde el agua que forma parte del alimento tiende a dejar la capa más externa, equilibrándose con la humedad relativa del ambiente, cumpliéndose el cuarto objetivo.

Los cambios de A_w observados en los alimentos analizados como en la carne, la mantequilla y las cecinas que se conservaron bajo temperaturas de refrigeración, fueron cambios más significativos, en relación a los resultados del análisis de A_w en el choclo, que se conserva bajo temperaturas de congelación. Esto se debe a que la conservación por congelación es más eficiente que la conservación por temperaturas de refrigeración. Al evitar temperaturas más elevadas, los procesos químicos son más lentos, lo que permite prolongar la vida útil del alimento, sin embargo la gran ventaja de la conservación por congelación, es la solidificación de la A_w presente en el alimento, lo que permite anular las reacciones ya sean químicas o microbiológicas donde participa la A_w . Estas observaciones permiten determinar que para conservar un alimento la manera más óptima de alargar su vida útil es limitar la temperatura con la que el alimento entra en contacto, así las temperatura de refrigeración permitirá alargar la vida útil del alimento que no puede ser sometido a congelación, mientras que el alimento sometido a conservación por congelación, tendrá una vida útil mayor. La conservación adecuada no solo hace referencia a las temperaturas de conservación, sino también en la forma en que se almacena el alimento, sobre todo bajo temperaturas de refrigeración, ya que limitando el contacto con el ambiente, al mantenerlo en un empaque adecuado evitara el excesivo contacto con la humedad relativa ambiente, haciendo que el equilibrio entre A_w y humedad relativa ambiente sea mínima dando mayor estabilidad al alimento.

Si bien se establece durante la investigación, que los alimentos elaborados contienen agua disponible, y que su A_w dependen de la naturaleza de los alimentos, siendo los más perecederos los que tienen mayor A_w , no se puede establecer si el agua que se determina como disponible, es parte de un exceso de agua sobre el alimento, sino más bien al agua que compone al alimento y su posición en el mismo, esto quiere decir que mientras más cercana a la superficie se encuentra esta agua libre, mayor será su actividad de agua y a medida que comienza su descomposición comienza a liberarse, es decir, parte del agua donde se disuelven moléculas de bajo peso molecular, que retienen débilmente moléculas de agua, comienzan a liberarse produciéndose un cierto nivel de agua disponible, que permite reacciones en el alimento, como cambios organolépticos que se observan a simple vista, estos cambios son reacciones que ocurren en el alimento, y muchas de ellas es por pérdida de moléculas de agua durante las reacciones. Se puede establecer una relación directa entre el cambio organoléptico observado en el alimento, y los cambios de A_w y

viceversa. Así al momento de liberar agua de las capas más internas del alimento, la presión ejercida por vapor de agua del ambiente hará que el agua ocupe los lugares más externos del alimento, haciendo que este eleve sus niveles de A_w .

El Grafico 1.5, que corresponde a la expresión de las variaciones de A_w que sufren cada una de las 4 matrices analizadas (carne, cecinas, mantequilla y choclo), durante el tiempo de análisis. Se observa para las curvas de A_w de carne, cecinas y mantequilla una deshidratación del alimento (desorción).

La curva no es tan pronunciada como se muestra en la Figura 1.2, pero esto se debe a que el alimento está bajo condiciones de conservación y con niveles de humedad relativa aleatorias, por lo que la pérdida de A_w no es constante. Lo que demuestra que las bajas temperaturas regulan la A_w , humedad relativa y las diferentes reacciones que ocurren en los alimentos (Químicas, físicas, bioquímicas y microbianas). Las mediciones en el caso de la carne, al final de la curva retoma los valores superiores de A_w que se encontraban inicialmente en el alimento, esto ocurre porque las últimas dos mediciones corresponde al producto en descomposición, aun así, en el transcurso normal de descomposición la carne debería perder hasta un cierto límite de agua, después de ello las mismas reacciones de degradación normal del alimento liberaran agua de las capas más internas, moviéndose el agua libre hacia la capa más externa volviendo a elevar la A_w hasta permitir los niveles necesarios para la proliferación de microorganismo y descomposición final y más grave sobre el alimento. En los resultados de cecinas, se aprecia en el Grafico 1.5, que al final de la curva desciende drásticamente debido a que la última medición del producto fue en una muestra que no era la cantidad suficiente para llenar la taza de muestra y obtener resultados precisos. Se observa que los resultados de niveles de A_w varían subiendo y bajando en comparación a los días anteriores, esta inestabilidad podría deberse a que estos productos contiene adicionalmente sustancias químicas utilizadas por ejemplo en la cecina, para evitar el desarrollo de microorganismos En el caso del Grafico 1.4, que corresponde a los valores de A_w de choclo congelado, debería observarse una adsorción, ya que es un producto de baja A_w y tiende a equilibrarse mediante la hidratación, al contrario se observa una desorción, esto ocurre porque el choclo se encuentra congelado y no existen reacciones de oxidación, enzimáticas, no enzimáticas y la A_w se encuentra congelada, por lo que su eliminación es más sencilla a la hora de limpiar el choclo para proceder a la medición, y su nula reacción a un ambiente de baja humedad (congelador), mantienen el alimento con bajos niveles de A_w , incluso menores que el valor inicial de A_w .

El análisis de mantequilla, se observa una actividad de agua inicial, que sufre una variación considerable en el segundo análisis, debido a que al abrir la mantequilla el

contacto con el ambiente tiene un efecto inmediato sobre el alimento, desde ese momento se alcanza un equilibrio en el alimento y comienza a descender paulatinamente, esto porque las moléculas de agua libre de la mantequilla se encuentran más cercanas a la superficie del alimento, por lo que la presión de vapor de la humedad ambiente ejerce presión sobre el agua libre, además de la interacción con la luz que provoca reacciones de oxidación, así mismo la acción de antioxidantes puede afectar la variación de actividad de agua.

Es importante añadir, que la aplicación de métodos para la eliminación de agua además de la aplicación de sustancias para alargar la vida útil, las cuales también tienen efecto sobre la actividad de agua ya que la reducen al requerir parte del agua como solvente. Tratamientos como el secado (deshidratación) o la adición de solutos para saturar la solución como el salado.

Así mismo, todos los procesos y métodos de conservación no tienen mucha utilidad si la manipulación del alimento es con precaución de manera de evitar cualquier forma de contaminación o pérdida de la cadena de frío que es fundamental en muchos de los alimentos, así como mantenerlos en lugares adecuados, lejos de la humedad o altas temperaturas y en un empaque o recipiente apropiado que deje un espacio limitado entre el alimento y el envase.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y los resultados obtenidos se puede concluir sobre la investigación, que todos los alimentos cumplen los objetivos propuestos en el trabajo debido a que:

- Todos los alimentos sometidos al análisis, tienen niveles de actividad de agua al momento de ser elaborados y comercializados, y los niveles dependerán del tipo de alimento y el proceso al cual sea sometido durante su elaboración y comercialización además de su manipulación.
- Todos los alimentos sometidos al análisis sufren variaciones en sus cualidades organolépticas que van asociadas a un cambio en la actividad de agua del mismo.
- El método de conservación resulta efectivo para disminuir considerablemente los cambios de A_w , que se hacen notorios a medida que el alimento se mantiene en contacto con el ambiente y se descompone, gracias a que las bajas temperaturas inhiben la velocidad de equilibrio entre la A_w del alimento y la humedad relativa del ambiente, así mismo reducen la velocidad de reacciones químicas, bioquímicas y microbiológicas que requieren de A_w . Resultado que se observan en los pequeños cambios de A_w obtenidos.
- Los resultados cuantitativos obtenidos con la sonda de medición, permiten determinar que existe un equilibrio entre la humedad relativa del aire y la A_w del alimento, y este influye directamente en la estabilidad y la vida útil del alimento, siendo los alimentos con mayores niveles de A_w los más perecederos, mientras que un alimento con menor A_w , tiende a ser más duradero.

ANEXO

Refrigeración y congelación.

Los alimentos sufren procesos los cuales provocan un deterioro en ellos, que son de carácter: químico, físico, bioquímico y microbiológico. Para frenar estos procesos se buscan condiciones de almacenaje adecuados:

La refrigeración consiste en la conservación de los productos a bajas temperaturas que oscilan entre 0 y 8°C, así se logra que las características organolépticas y valor nutricional del producto no difieran desde el inicio de su almacenaje hasta el fin de su vida útil, evitar el crecimiento de microorganismos termófilos y muchos mesófilos. Así mismo, bajo los mismos propósitos que la refrigeración, y permitiendo que los alimentos duren incluso años, está la congelación que consiste en aplicar a los alimentos temperaturas bajo los -1 °C, hasta los -28 ° C aproximadamente.

Sin embargo estas medidas de conservación no son suficientes por si solas, pues hay ciertos factores, la vida útil de los vegetales refrigerados depende de su variedad, parte donde se almacena, condiciones de recolección y temperatura de transporte entre otras. En los alimentos procesados, depende del tipo de alimento, el proceso que recibe para inhibir la acción de enzimas y microorganismos, higiene de elaboración y envasado, del envase, entre otros. Las frutas dependen del tipo de patrón climatérico, que se produce durante su almacenamiento a bajas temperaturas, debido a que la velocidad de respiración de las frutas varía con la temperatura; en las frutas con patrón climatérico, se produce un incremento brusco de la respiración, como ocurre con los mangos o las papayas, mientras que las frutas de patrón no climatérico no presentan el anterior comportamiento en la respiración, entre ellas se encuentran la piña y la naranja.

En los tejidos animales, consecuencia del sacrificio se inician una serie de reacciones iniciándose el proceso llamado rigor mortis. En consecuencia de este proceso el tejido muscular se hace inextensible. Para que este proceso se desarrolle sin presencia de microorganismos y sin cambios en las cualidades organolépticas, y en el resto del proceso de producción, distribución, venta y conservación de los productos cárnicos, es esencial el uso y trabajo a bajas temperaturas aplicadas solas o en combinación con otras técnicas, tal como el sellado al vacío.

La congelación, en si parece ser el método más eficiente de conservación, pero al igual que la refrigeración, existen factores, sobre todo en la velocidad de congelamiento, ya que

la velocidad de congelación se relaciona con el tamaño de los cristales formados, puede dañar las cualidades organolépticas y nutricionales dependiendo del tipo de alimento, ya que por ejemplo las frutas y verduras que presentan estructuras más rígidas que la carne por lo que la formación de cristales de hielo los afecta de mayor manera al aparecer cristales de mayor tamaño a nivel extracelular, por efecto de la congelación lenta, a diferencia de la congelación rápida que congela al mismo tiempo el agua y sus solutos a nivel extracelular e intracelular, teniendo cuidado que la velocidad no sea demasiado elevada y provoque alteraciones y rupturas de tejidos.

Microorganismos y actividad de agua

La capa más externa de agua, es considerada el agua utilizada por los microorganismos para su proliferación en el alimento, y corresponde a alimentos que alcanzan niveles de actividad de agua sobre 0.85 A_w , a excepción de algunas esporas de hongos que se pueden desarrollar en actividades de agua 0.60 A_w .

A continuación se presenta una tabla donde se observan algunos tipos de microorganismos que se presentan en alimentos, y sus requerimientos de actividad de agua:

Tabla A: Requerimientos de actividad de agua en Bacterias

BACTERIAS	ACTIVIDAD DE AGUA (A_w)
<i>Clostridium Botulinum A</i>	0.93
<i>Clostridium perfringens</i>	0.93 – 0.95
<i>Shigella sp.</i>	0.96
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.91
<i>Salmonella oranienberg</i>	0.95
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0.97
<i>Escherichia coli</i>	0.95
<i>Listeria monocitogenes</i>	0.90 – 0.92

Tabla B: Requerimientos de actividad de agua en hongos y levaduras

HONGOS Y LEVADURAS	ACTIVIDAD DE AGUA (A_w)
<i>Aspergillus flavus</i>	0.78 – 0.80
<i>Penecillium citrinum</i>	0.80
<i>Aspergillus clavatus</i>	0.85
<i>Monascus bisporus</i>	0.61
<i>Torulopsis candida</i>	0.65
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0.89 – 0.92

A continuación se presenta una tercera tabla, donde se aprecia algunos tipos de alimentos y sus niveles de actividad de agua cuando se encuentran frescos.

Tabla C: Actividad de agua en tipos de alimentos frescos

ALIMENTOS	ACTIVIDAD DE AGUA (A_w)
Frutas frescas	0.97
Verduras frescas	0.97
Jugos de fruta	0.97
Huevos	0.97
Carne fresca	0.97
Pescados	0.97
Leche fresca	0.97
Queso fresco	0.96
Pan	0.96
Mermeladas	0.86
Frutas secas	0.80
Miel de abejas	0.75
Galletas	0.10
Cereales	0.10
Azúcar	0.10

En niveles de A_w de 0,98 o superior, se desarrollan todos los microorganismos causantes de toxiinfecciones alimentarias y alteraciones al alimento. Carnes, pescados frescos, frutas, hortalizas y frutas enlatadas en salmuera y/o jarabes diluidos, leche entre otros alimentos considerados altamente húmedos.

En niveles de A_w entre 0,93 y 0,98 se desarrollan al menos en los niveles mas altos del intervalo, todos los microorganismos causantes de toxiinfecciones alimentarias. Los alimentos dentro del intervalo son leche evaporada, concentrado de tomates, productos cárnicos y pescados ligeramente salados, embutidos fermentados y cocidos, quesos de maduración corta, frutas en almíbar, pan, cereales entre otros.

En niveles de A_w 0,85 a 0,93 se desarrollan mohos productores de micotoxinas y entre las bacterias patógenas se desarrolla solo *Staphylococcus aureus* capaz de causar una infección alimentaria. Los alimentos de este intervalo corresponden a alimentos con su solución acuosa saturada de azúcar y alimentos con contenido de sal superior al 17% como queso Cheddar salado, jamón serrano, leche condensada y embutidos fermentados entre otros.

En niveles de A_w entre 0,60 a 0,85 las bacterias patógenas no se desarrollan y las alteraciones se debe a microorganismos xerófilos (ambiente seco), halófilos (altos niveles de sal) y osmófilos (altos niveles de azúcar), hongos, levaduras, reacciones de hidrolisis, oxidación de lípidos y reacciones enzimáticas y no enzimáticas (pardeamiento). Los alimentos encontrados en este intervalo de A_w son frutos secos, harina, cereales, confites y mermeladas, pescados muy salados, extractos de carne y algunos quesos muy madurados entre otros.

En niveles de A_w 0,60 o inferior, los microorganismos no se desarrollan, pero pueden permanecer vivos largos periodos de tiempo, y el deterioro se ve afectado por reacciones de hidrolisis, de oxidación y reacciones bioquímicas (enzimáticas y no enzimáticas). Los alimentos en este intervalo corresponden a dulces, chocolate, miel, fideos, galletas, papas fritas, verduras secas, leche en polvo y huevos entre otros alimentos.

Reacción de Maillard

La reacción de Maillard, corresponde al conjunto de reacciones químicas que se llevan a cabo en los alimentos y ocurre el llamado pardeamiento no enzimático. Esto ocurre en las proteínas y los azúcares de los alimentos cuando sufren cambio de temperatura (calentamiento) y ocurre cuando una molécula de aminoácido reacciona con otra molécula de hidrato de carbono, como resultado se obtienen coloraciones, aromas y sabores provenientes de múltiples nuevos compuestos.

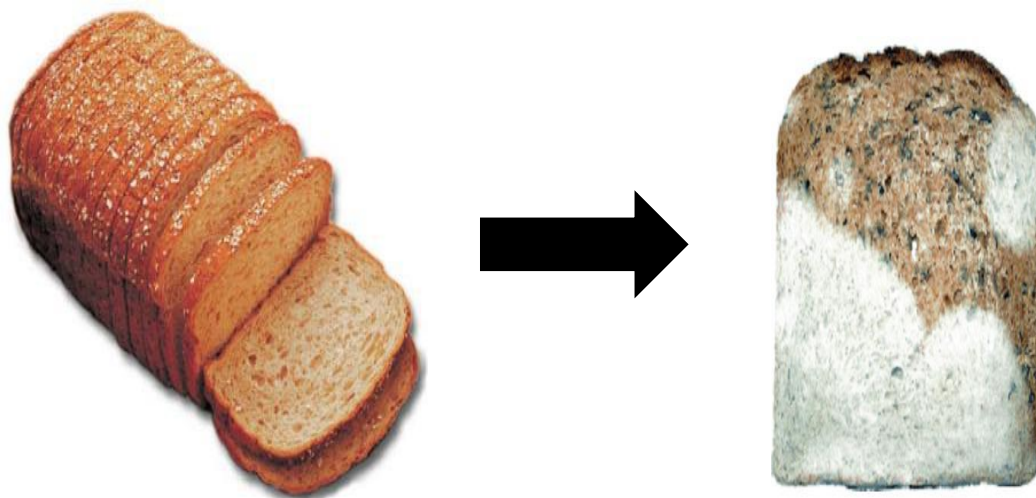
Acción de la humedad relativa ambiente sobre los alimentos

Como se mencionó anteriormente, los alimentos se dividen en dos grupos de acuerdo a sus niveles agua en su composición. Si su nivel de actividad de agua es elevado, el alimento es húmedo, jugoso y blando, y se considera un alimento menos estable, a diferencia de un alimento cuyos niveles de actividad de agua son menores, su textura es dura y seca, y se consideran alimentos no perecibles o menos perecederos.

Cuando un alimento con alta actividad de agua se mantiene en contacto directo con el ambiente, la humedad relativa del ambiente tiende a equilibrarse con la capa más externa de agua, lo que provoca que el alimento se reseque, debido a que parte del agua del alimento pasa al ambiente durante el equilibrio provocando que el alimento se reseque.

Cuando un alimento con baja actividad de agua se mantiene en contacto directo con el ambiente, la humedad relativa del ambiente se equilibra con la capa más externa de agua del alimento, provocando que el alimento se ponga blando, húmedos, esto debido que a que durante el equilibrio, parte de la humedad relativa del ambiente pasa al alimento provocando los cambios en el alimento seco.

En la imagen se aprecia la acción de la humedad relativa del ambiente sobre un alimento seco, como el pan integral.



En productos, formado por distintos alimentos que presentan niveles de actividad de aguas distintas unos de otros, el agua tiende a ir desde los alimentos con alta actividad de agua, hacia los alimentos con menor actividad de agua, como ocurriría en un bocadillo que consiste en un producto con baja actividad de agua como el pan, preparado con lechuga y tomate, al pasar el tiempo el pan quedará totalmente blando y húmedo, mientras que la

lechuga y el tomate quedan rescos. En los productos polvorientos o granulados es importante controlar que la humedad del ambiente, no eleve la actividad de agua del producto como son leches en polvo, azúcar, sal, etc. Los cuales generalmente se apelmazan y quedan completamente duros.

Promedio

También denominado media aritmética, el promedio en matemáticas y estadísticas es el valor característico de una serie de datos cuantitativos y el objeto de estudio parte del principio de esperanza matemática o valor esperado y se obtiene a partir de la suma de todos los valores, divididos la cantidad de valores obtenidos.

Desviación estándar

La desviación estándar es una medida del grado de dispersión de los datos o valores obtenidos, con respecto al valor central o promedio, dicho de otra manera corresponde a la variación esperada con respecto a la media aritmética. Mientras más alejados estén los datos del valor de la media, entonces existe mayor probabilidad de errores en los resultados.

Coefficiente de variación

Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación estándar. A mayor valor de coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los valores de la variable, mientras que menor valor de coeficiente de variación mayor homogeneidad de los valores de la variable

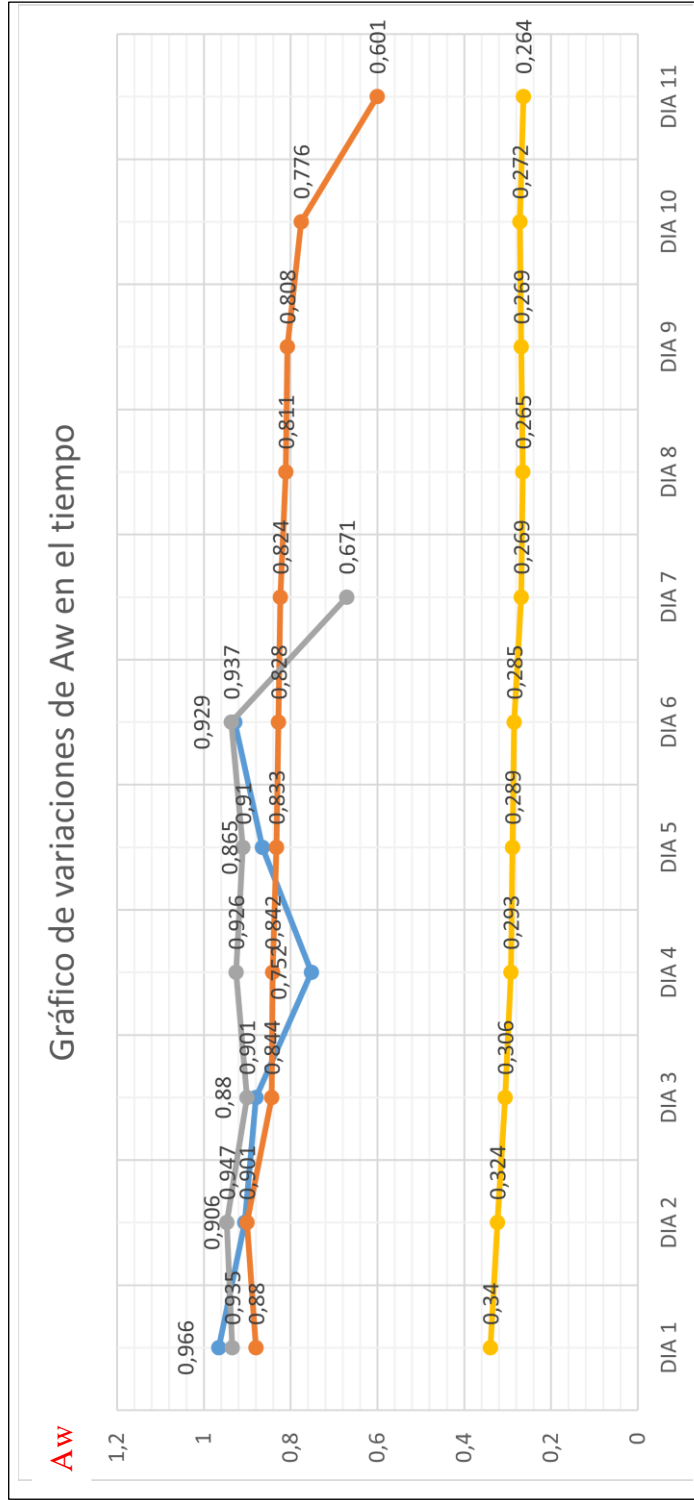


Gráfico 1.5: Variación de Aw en las 4 matrices.

Bibliografía

1. BADUI, Salvador D., Química de los alimentos [en línea]. Cuarta edición. Mexico. Pearson education, 2006. [citado entre 2015 y 2017]. Disponible en: <http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Libro-Badui2006_26571.pdf>. ISBN: 970-26-0670-5
2. ANDUJAR, Gustavo. PÉREZ, Dany. VENEGAS, Octavio., Química y bioquímica de la carne y productos cárnicos [en línea]. Ciudad de la Habana. Editorial universitaria, 2009. [citado entre 2016 y 2018]. Disponible en: <<http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/mod/resource/view.php?id=24048>>. ISBN 978-959-16-1060-7
3. ROTRONIC, AG. Rotronic [en línea]. 2014. [consulta 24 de noviembre de 2014 y 20 de abril de 2015]. Disponible en: <<https://www.rotronic.com/en/hygropalm23-aw-hp23-aw.html>>
4. SANDULACHI, Elisaveta, Dr., Assoc. Prof., Water activity concept and its role in food preservation [en línea]. Article Technical university of Moldova 2016 [consulta 17 de julio de 2018]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/310605656_WATER_ACTIVITY_CONCEPT_AND_ITS_ROLE_IN_FOOD_PRESERVATION>