

ART. 7

DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL CHORIZO PARRILLERO DEL LABORATORIO TALLER DE ALIMENTOS (L.T.A)



DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL CHORIZO PARRILLERO DEL LABORATORIO TALLER DE ALIMENTOS (L.T.A)

DETERMINATION OF THE SHELF LIFE OF
"CHORIZO" SAUSAGE OF FOOD WORKSHOP LABORATORY (L.T.A)

Olarte Pimentel Zandi Magali (1)

maggi.94.mayli.4@gmail.com

Ramírez Ruiz Erick (2)

erickramirezruiz@yahoo.com.ar

Estudiante 1 y Docente 2 de la Carrera de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ciencia y Tecnología-UAJMS

RESUMEN

El presente trabajo experimental fue desarrollado en el Laboratorio Taller de Alimentos (L.T.A) y en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) de la Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho".

La vida útil del chorizo parrillero del Laboratorio Taller de Alimentos se estimó mediante el análisis fisicoquímico, empleando el factor acidez y pH, como indicadores de deterioro; conjuntamente se realiza el análisis microbiológico y organoléptico. El producto se almacena a (1°C 88%HR), (3°C 90%HR), (4°C 83%HR) durante 29 días y tomando tres muestreos de lotes de producción. Los datos obtenidos mostraron una disminución constante de pH y aumento de acidez durante el tiempo de almacenamiento.

Realizada la evaluación sensorial de las muestras de chorizo parrillero al inicio del almacenamiento se evidencia que el producto es aceptable para el consumidor ya que tiene buen color, olor agradable y sabor característico; transcurrido 18 días del almacenamiento el producto presenta un color oscuro, olor un poco desagradable y sabor diferente.

El análisis microbiológico realizado en las tres muestras de chorizo parrillero al inicio y transcurridos 20 días del almacenamiento no arrojan resultados que estuvieran fuera de la Norma Boliviana (NB 310017). Sin embargo, a los 20 días del almacenamiento existe desarrollo de mohos y levaduras lo que indica descomposición del producto.

La cinética de reacción realizada para el factor de deterioro (pH) fue de orden uno, para las tres muestras (1°C, 3°C y 4°C) con una velocidad de reacción de (0,0101; 0,0111 y 0,0115) mol/g*día. Con estas constantes y el modelo matemático de Arrhenius se obtuvo una energía de activación ($E_A = 0,7857$ kJ/mol) y se determinó la relación de temperatura y velocidad de reacción con un valor $Q_{10} = 2,22$ acelerando la reacción 2 veces más por cada 10°C que se aumente (El parámetro Q_{10} se define como la razón entre la vida anaquel a una temperatura T y la vida anaquel a una temperatura T+10). Por último, se obtiene que el deterioro del producto en función del factor de calidad limitante (pH) empieza a los 12 días almacenado a (1°C 88%HR).

Palabras claves

chorizo parrillero, vida útil, cinética de reacción, pH.

ABSTRACT

The present experimental work developed in the Laboratorio Taller de Alimentos (L.T.A) and in the Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) "Analysis Center, Research and Development" of "JUAN MISAE SARACHO UNIVERSITY".

The shelf life of the "chorizo" sausage of the Food Workshop Laboratory was estimated by the physicochemical analysis, using the factor acidity and pH, as indicators of deterioration; together the microbiological and organoleptic analysis is carried out. The product is stored at (1 °C 88% RH), (3 °C 90% RH), (4 °C 83% RH) for 29 days and taking three samplings of production batches. The data obtained showed a constant decrease of pH and increase of acidity during the storage time.

Once made the sensory evaluation of the samples of "chorizo" sausage at the beginning of the storage, it is evident that the product is acceptable for the consumer since it has good color, pleasant smell and characteristic flavor; After 18 days of storage, the product has a dark color, a slightly unpleasant odor and a different flavor.

The microbiological analysis carried out in the three samples of chorizo sausage at the beginning and after 20 days of storage do not yield results that were outside the Bolivian Standard (NB 310017). However, after 20 days of storage there is development of molds and yeasts which indicates decomposition of the product.

The reaction kinetics made for the (pH) deterioration factor was of order one, for the three samples (1 °C, 3 °C and 4

°C) with a reaction rate of (0,0101; 0,0111 and 0,0115) mol/g*day. With these constants and the mathematical model of Arrhenius, an activation energy was obtained ($E_A = 0.7557$ kJ / mol) and the relationship of temperature and reaction speed was determined with a value $Q_{10} = 2,22$ accelerating the reaction 2 times more for every 10 ° C that is increased (The parameter Q_{10} is defined as the ratio between shelf life at a temperature T and shelf life at a temperature T+10). Finally, it is obtained that the deterioration of the product as a function of the (pH) limiting quality factor begins at 12 days stored at (1 °C 88% RH).

Key words:

"chorizo" sausage, shelf life, reaction kinetics, pH

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se enfoca en el estudio de vida útil del chorizo parrillero del Laboratorio Taller de Alimentos (LTA), el cual nos permitirá generar datos referentes a la fecha de vencimiento a través del análisis físicoquímico, microbiológico y organoléptico; con pruebas de durabilidad a nivel de laboratorio, siendo imprescindible para el buen control de calidad del producto.

La calidad de los alimentos es un estado dinámico que se mueve continuamente hacia niveles más bajos. Para cada alimento particular, hay un periodo de tiempo determinado, bajo determinadas condiciones de conservación. Este periodo se define como vida útil del alimento (Casp & Abril, 2003).

La vida en anaquel de los alimentos se ve influenciada

por las alteraciones de tipo (Labuza, 1999): sensorial, físico, microbiológico (Anderson, 1998) y químico; que pueden incluir pérdidas de las características organolépticas, valor nutritivo y su aspecto desagradable (Potter y Hotchkiss, 1999). Durante el almacenamiento y el deterioro de los alimentos, ocurren cambios por acción enzimática y desarrollo de bacterias. Estos cambios dependen de manera importante de la concentración de ion hidrogeno (pH), más que de la acidez titulable presente (Kirk et al, 1996).

La vida útil del producto refrigerado depende de las condiciones de temperatura, ya que el efecto integrado de tiempo y temperatura permite la proliferación de microorganismos alterantes el deterioro de la calidad sensorial y nutritiva (Piagentini, 2009).

Los cambios en la calidad de los alimentos pueden, en general, expresarse como una función de la composición de los mismos y de los factores ambientales (Casp & Abril, 2003).

$$\frac{dQ}{dt} = F(C_p E_j) \quad (\text{Ec. 1})$$

C_p : Factores de composición, reacción, enzimas, pH, actividad de agua.

E_j : Factores ambientales: temperatura, humedad relativa, luz, etc.

Para un orden de reacción cero se tiene que la vida útil es (Man, 2002):

$$t_p = \frac{Q_0 - Q_f}{k} \quad (\text{Ec. 2})$$

Para el orden de reacción uno se tiene que la vida útil es:

$$t_p = \frac{\ln Q_0 - \ln Q_f}{k} \quad (\text{Ec. 3})$$

La influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad de la reacción se puede describir utilizando la ecuación desarrollada por Svante Arrhenius:

$$k = k_0 \exp \left[- \frac{E_A}{RT} \right] \quad (\text{Ec. 4})$$

k_0 : Factor pre-exponencial (s⁻¹)

E_A : Energía de activación (kJ.mol⁻¹)

R: Constante de los gases perfectos (kJ.mol⁻¹.K⁻¹)

T: Temperatura en la escala absoluta (K)

El parámetro Q_{10} se define como la razón entre la vida anaquel a una temperatura T y la vida anaquel a una temperatura T+10. Para describir la relación entre la temperatura y la velocidad de reacción se calcula el valor Q_{10} (Casp & Abril, 2003).

$$Q_{10} = e^{10 \cdot a} \quad (\text{Ec. 5})$$

La evaluación sensorial en los alimentos, es una técnica de medición importante, como los métodos químicos, físicos y microbiológicos (Gastelum et al, 2009).

MATERIALES Y MÉTODOLÓGÍA EXPERIMENTAL

Materiales

Para el almacenamiento de las muestras de chorizo parrillero se utilizó tres refrigeradores a temperaturas de 1°C, 3°C y 4°C, una estufa eléctrica para determinación de humedad y un pH-metro digital para determinación de pH y balanza analítica.

En la Tabla 1 se muestran los materiales y reactivos de laboratorio utilizados en el presente trabajo.

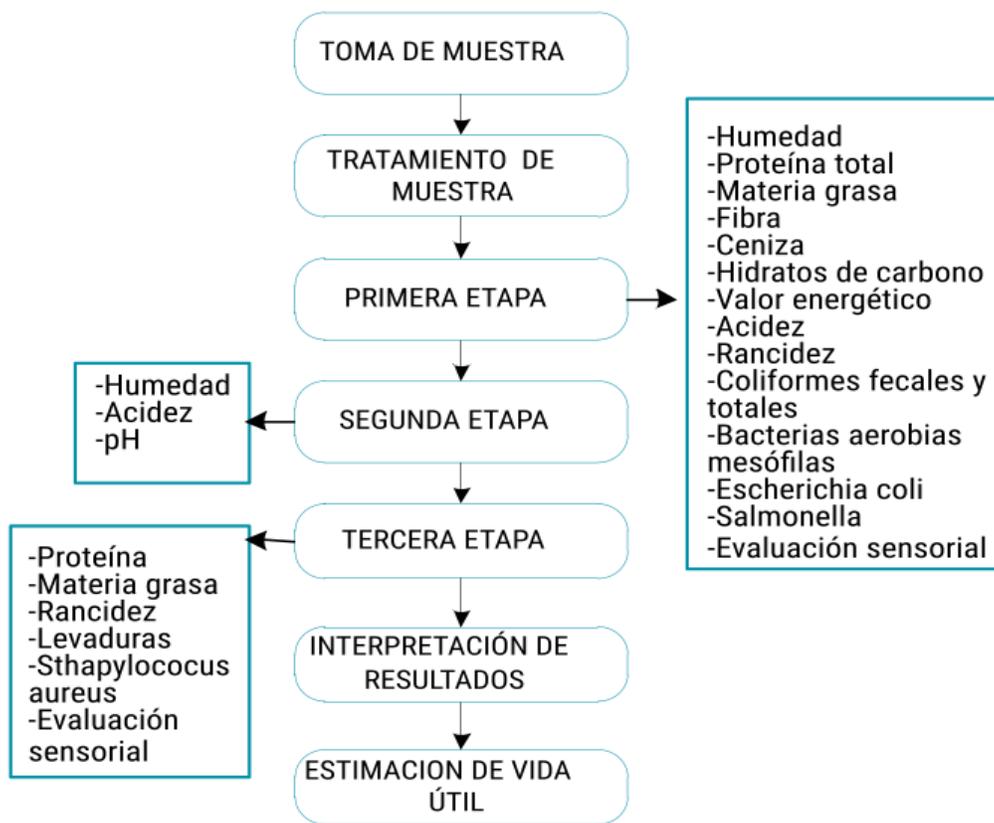
Tabla 1
Materiales y reactivos de laboratorio

Materiales	Reactivos
Cápsulas de porcelana	Agua destilada
Desecador	Éter etílico 40%
Matraz aforado	Fluoroglucinol al 0,1%
Tubos de ensayo	Ácido clorhídrico 1 N
Matraz Erlenmeyer	Etanol 99%
Vasos precipitados	Hidróxido de sodio 0,1 N
	Fenolftaleína al 1%

Metodología

En la **Figura 1** se describe el esquema lógico experimental para la determinación de vida útil del chorizo parrillero procedente del Laboratorio Taller de Alimentos (LTA).

Figura 1.
Esquema lógico para la determinación de vida útil del chorizo parrillero del L.T.A

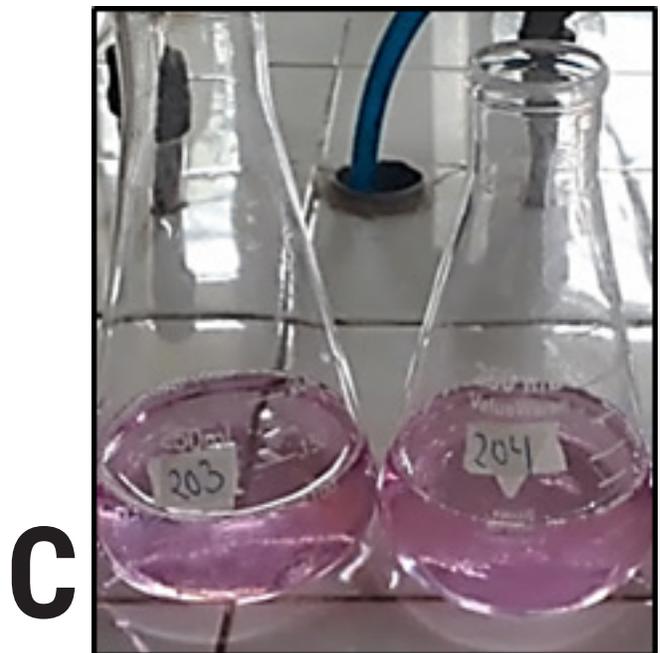


Primera etapa

Se realiza los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y organolépticos del chorizo parrillero al comienzo del almacenamiento para determinar los parámetros bromatológicos (humedad, proteína, grasa, fibra, ceniza, hidratos de carbono, valor energético, acidez y rancidez) para verificar que el producto cumpla con los requisitos microbiológicos (coliformes fecales y totales, escherichia coli, bacterias aerobias mesófilas y salmonella); mediante la evaluación sensorial se evalúa las propiedades organolépticas.

Segunda etapa

Se realizan los análisis de humedad "Figura A", pH "Figura B" y acidez "Figura C" en las tres muestras de chorizo parrillero por un tiempo de 29 días y en una secuencia de tres veces por semana, con el fin de controlar el grado de descomposición del producto.



Tercera etapa

Se realiza los análisis complementarios finales de acuerdo a los factores que tienen mayor influencia sobre el deterioro y descomposición del producto (proteína, grasa, rancidez, mohos y levaduras, *Staphylococcus aureus*) con el fin de conocer las condiciones finales del producto almacenado, conjuntamente con la evaluación sensorial de los atributos tomados en cuenta.

Metodología utilizada para la obtención de resultados

Análisis fisicoquímicos

Se realizó los análisis fisicoquímicos (Tabla 2) del chorizo parrillero, debido a que es un producto crudo donde estas propiedades cambian en función del tiempo. Realizado en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) y Laboratorio Taller de Alimentos (LTA).

Tabla 2.
Análisis fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	Técnica	Secuencia de análisis	Tiempo (días)
Acidez	%ácido láctico	NB 229	3 veces por semana	29
pH	Valor	NB 785		
Humedad	%	NB 379		
Rancidez	Pos/neg	NB 34009	Inicial y final	
Grasa	%	NB 313019		

Análisis microbiológicos

La caracterización microbiológica inicial y transcurrido 20 días de almacenamiento del chorizo parrillero se realizó en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la UAJMS.

Tabla 3.
Análisis microbiológicos

Parámetros	Método	Unidad	Secuencia de análisis
Aerobios mesófilos	NB 32003:05	UFC/g	Inicio
<i>Escherichia coli</i>	NB 32005:02	UFC/g	
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/g	20 días
<i>Staphylococcus aureus</i>	NB 32004:02	UFC/g	

Fuente: (CEANID, 2017)

Análisis organolépticos

Se realizó la evaluación sensorial (Tabla 4) en el chorizo parrillero utilizando 17 jueces no entrenados, donde la calificación de los atributos color, olor, y sabor se realiza mediante un test de prueba descriptiva (Ureña y col., 1999) de escala hedónica.

Tabla 4.
Análisis organolépticos

Atributos	Método	Secuencia de análisis
Color	Sensorial	Inicio, 11 días, 18 días
Olor	Sensorial	
Sabor	Sensorial	

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques (Ramírez, 2012) completamente al azar (DBCA), aplicado en la etapa de almacenamiento del chorizo parrillero y se estudia los efectos que tienen los cinco lotes (A, B, C, D, E), sobre el factor acidez del chorizo parrillero durante la primera, segunda, tercera, cuarta y quinta semana.

Tabla 5.
Diseño experimental en el almacenamiento

Lote	Tiempo de almacenamiento (semanas)				
	1 ^{ra}	2 ^{da}	3 ^{ra}	4 ^{ta}	5 ^{ta}
A	Y _{A1}	Y _{A2}	Y _{A3}	Y _{A4}	Y _{A5}
B	Y _{B1}	Y _{B2}	Y _{B3}	Y _{B4}	Y _{B5}
C	Y _{C1}	Y _{C2}	Y _{C3}	Y _{C4}	Y _{C5}
D	Y _{D1}	Y _{D2}	Y _{D3}	Y _{D4}	Y _{D5}
E	Y _{E1}	Y _{E2}	Y _{E3}	Y _{E4}	Y _{E5}

RESULTADOS

Análisis fisicoquímicos

En la Tabla 6 y Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos de pH y acidez del chorizo parrillero almacenado a 1°C, 3°C y 4°C durante 29 días.

Tabla 6.
pH del chorizo parrillero

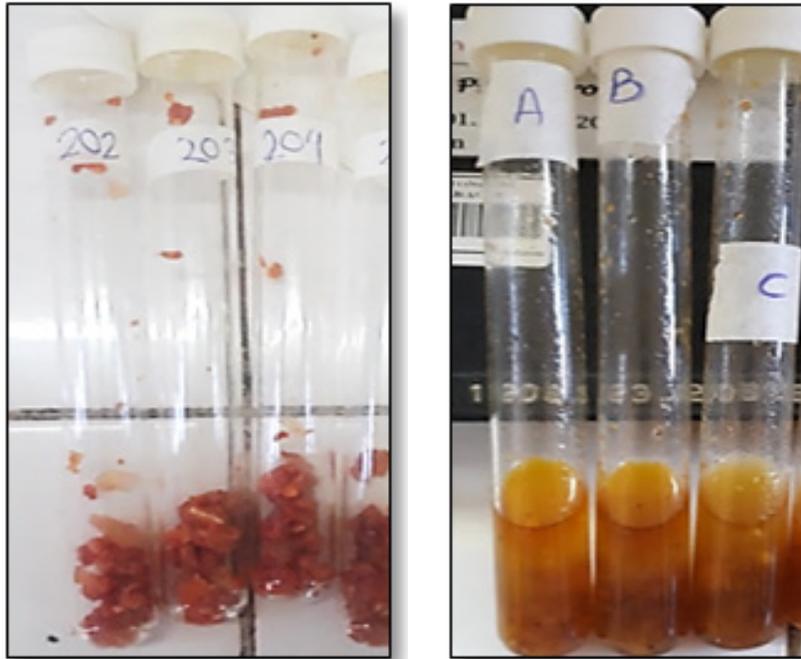
t(días)	pH		
	1°C	3°C	4°C
2	5,16	5,02	5
4	5,07	4,94	4,87
6	5,04	4,82	4,64
8	4,92	4,72	4,52
11	4,83	4,61	4,49
13	4,77	4,55	4,45
15	4,74	4,5	4,35
18	4,69	4,47	4,33
20	4,65	4,43	4,31
22	4,64	4,4	4,3
25	4,62	4,39	4,29
27	4,6	4,39	4,28
29	4,56	4,43	4,29

Tabla 7.
Acidez del chorizo parrillero

t(días)	Ácido láctico (%)		
	1°C	3°C	4°C
2	0,4473	0,5362	0,6339
4	0,5343	0,6232	0,724
6	0,622	0,7102	0,7242
8	0,6234	0,7124	0,8147
11	0,6327	0,7237	0,8157
13	0,6337	0,7243	0,8328
15	0,6518	0,7692	0,9916
18	0,7244	0,8147	0,9958
20	0,7242	0,8239	1,0854
22	0,7261	0,9014	1,0857
25	0,765	0,9421	1,0861
27	0,7663	0,9504	1,0861
29	0,8143	0,9953	1,0866
39	0,9052	1,0831	1,1315

En la Figura 2 se observa los resultados del análisis de rancidez, realizado en las tres muestras de chorizo parrillero en el transcurso de 29 días de almacenamiento.

Figura 2.
Rancidez del chorizo parrillero



La coloración amarilla indica un resultado de rancidez negativo, en este caso para las tres muestras de chorizo parrillero. Por tanto, se descarta la posibilidad del enranciamiento de las grasas en el producto al final del almacenamiento.

En la Tabla 8 se muestran los resultados de materia grasa, análisis realizado en el laboratorio CEANID, a los 29 días de almacenamiento en las tres muestras de chorizo parrillero.

Muestras	Grasa (%)	Valor límite		Referencia
		Min.	Máx.	
Inicial	14,88	—	30%	NB 310018*
1°C - 88%HR	13,99			
3°C - 90%HR	10,58			
4°C - 83%HR	10,92			
Donde: <i>Min= mínimo</i> <i>Máx. = máximo</i>				

Fuente: (CEANID, 2017); (NB 310018)*

En la figura 3 se muestra la variación del porcentaje de materia grasa en el chorizo parrillero en función del tiempo. La Norma Boliviana (NB 310018), indica un valor máximo de 30% en porcentaje de grasa, valor que se tomó como referencia para el límite de control superior (LCS) en el análisis.

Análisis microbiológicos

En la tabla 9 se muestran los resultados del análisis microbiológico del chorizo parrillero realizado al inicio y transcurrido 20 días de almacenamiento a condiciones distintas de temperatura y humedad relativa (1°C 88%HR, 3°C 90%HR y 4°C 83%HR).

Tabla 9.
Análisis microbiológico

Parámetros	Almacenamiento (20 días)			Valor límite	
	1°C	3°C 90%HR	4°C 83%HR	Mín.	Máx.
	88% HR				
Escherichia coli	9,0x10 ²			5,0x10 ²	1,0x10 ³
Mohos y levaduras	4,2x10 ²	6,3x10 ³	1,9x10 ⁵
Staphylococcus aureus	<10(*)			1,0x10 ³	1.0x10 ⁴
Aerobias mesófilas	5,1x10 ⁵			1,0x10 ⁶	1,0x10 ⁷

Fuente: (CEANID, 2017); (RIMH, 2017)

Se puede observar en la tabla 9 que los parámetros microbiológicos no arrojan resultados que estuvieran fuera de la Norma Boliviana (NB 310017), al inicio y transcurridos 20 días del almacenamiento. Sin embargo, el desarrollo de mohos y levaduras en el medio indican descomposición del producto lo cual está relacionado con la disminución del pH, que es característico de una carne en vía de putrefacción.

En la Figura 3 se muestra el análisis de mohos y levaduras, realizado en las tres muestras de chorizo parrillero según los resultados obtenidos en la tabla 7

Figura 3.
Análisis de mohos y levaduras

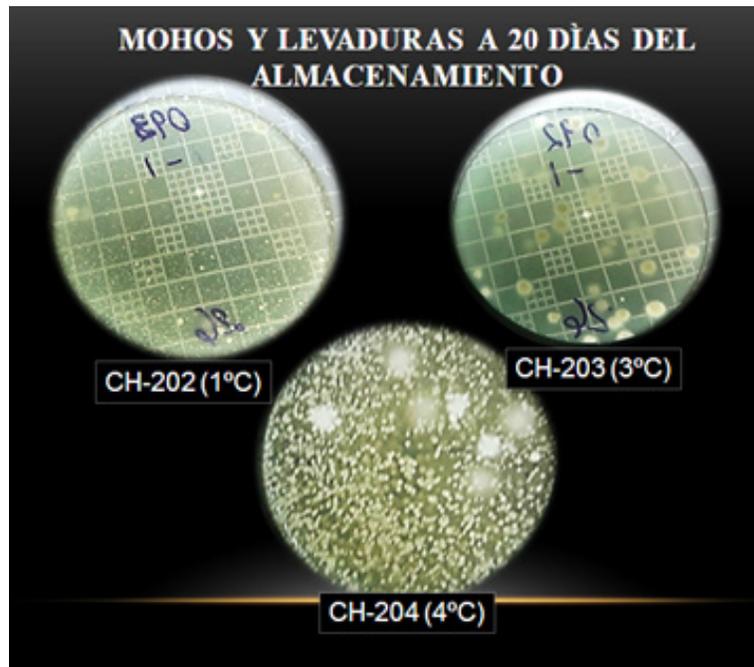
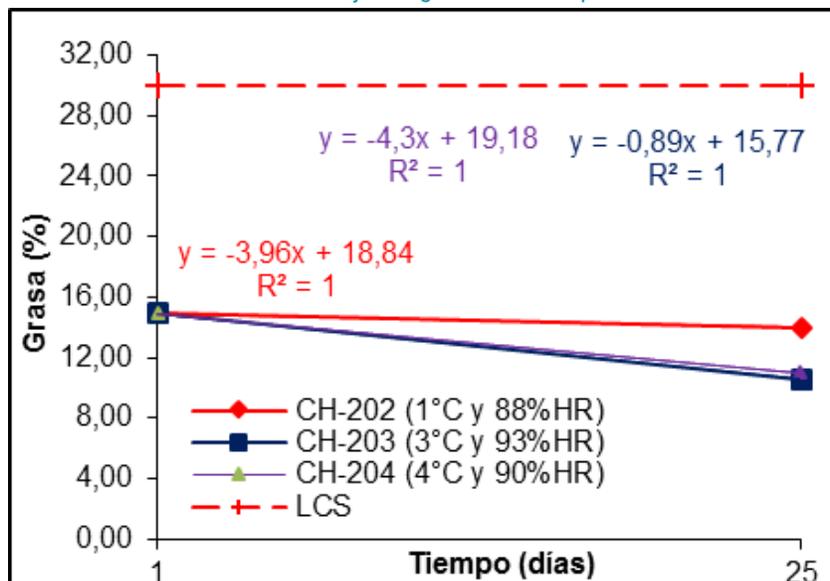


Figura 4.
Porcentaje de grasa vs tiempo



Como se puede observar en la Figura 4, el primer día de almacenamiento el chorizo parrillero; empieza con 14,88% en porcentaje de grasa; transcurrido 29 días de almacenamiento el porcentaje de grasa disminuye para las muestras CH-204, CH-203 y CH-202 con un valor de 9,67%; 10,58%; 10,92% y 13,99% respectivamente.

Análisis organolépticos

Se realizó la evaluación sensorial de los atributos color y olor en las muestras de chorizo parrillero crudo (Figura 5 y Figura 6) y atributo sabor en las muestras de chorizo parrillero cocido (Figura 7).

Figura 5.
Atributo color

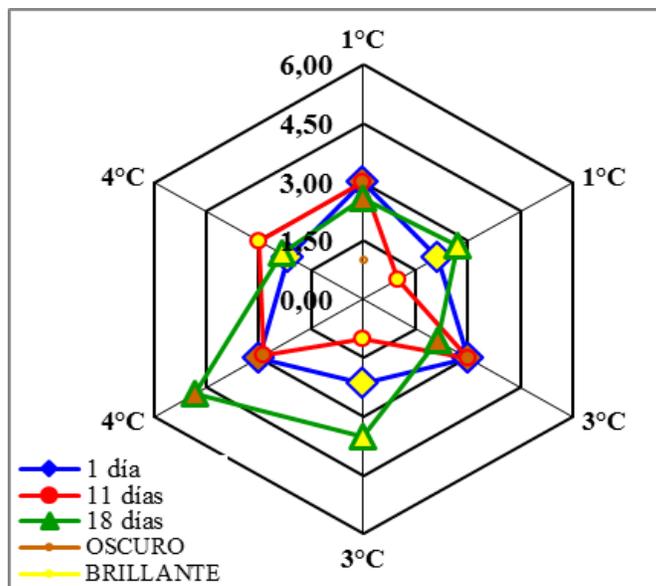
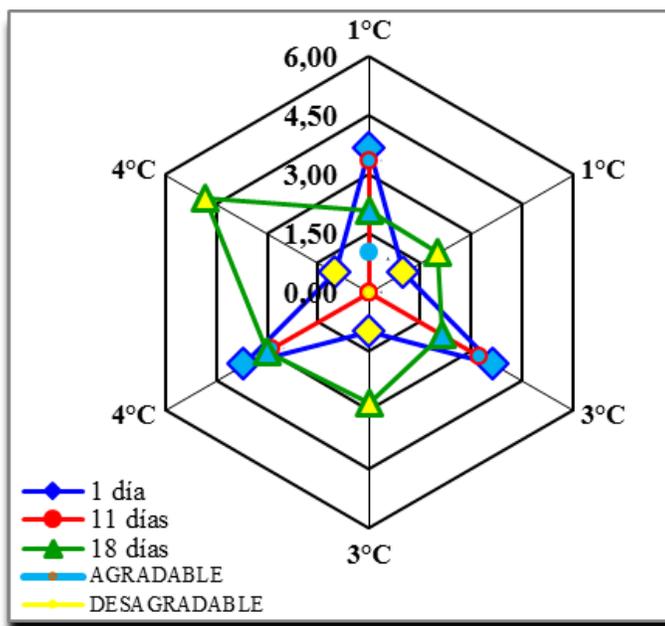


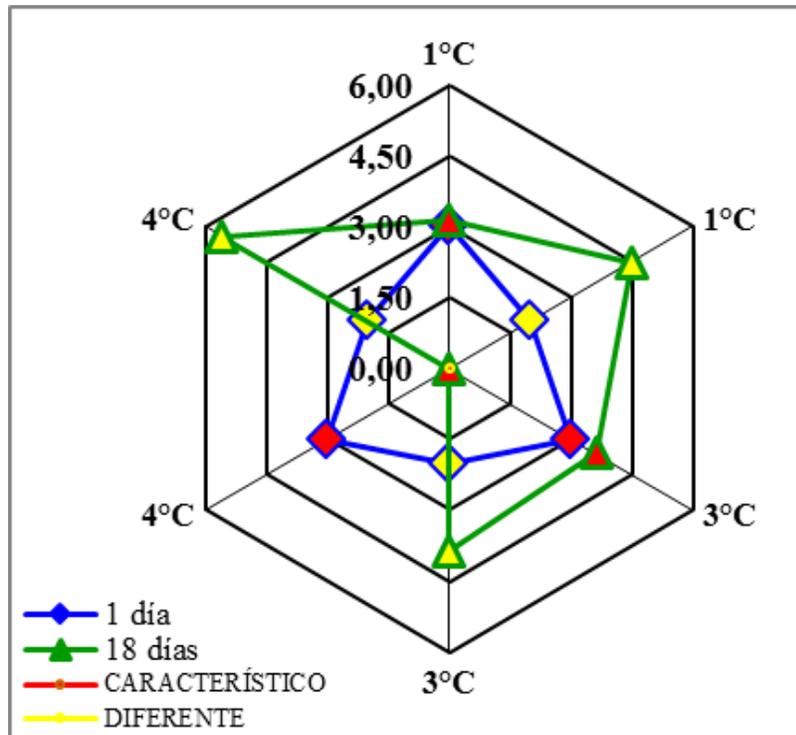
Figura 5 indica transcurrido 18 días la muestra almacenada a 4°C tiene un promedio de 4,82 en el atributo color (oscuro) y la muestra almacenada a 1°C y 3°C tienen un promedio de 2,71 y 3,50 en el atributo color (brillante).

Figura 6.
Atributo olor



La Figura 6 indica que a los 18 días del almacenamiento la muestra almacenada a 1°C tiene un puntaje de 2,07 en el atributo olor (agradable); sin embargo, las muestras almacenadas a 3°C y 4°C tienen un puntaje de 2,80 y 4,83 en atributo olor (desagradable) en escala hedónica.

Figura 7.
Atributo sabor



La Figura 7 indica que transcurrido 18 días del almacenamiento las tres muestras de chorizo parrillero tienen mayor puntaje en el atributo sabor (diferente) con un valor promedio de 3,85; 4,50 y 4,60 respectivamente.

Diseño experimental

En la Tabla 10 se muestran los resultados del análisis de varianza (Walpole et al., 2007) de la variable respuesta (acidez) durante el almacenamiento del chorizo parrillero.

Aplicado el diseño de bloques completamente al azar en el almacenamiento del chorizo parrillero y realizado el análisis de varianza en función a la variable acidez, se concluye que el factor lote (X) y el factor tiempo (Y) influyen en la variable respuesta (acidez); ya que existe diferencia significativa $F_{cal} > F_{tab}$ ($71,88 > 3,01$) y ($28,46 > 3,01$), para un nivel de significancia ($\alpha=0,05$). Para tal efecto se realiza la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) entre los lotes según indica la Tabla 11

Tabla 10.
Análisis de varianza de la etapa de almacenamiento
en función del contenido de acidez

Fuente de variación (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fcal	Ftab 95%
Total	0,8425	19			
Lotes (X)	0,5804	4	0,1451	71,88*	3,01
Tiempo (Y)	0,2298	4	0,0575	28,46	3,01
Error(E)	0,0323	16	0,002		

*Significativo

Tabla 11.
Prueba LSD para el factor acidez

Diferencia de bloques	Diferencia muestral	Decisión
$\mu_A - \mu_B$	0,0586 > 0,0283	Significativa
$\mu_A - \mu_C$	0,0821 > 0,0283	Significativa
$\mu_A - \mu_D$	[-0,0482] > 0,0283	Significativa
$\mu_A - \mu_E$	[-0,1878] > 0,0283	Significativa
$\mu_B - \mu_C$	0,0235 < 0,0283	No significativa
$\mu_B - \mu_D$	[-0,1068] > 0,0283	Significativa
$\mu_B - \mu_E$	[-0,2464] > 0,0283	Significativa
$\mu_C - \mu_D$	[-0,1303] > 0,0283	Significativa
$\mu_C - \mu_E$	[-0,2699] > 0,0283	Significativa
$\mu_D - \mu_E$	[-0,1396] > 0,0283	Significativa

Realizada la prueba de comparaciones entre lotes, se evidencia que no existe diferencia significativa entre los bloques B y C; sin embargo existe diferencia significativa para todas las demás combinaciones para un nivel de significancia ($\alpha=0,05$).

Prueba estadística de Friedman

Se realiza una prueba de hipótesis para análisis descriptivos (Ureña y col., 1999) no-paramétricos (Friedman), siendo la hipótesis a probar que existe diferencia en los atributos sensoriales de las muestras de chorizo parrillero almacenadas

a 1°C, 3°C y 4°C en un tiempo (t). En la Tabla 12, se muestra el análisis estadístico de la prueba de Friedman para los atributos color, olor y sabor del chorizo parrillero.

Tabla 12.
Prueba de Friedman aplicada en la evaluación sensorial

Atributos	F _{cal}			F _{tab}
	1°C	3°C	4°C	
Chorizo parrillero crudo				
Color	4,98	3,95	7,52	3,29
Olor	27,79	18,85	18,63	
Chorizo parrillero cocido				
Sabor	13,18	11,08	105,57	4,49

Como se observa en la Tabla 12 $F_{cal} > F_{tab}$ para el atributo color, olor y sabor de las tres muestras de chorizo parrillero con un nivel de significancia ($\alpha=0,05$), por lo tanto se acepta la hipótesis planteada de que existe diferencia significativa de los atributos sensoriales a medida que pasa el tiempo de almacenamiento

Prueba estadística X^2 (Chi-cuadrado)

Se aplica una prueba estadística (Tabla 13) X^2 (chi-cuadrado), para los atributos sensoriales de las muestras de chorizo parrillero a los 18 días de almacenamiento. Con el fin de establecer si existe diferencia entre el número de aceptación y rechazo para el atributo color (brillante y oscuro), atributo olor (agradable y desagradable), atributo sabor (característico y diferente).

Tabla 13.
Prueba X^2 aplicada en la evaluación sensorial

Atributos	X^2_{cal}	X_{tab}
	Chorizo parrillero crudo	
Color	7,13	7,81
Olor	2,13	
Chorizo parrillero cocido		
Sabor	4,77	7,81

El valor crítico de (chi-cuadrado) es $X^2_{0,05,3}=7,81$ siendo X^2_{cal} menor que X_{tab} por tanto se acepta la hipótesis planteada que dice que no hay diferencias entre el número aceptación y rechazo del atributo color (oscuro y brillante), atributo olor (agradable y desagradable), atributo sabor (característico y diferente) para un nivel de significancia ($\alpha=0,05$).

Cinética química de reacción y predicción de la vida útil del chorizo parrillero

El análisis de datos se realiza aplicando regresión lineal, aplicando software estadístico (Microsoft Excel 2010), para el cálculo de la ecuación de la recta y coeficiente de correlación "R"; hallando de esta manera los valores de las constantes de velocidad, y constantes de la ecuación de Arrhenius.

En la Figura 8 y Figura 9 se muestra la disminución del atributo de calidad en función del orden de reacción según datos obtenidos en la Tabla 1 y Tabla 2.

Figura 8.
Tiempo vs acidez (reacción de orden cero)

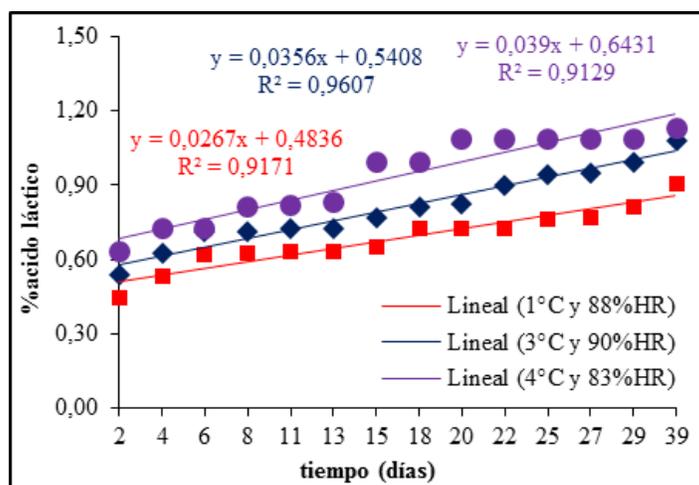
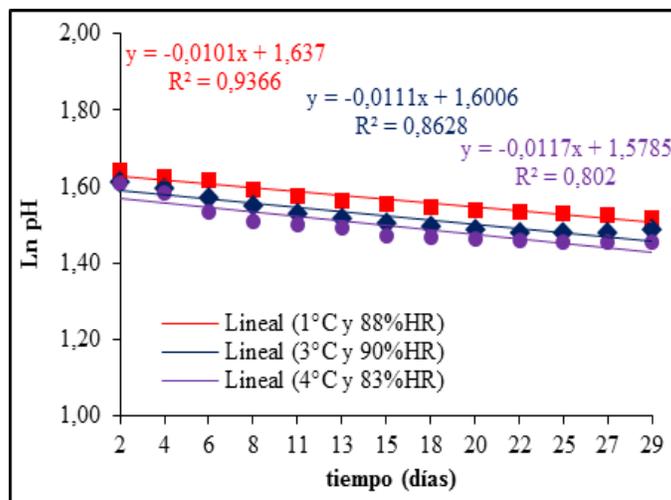


Figura 9.
Tiempo vs pH (reacción de orden uno)



A través de las ecuaciones lineales que se muestran en la Figura 8 y Figura 9 se determina el tiempo donde empieza el deterioro del chorizo parrillero utilizando las ecuaciones de reacción (Ec. 2 y Ec. 3). Para tal efecto se obtiene que el deterioro del producto almacenado a 1°C, 3°C y 4°C, en función del pH empieza a los 12 días, 11 días y 10 días del almacenamiento y en función a la acidez el deterioro empieza a los 13 días, 12 días y 11 días respectivamente.

Para encontrar los parámetros cinéticos (Salazar et al., 2007) del modelo matemático de Arrhenius (energía de activación y factor pre-exponencial) se construye la gráfica de la velocidad de reacción (k) en función de la inversa de la temperatura absoluta (1/T), para cada uno de los factores de calidad (pH y acidez), mediante la linealización logarítmica de la (Ec. 4)

:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{EA}{R} * \frac{1}{T} \rightarrow y = ax + b$$

En la Figura 10 y Figura 11, se representa la dispersión de los datos de velocidad de reacción del factor pH y factor acidez; en función de la temperatura absoluta (°K) y la línea de tendencia con su respectiva ecuación lineal.

Figura 10.
Velocidad de reacción en función de la temperatura (pH)

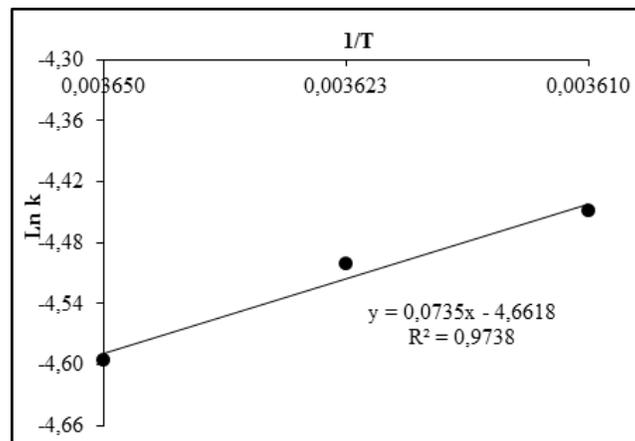
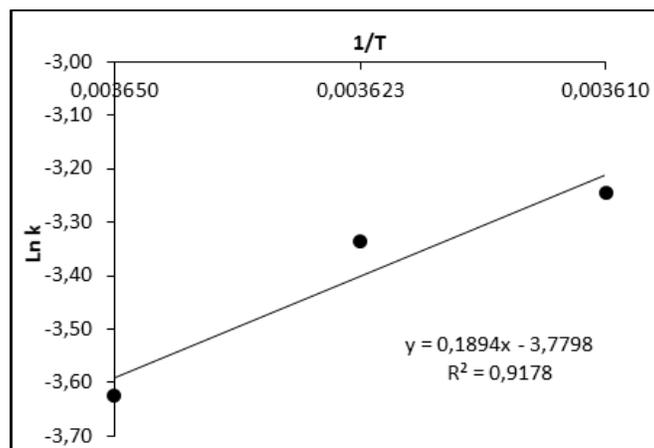


Figura 11.
Velocidad de reacción en función de la temperatura (acidez)



En base a la Figura 10 y Figura 11, y Ec. 4.1 se calcula los valores de la energía de activación E_A que es igual a la pendiente partido la constante de los gases (R), y factor pre-exponencial:

$$\text{Energía de activación (kJ.mol}^{-1}\text{)} \rightarrow a = \frac{E_A}{R} \rightarrow E_A = a * R$$

$$\text{Factor pre-exponencial (día}^{-1}\text{)} \rightarrow b = \ln k_0 \rightarrow k_0 = e^b$$

En la Tabla 14, se muestran los resultados de estos parámetros cinéticos; tanto para pH y acidez.

Tabla 14.
Energía de activación y factor pre-exponencial

Factor de calidad	Energía de activación	Factor pre-exponencial
	E_A (kJ.mol ⁻¹)	k_0 (día ⁻¹)
pH	0,7857	108,8205
Acidez	1,5747	43,8073

En la Tabla 14, se observa que la energía de activación para el factor pH es 0,7857 kJ/mol y factor acidez 1,5747 kJ/mol.

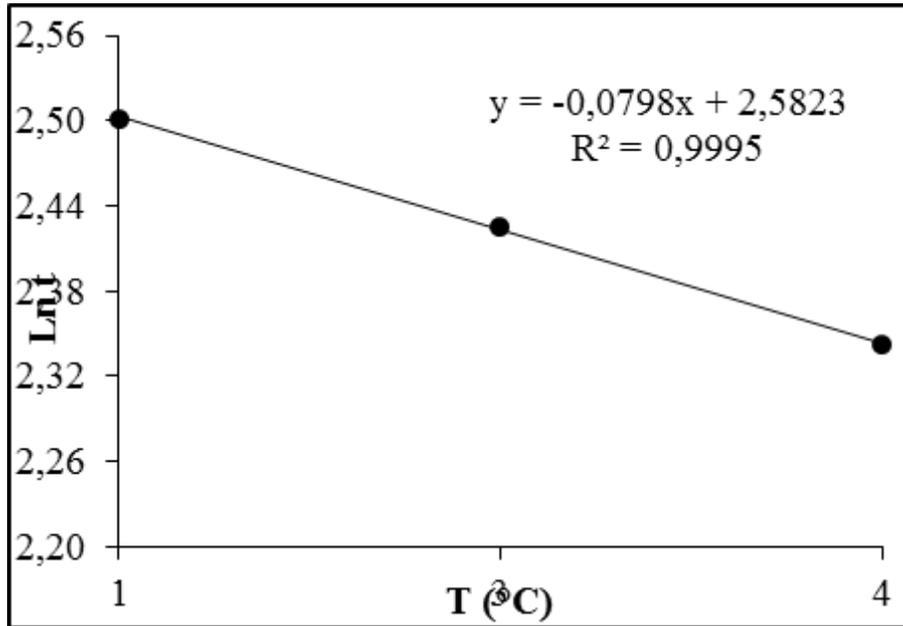
La vida anaquel para el chorizo parrillero del Laboratorio Taller de Alimentos determinada a través del modelo matemático de Arrhenius (Ec.4) en función del factor de calidad limitante "pH" es:

$$tp = \frac{t_u}{e^{\frac{EA}{R} \left(\frac{1}{T^{\circ}K} - \frac{1}{T_{ref}^{\circ}K} \right)}} = 11,55 \text{ días}$$

Se estima que el deterioro del chorizo parrillero en función al factor (pH) empieza aproximadamente a los 12 días, el cual se considera de mayor influencia en la vida útil del producto debido a que el deterioro en función a este parámetro empieza antes que en función del factor acidez.

Para describir la relación entre la temperatura y la velocidad de reacción se calcula el valor de Q_{10} . En la Figura 12 muestra la relación entre el tiempo de vida útil del chorizo parrillero y temperatura, para el factor pH.

Figura 12.
Tiempo de vida útil en función de la temperatura (pH)



Utilizando la (Ec. 5) se obtiene un valor Q_{10} para el factor pH de 2,22 lo que significa que la velocidad de la reacción de deterioro en función del pH se acelera 2 veces más por cada 10°C de temperatura que se aumente.

En base a los resultados obtenidos en la cinética de reacción y modelo matemático de Arrhenius, se establece un modelo matemático a partir de la velocidad de reacción y temperatura, que relaciona la vida útil del chorizo parrillero en función del pH para cualquier temperatura de almacenamiento:

$$\frac{dpH}{dt} = (0,0008T + 0,0094) * pH^n$$

De acuerdo a la ecuación obtenida, se considera que el cambio de calidad en el chorizo parrillero es función del pH y temperatura de almacenamiento, ya que, a

partir de un valor inicial de pH, y temperatura a la cual se encuentre almacenado el producto se puede predecir el tiempo en el que ocurre el deterioro del mismo.

DISCUSIÓN

Realizado el análisis fisicoquímico del chorizo parrillero al comienzo del almacenamiento tiene un porcentaje de acidez 0,60%; pH 5,16 y rancidez negativo y al final del almacenamiento tiene: acidez 0,90%; pH 4,56 y rancidez negativo, La disminución del pH en las muestras de chorizo parrillero, debido a la degradación del glucógeno en ácido láctico, lo que produce una disminución del pH en el producto y aumento de acidez a medida que pasa el tiempo de almacenamiento causando de esta manera características diferentes en el producto.

Realizado el análisis microbiológico del chorizo parrillero, al comienzo del almacenamiento tiene: bacterias aerobias mesófilas $8,1 \times 10^2$ UFC/g y escherichia coli < 10 UFC/g

y al final del almacenamiento tiene: bacterias aerobias mesófilas $5,1 \times 10^5$ UFC/g, escherichia coli $9,0 \times 10^2$ UFC/g mohos y

Utilizando la (Ec. 5) se obtiene un valor Q_{10} para el factor pH de 2,22 lo que significa que la velocidad de la reacción de deterioro en función del pH se acelera 2 veces más por cada 10°C de temperatura que se aumente.

En base a los resultados obtenidos en la cinética de reacción y modelo matemático de Arrhenius, se establece un modelo matemático a partir de la velocidad de reacción y temperatura, que relaciona la vida útil del chorizo parrillero en función del pH para cualquier temperatura de almacenamiento:

$$\frac{dpH}{dt} = (0,0008T + 0,0094) * pH^n$$

De acuerdo a la ecuación obtenida, se considera que el cambio de calidad en el chorizo parrillero es función del pH y temperatura de almacenamiento, ya que, a partir de un valor inicial de pH, y temperatura a la cual se encuentre almacenado el producto se puede predecir el tiempo en el que ocurre el deterioro del mismo.

DISCUSIÓN

Realizado el análisis fisicoquímico del chorizo parrillero al comienzo del almacenamiento tiene un porcentaje de acidez 0,60%; pH 5,16 y rancidez negativo y al final del almacenamiento tiene: acidez 0,90%; pH 4,56 y rancidez negativo, La disminución del pH en las muestras de chorizo parrillero, debido a la degradación del glucógeno en ácido láctico, lo que produce una disminución del pH en el producto y aumento de acidez a medida que pasa el tiempo de almacenamiento causando de esta manera características diferentes en el producto.

Realizado el análisis microbiológico del chorizo parrillero, al comienzo del almacenamiento tiene: bacterias aerobias mesófilas $8,1 \times 10^2$ UFC/g y escherichia coli < 10 UFC/g y al final del almacenamiento tiene: bacterias aerobias mesófilas $5,1 \times 10^5$ UFC/g, escherichia coli $9,0 \times 10^2$ UFC/g mohos y levaduras $4,2 \times 10^2$ UFC/g y Staphylococcus aureus < 10 UFC/g. sin embargo el desarrollo de levaduras en el medio indican descomposición del producto lo cual está relacionado con la disminución del pH, que es característico de una carne en vía de putrefacción.

Realizada la evaluación sensorial en el chorizo parrillero al comienzo del almacenamiento tiene un color moderadamente oscuro, olor agradable, sabor característico y al final del almacenamiento tiene un color moderadamente brillante, olor bastante desagradable, sabor bastante diferente, lo que evidencia un cambio de las características organolépticas del producto a medida que pasa el tiempo de almacenamiento siendo desfavorable para los consumidores.

Realizado el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) aplicado en la etapa de almacenamiento del chorizo parrillero, se concluye que el factor lote (X) y el factor tiempo (Y) influyen en la variable respuesta (acidez) ya que existe diferencia significativa ($F_{cal} > F_{tab}$), sin embargo realizada la prueba de comparaciones entre bloques, no existe diferencia significativa entre los bloques B y C para un nivel de significancia ($\alpha=0,05$). Por tanto, el lote B y C son los más eficientes durante el almacenamiento en términos de acidez, ya que la descomposición en función de este parámetro es menor en comparación a los lotes A, D y E.

Realizado el análisis estadístico de la prueba de Friedman, se evidencia de que los atributos sensoriales color, olor, y sabor en las muestras de chorizo parrillero

CH-202, CH-203 y CH-204 almacenadas a 1°C, 3°C y 4°C respectivamente, cambian a medida que pasa el tiempo, es decir si hay diferencia de los atributos sensoriales evaluados en el día uno, a los 11 días y 18 días del almacenamiento. De esta manera se puede evidenciar estadísticamente que las propiedades organolépticas del chorizo parrillero cambian a medida que pasa el tiempo de almacenamiento.

La vida útil del chorizo parrillero determinado a través de la cinética de reacción y modelo matemático de Arrhenius en función del factor de calidad limitante (pH) es aproximadamente de 12 días almacenado a (1°C y 88% HR), es decir las propiedades del producto en este tiempo empiezan a cambiar; se manifiesta el desarrollo de mohos y levaduras, cambio en las propiedades organolépticas olor y sabor por ende disminución de la calidad nutricional.

BILIOGRAFÍA

- Anderson, Pascual, María del Rosario. (1998). Microbiología Alimentaria. Díaz de Santos, S.A.
- Casp, Vanaclocha, Ana y Abril, Requeña, José (2003). Procesos de conservación de Alimentos. Segunda edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid-España.
- CEANID (2017). Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo. Facultad de Ciencias y Tecnología. Zona El Tejar. Campus Universitario. Tarija-Bolivia.
- Gastelum, Ricardo, Olivas; Moorillón, Nevárez, Guadalupe, Virginia; Franco, Gastélum, María, Guadalupe (2009). Las pruebas de diferencia en el análisis sensorial de los alimentos. Disponible en: <http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v3n1/data/AnalisisSensorialdeAlimentos.pdf>.
- IBNORCA, (2016). Catálogo de normas bolivianas. Disponible en <http://www.ibnorca.org/images/archivos/IBNORCACATALOGODENORMAS2016Noviem>bre.pdf. Kirk, Ronald, S.; Sawyer, Ronal; Egan, Harnold. (1196). Composición y Análisis de Alimentos de Pearson. México: Compañía editorial continental, S.A.
- Labuza, Theodore, P. (1999). Procesos de Conservación de Alimentos (2a edición). Libro: Casp, A y Abril, J. (2003). Madrid, España.
- Man, Dominic (2002). Caducidad de los Alimentos. Zaragoza, España: ACRIBIA, S.A.
- Piagentini, A., M.; Pirovani, M., E.; Gumes, D., R. (2004). Ciencia y Tecnología Alimentaria "cinética de deterioro de la calidad de repollo fresco cortado". Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/3Cinetdegradrepollo_14219.pdf
- Potter, Norman, N. y Hotchkiss, Joseph, H. (1999). Ciencia de los Alimentos. Zaragoza, España: ACRIBIA, S.A.
- Ramírez, R. Erick (2012). Diseño experimental completamente al azar. Asignatura Metodología de la Investigación. Editorial Carrera de Ingeniería de Alimentos-UAJMS. Tarija-Bolivia.
- RIMH (2017). Laboratorio de Análisis y Aguas de Richard Iván Medina Hoyos. Tarija-Bolivia.
- Salazar de Marcano, Edith; Belen, Douglas; Marin, Gladysel; Moreno, Herolys (2007). Cinética de deterioro del aceite de la semilla de la palma Coroba. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/4277/427739433008.pdf>.
- Ureña, Peralta, Milber, O.; Huapaya D Arrigo, Matilde (1999). Evaluación sensorial de los Alimentos "primera edición". Lima, Perú: Agraria.
- Walpole, Ronal, E.; Myers, Raymond, H.; Ye, Kying (2007). Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias "Octava edición". Pearson Educación de México, S.A.