

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



USO DEL ÁCIDO SÓRBICO ENCAPSULADO PARA EL AUMENTO DE VIDA DE ANAQUEL Y REDUCCIÓN DE COSTOS EN LA ELABORACIÓN DE PAN DE CAJA QUE ES DISTRIBUIDO

Trabajo de graduación presentado por Andrea Boza Aráuz para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos

**Guatemala,
2014**

USO DEL ÁCIDO SÓRBICO ENCAPSULADO PARA EL
AUMENTO DE VIDA DE ANAQUEL Y REDUCCIÓN DE
COSTOS EN LA ELABORACIÓN DE PAN DE CAJA QUE
ES DISTRIBUIDO

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



USO DEL ÁCIDO SÓRBICO ENCAPSULADO PARA EL AUMENTO DE VIDA DE ANAQUEL Y REDUCCIÓN DE COSTOS EN LA ELABORACIÓN DE PAN DE CAJA QUE ES DISTRIBUIDO

Trabajo de graduación presentado por Andrea Boza Aráuz para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos

**Guatemala,
2014**

Vo. Bo.

(f) 
Ing. Valesca Faillace

Tribunal

(f) 
Ing. Valesca Faillace

(f) 
Licda. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(f) 
Licda. Patricia Palacios de Palomo

Fecha de aprobación: Guatemala, 2 de Diciembre 2014

TABLA DE CONTENIDO

Lista de tablas	VIII
Lista de gráficas	X
Lista de imágenes	XI
Resumen	XII
I. Introducción	1
II. Antecedentes	3
A. Prevención de mohos	3
B. Aspectos microbiológicos	5
C. Regulaciones	6
D. Análisis sensorial	7
III. Marco teórico	8
A. Generalidades del pan	8
B. Pan de caja	9
1. Definición y denominación del producto	9
2. Clasificación	9
3. Especificaciones	9
C. Tipos y funcionalidad de los ingredientes	11
D. Proceso de la elaboración del pan de caja	14
1. Formulación del pan de caja	17
E. Tipos de hornos	17
F. Deterioro microbiano del pan	18
1. Deterioro por mohos	19
2. Deterioro por bacterias y levaduras	19
G. Métodos para la prevención del crecimiento microbiano en pan	21
H. Aditivos	21
1. Propionato de calcio	22
2. Ácido sórbico	23
I. Aspectos microbiológicos	24
J. Tecnología de encapsulación en alimentos	25
1. Técnicas de encapsulación	25
2. Métodos de liberación	27
K. Aspectos legales en Guatemala	27
IV. Justificación	28
V. Objetivos	30
A. Objetivo general	30
B. Objetivos específicos	30
VI. Metodología	31
VII. Resultados	37

A. Vida de anaquel	37
B. Microbiología.....	48
C. Costos.....	52
VIII. Discusión	57
A. Vida de anaquel	57
B. Microbiología.....	59
C. Costos.....	60
IX. Conclusiones	62
X. Recomendaciones	63
XI. Referencias bibliográficas.....	64
XII. Apéndice	66
Anexo 1: Tablas de los porcentajes panaderos usados para la elaboración del pan	66
Anexo 2: Imágenes de la elaboración del pan.....	68
Anexo 3: Imágenes comparativas de la muestra control con la muestra en un 20% reducida de levadura y al 0.10% de ácido sórbico encapsulado.....	70
Anexo 4: Imágenes de la siembra en las cajas Petri con agar DRBC.....	72
Anexo 5: Tabla que realiza un detalle de las 48 muestras que se realizaron	73
Anexo 6: Imágenes de las 48 muestras sembradas.....	76
Anexo 7: Análisis de error de los resultados obtenidos.....	88
Anexo 8: Resultados estadísticos con ANOVA en Excel	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – Resultados de análisis microbiológico en pan de molde, reportado en UFC/g	5
Tabla 2 – Resultados de análisis microbiológico de tres tratamientos de marquesotes (pan de caja).....	6
Tabla 3 – Especificaciones mínimas y máximas de pan de caja	11
Tabla 4 – Aspectos microbiológicos para el pan blanco de caja.....	11
Tabla 5 – Porcentaje panadero para elaborar pan de caja	17
Tabla 6 – Espectro de acción efectiva de los agentes antimicrobianos usados en panadería	24
Tabla 7 – Ingredientes y porcentaje panadero para la elaboración de pan de caja en base a 1 kg de pan	32
Tabla 8 – Matriz de porcentaje utilizado para cada antimoho, producto total	34
Tabla 9 – Matriz de porcentaje de ácido sórbico encapsulado utilizado para definir el porcentaje óptimo de reducción de levadura.....	34
Tabla 10 – Vida de anaquel promedio de cada muestra.....	37
Tabla 11 – Resultado estadístico de la vida promedio de las muestras según el antifúngico utilizado a diferentes porcentajes	38
Tabla 12 – Diferencia promedio de vida de anaquel con respecto al control y porcentaje de aumento de vida de anaquel de cada muestra	39
Tabla 13 – Resultado estadístico del porcentaje de vida de anaquel de las muestras según el antifúngico utilizado a diferentes porcentajes	39
Tabla 14 – Comparación de resultado microbiológico de las muestras con propionato de calcio a 0.075 y 0.10% entre el día que se elaboró el pan y el día que se evidenció presencia de moho.....	48
Tabla 15 – Comparación de resultado microbiológico de las muestras con ácido sórbico a 0.075 y 0.10% entre el día que se elaboró el pan y el día que se evidenció presencia de moho.....	49
Tabla 16 – Comparación de resultado microbiológico de las muestras con ácido sórbico encapsulado a 0.075 y 0.10% entre el día que se elaboró el pan y el día que se evidenció presencia de moho.....	49
Tabla 17 – Comparación de resultado microbiológico de las muestras reducidas al 10, 15 y 20% con ácido sórbico encapsulado a 0.075% entre el día que se elaboró el pan y el día que se evidenció presencia de moho	50
Tabla 18 – Comparación de resultado microbiológico de las muestras reducidas al 10, 15 y 20% con ácido sórbico encapsulado a 0.10% entre el día que se elaboró el pan y el día que se evidenció presencia de moho	50
Tabla 19 – Costo detallado de la formulación con propionato de calcio a 0.075 y 0.10%	53
Tabla 20 – Costo detallado de la formulación con ácido sórbico a 0.075 y 0.10%	53
Tabla 21 – Costo detallado de la formulación con ácido sórbico encapsulado a 0.075 y 0.10%	53
Tabla 22 – Costo detallado de la formulación con una reducción del 10% de levadura y una adición de 0.075 y 0.10%	54
Tabla 23 – Costo detallado de la formulación con una reducción del 20% de levadura y una adición de 0.075 y 0.10%	54

Tabla 24 – Costos de las formulaciones a 0.075 y 0.10% proporcionados en Quetzales	54
Tabla 25 – Resultado estadístico del porcentaje de vida de anaquel de las muestras según el tipo de antifúngico utilizado a diferentes porcentajes	55
Tabla 26 – Porcentaje panadero usado para la elaboración del pan al 0.075% de adición del antimicrobiano con base a 260 gramos de harina	66
Tabla 27 – Porcentaje panadero usado para la elaboración del pan al 0.10% de adición del antimicrobiano con base a 260 gramos de harina	66
Tabla 28 – Porcentaje panadero usado para la elaboración del pan con una reducción del 10% y una adición al 0.075% del antimicrobiano con base a 260 gramos de harina	67
Tabla 29 – Porcentaje panadero usado para la elaboración del pan con una reducción del 10% y una adición al 0.10% del antimicrobiano con base a 260 gramos de harina	67
Tabla 30 – Porcentaje panadero usado para la elaboración del pan con una reducción del 20% y una adición al 0.075% del antimicrobiano con base a 260 gramos de harina	67
Tabla 31 – Porcentaje panadero usado para la elaboración del pan con una reducción del 20% y una adición al 0.10% del antimicrobiano con base a 260 gramos de harina	68
Tabla 32 – Detalle de las 48 muestras, fecha de realización, fecha de presencia de moho, día en que apareció primera presencia de mohos	73
Tabla 33 – Continuación de tabla 32 que detalla la fecha de la realización, fecha de presencia de moho y día en que apareció primera presencia de mohos de las muestras de la 20 a la 37	74
Tabla 34 – Continuación de tabla 32 y 33 que detalla la fecha de la realización, fecha de presencia de moho y día en que apareció primera presencia de mohos de las muestras de la 38 a la 48	75
Tabla 35 – Análisis de error de la diferencia de los días promedio de la vida de anaquel comparado con el control	88
Tabla 36 – Análisis de error del porcentaje de aumento de la vida de anaquel calculado en días	88
Tabla 37 – Análisis de error de la vida de anaquel promedio calculada en días	88
Tabla 38 – Análisis de error de los costos de las cinco variables estando a 0.075%	89
Tabla 39 – Análisis de error de los costos de las cinco variables estando a 0.10%	89
Tabla 40 – Resultado estadístico de la vida promedio de las muestras según los antifúngicos utilizados a diferentes porcentajes	89
Tabla 41 – Resultado estadístico de la vida promedio de las muestras según los antifúngicos utilizados a diferentes porcentajes y el valor de P	89
Tabla 42 – Resultado estadístico del porcentaje de vida de anaquel de las muestras según los antifúngicos utilizados a diferentes porcentajes.....	90
Tabla 43 – Resultado estadístico del porcentaje de vida de anaquel de las muestras según los antifúngicos utilizados a diferentes porcentajes y el valor de P.....	90
Tabla 44 – Resultado estadístico de los costos obtenidos	90
Tabla 45 – Resultado estadístico de los costos obtenidos y el valor de P.....	90

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 – Comparación de vida de anaquel de pan con propionato de calcio, ácido sórbico y ácido sórbico encapsulado al 0.075%.....	40
Gráfica 2 – Comparación de vida de anaquel de pan con propionato de calcio, ácido sórbico y ácido sórbico encapsulado al 0.10%.....	41
Gráfica 3 – Comparación de vida de anaquel de pan con propionato de calcio al 0.075% y 0.10% y sus controles	42
Gráfica 4 – Comparación de vida de anaquel de pan con ácido sórbico al 0.075% y 0.10% y sus controles	42
Gráfica 5 – Comparación de vida de anaquel de pan con ácido sórbico encapsulado al 0.075% y 0.10% y sus controles	43
Gráfica 6 – Comparación de vida de anaquel del pan con un 10% menos de levadura a 0.075% y 0.10%	44
Gráfica 7 – Comparación de vida de anaquel del pan con un 20% menos de levadura a 0.075% y 0.10% de ácido sórbico encapsulado.....	44
Gráfica 8 – Comparación de vida de anaquel del pan con un 10 y 20% menos de levadura a 0.075% de ácido sórbico encapsulado.....	45
Gráfica 9 – Comparación de vida de anaquel del pan con un 10 y 20% menos de levadura a 0.10% de ácido sórbico encapsulado.....	46
Gráfica 10 – Comparación de porcentaje de aumento de vida de anaquel con los 5 parámetros al 0.075%.....	47
Gráfica 11 – Comparación de porcentaje de aumento de vida de anaquel con los 5 parámetros al 0.10%.....	47
Gráfica 12 – Comparación de los costos de las formulaciones con propionato de calcio, ácido sórbico, ácido sórbico encapsulado, 10 y 20% de reducción de levadura a 0.075 y 0.10%.....	55

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1 – Moho del género <i>Penicillium</i> en muestra de pan	51
Imagen 2 – Moho del género <i>Penicillium</i> , en caja petri con agar DRBC	51
Imagen 3 – Presencia de <i>Rhizopus</i> en la muestra número 11 del pan.....	51
Imagen 4 – Caja petri con agar DRBC con presencia de <i>Rhizopus</i>	51
Imagen 5 – Presencia de <i>Aspergillus</i> en muestra de pan.....	52
Imagen 6 – Corroboración de crecimiento del moho del género <i>Aspergillus</i>	52
Imagen 7 – Crecimiento del pan durante primera fermentación	68
Imagen 8 – Crecimiento del pan durante segunda fermentación ya en los moldes.....	69
Imagen 9 – Crecimiento del pan después del horneado.....	69
Imagen 10 – Crecimiento de la levadura en solución de agua con azúcar.....	70
Imagen 11 – Comparación de crecimiento a lo largo de la muestra con una reducción del 20% al 0.10% de ácido sórbico, con su control	70
Imagen 12 – Comparación de crecimiento a lo alto de la muestra con una reducción del 20% al 0.10% de ácido sórbico, con su control	71
Imagen 13 – Comparación de crecimiento a lo alto de la muestra en rodaja con una reducción del 20% al 0.10% de ácido sórbico, con su control	71
Imagen 14 – Procedimiento para sembrar muestra	72
Imagen 15 – Muestras de la 1 a la 3	76
Imagen 16 – Muestras de la 4 a la 7	77
Imagen 17 – Muestras de la 8 a la 11	78
Imagen 18 – Muestras de la 12 a la 15	79
Imagen 19 – Muestras de la 16 a la 19	80
Imagen 20 – Muestras de la 20 a la 23	81
Imagen 21 – Muestras de la 24 a la 27	82
Imagen 22 – Muestras de la 28 a la 31	83
Imagen 23 – Muestras de la 32 a la 35	84
Imagen 24 – Muestras de la 36 a la 39	85
Imagen 25 – Muestras de la 40 a la 43	86
Imagen 26 – Muestras de la 44 a la 47	87
Imagen 27 – Muestra 48	88

RESUMEN

El objetivo principal del estudio fue determinar si el uso del ácido sórbico encapsulado permitía aumentar la vida de anaquel y reducir los costos, comparado con el uso de otros antifúngicos en pan de caja que será distribuido. Entre los objetivos específicos se esperaba determinar cuántos días se aumentaba la vida de anaquel utilizando ácido sórbico encapsulado en diferentes proporciones con respecto al pan control que no tenía ningún antifúngico adicionado. Asimismo evaluar si el ácido sórbico encapsulado aumentaba la vida de anaquel de un pan de caja en comparación con el uso de otros antifúngicos con respecto al pan control que no contenía ningún agente antimicrobiano. También determinar en qué porcentaje era posible reducir la levadura al utilizar ácido sórbico encapsulado con respecto al uso del ácido sórbico sin encapsular. Por último se buscaba determinar si la adición de ácido sórbico encapsulado permitía reducir los costos de un pan de caja en comparación con los costos de un pan de caja elaborado con cualquier otro antifúngico.

Para cumplir estos objetivos, se trabajó con 12 formulaciones diferentes, en las cuales se adicionó propionato de calcio, ácido sórbico y ácido sórbico encapsulado a 0.075 y 0.10%. Asimismo se trabajó con una reducción del 10, 15 y 20% de la levadura y una adición del ácido sórbico encapsulado a 0.075 y 0.10%. Sin embargo, debido a que los resultados de las formulaciones con una reducción del 15% a 0.075 y 0.10% de adición de ácido sórbico encapsulado fueron incongruentes, se decidió ahislarlos del estudio para no afectar el mismo y de esta manera tener resultados más acertados. Las formulaciones reducidas al 10 y 20% con 0.075 y 0.10% de ácido sórbico encapsulado se hicieron con un porcentaje doble del agente antimicrobiano. Esto se debe a que el antifúngico utilizado está compuesto por 50% de ácido sórbico y 50% de estearina de palma. Consecuentemente la formulación final quedó con 0.15% (0.075% x 2) y 0.20% (0.10% x 2). Para términos prácticos del estudio, los resultados fueron expresados en 0.075 y 0.10% para que la comparación fuera más clara.

El estudio se dividió en tres etapas, siendo la primera la evaluación de la vida de anaquel, la segunda fue en el área de microbiología y por último se realizó una comparación de costos de todas las formulaciones para determinar con cuál antifúngico se lograba disminuir el precio del pan.

Se logró concluir que el uso del ácido sórbico encapsulado permite aumentar la vida de anaquel y reducir los costos, comparado con el uso de otros antifúngicos en pan de caja que será distribuido. Asimismo que al utilizar ácido sórbico encapsulado con una adición de 0.075%, con respecto al pan control que no tiene ningún antifúngico adicionado, aumenta más su vida de anaquel al estar reducido en un 10% con 7.5 días, equivalente a 88% de aumento de vida de anaquel. Cuando está reducida en un 20% aumenta 6.5 días, equivalente a 87% de aumento. También que al utilizar el ácido sórbico encapsulado adicionado en un 0.10% con una reducción del 10% de levadura, el pan logra aumentar su vida de anaquel 9 días equivalente a 113% de aumento de vida de anaquel, con respecto al pan control que no tiene ningún antifúngico adicionado. Cuando se ha reducido la levadura en un 20% aumenta 8 días equivalente

a 100% de aumento. Al igual que es posible reducir la levadura en un 20% cuando se utiliza ácido sórbico encapsulado con respecto al uso del ácido sórbico sin encapsular. Por último que al adicionar ácido sórbico encapsulado, se logra reducir en un 2.53% los costos de un pan de caja en comparación con los costos de un pan de caja elaborado con ácido sórbico sin encapsular, (el antifúngico más caro) con una adición de 0.075% y se reduce en un 2.60% al haber sido adicionado a 0.10% el agente antimicrobiano.

Dado las diferentes variables en los porcentajes de reducción de levadura, se recomienda profundizar más el estudio abriendo más los porcentajes de la reducción de la levadura para determinar el impacto de la vida de anaquel. Asimismo para el estudio sugerido se recomienda utilizar petrifilm para diferenciar mejor los mohos y levaduras debido a la coloración que se obtiene. Por último se puede complementar este estudio profundizando en la combinación de ácido sórbico encapsulado, reducción de levadura y empaques avanzados que permitan aumentar la vida de anaquel aun más para el beneficio de las industrias.

I. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país, cuya población ha ido incrementando con los últimos años. Según los datos del INE (Instituto Nacional de Estadística Guatemala), la población era de 2, 968, 976 habitantes en 1950, 50 años más tarde incrementó a 12, 221, 796 habitantes. Hoy en día Guatemala cuenta con 15, 08 millones de habitantes. Este crecimiento exponencial ha obligado a la población guatemalteca a que su distribución por todo el país sea más dispersa. Consecuentemente la cadena de abastecimiento se ha convertido más compleja a comparación de años anteriores. (INE, 2014)

Aparte de la tortilla, el pan es uno de los productos de mayor consumo en el país. Según el INE muchas familias guatemaltecas compran pan a diario, otras lo hacen 3 ó 4 veces por semana. Dicho consumo puede llegar a ser hasta de 9 unidades de pan blanco durante todo un día. Este consumo es por familia, la cual se ha considerado que está conformada por aproximadamente 5.4 miembros. (INE, 2014)

Debido a estos datos y la problemática de la dispersión guatemalteca, se ha generado la necesidad de llevar productos a diferentes puntos de venta en todo el país, desde supermercados hasta tiendas de barrio. La industria de alimentos se ha visto obligada por optar por nuevas alternativas. Las mismas deben aumentar la vida de anaquel del producto sin que sus características organolépticas se vean afectadas.

El presente trabajo es un estudio realizado desde febrero hasta octubre del presente año. El mismo se basa en determinar si el uso del ácido sórbico encapsulado permite aumentar la vida de anaquel y reducir los costos, comparado con el uso de otros antifúngicos en pan de caja que será distribuido.

Dicho trabajo está conformado por diferentes secciones, en las que el lector podrá enriquecerse. En la sección de antecedentes se encuentran resultados obtenidos de otros estudios llevados a cabo, que corroboran la vida de anaquel y el análisis microbiológico sobre las muestras que se realizaron. Por otro lado, el marco teórico se basa en establecer toda la teoría relacionada con las generalidades del pan de caja, como la definición y denominación del producto. Asimismo se encuentran los tipos y la funcionalidad de los ingredientes que conforman este producto y el proceso de la elaboración. En la misma sección se encuentra teoría sobre el deterioro microbiano del pan, siendo el mismo debido a mohos o por bacterias y levaduras, y cuáles son los métodos para la prevención del crecimiento microbiano en el pan. Uno de los métodos es por el uso de aditivos, por lo que se encuentra teoría sobre la acción, límites y efectos adversos y aspectos legales en Guatemala sobre el uso del ácido sórbico y el propionato de calcio, antimicrobianos que se usaron en el área práctica.

La justificación explica por qué fue tan importante llevar a cabo este estudio. Se encuentran datos estadísticos que respaldan la importancia del estudio. Los objetivos que se encuentran posteriormente son específicos, medibles, analíticos, realistas y especifican cuándo se puede lograr el resultado. La metodología se divide en etapas,

las cuales resumen qué materiales y metodología fue la implementada para llevar a cabo el estudio.

Seguido a ello se encuentra la sección de resultados, dividida en el área de vida de anaquel, microbiología y costos. Se encuentran tablas y gráficas que le permiten al lector comparar de una mejor manera, los resultados obtenidos. Asimismo, cada tabla y gráfica poseen una breve explicación por parte del autor para ayudar al lector a comprender de una mejor manera el resultado obtenido. La discusión es la explicación analítica de los resultados, permitiéndole al lector tener una mejor idea sobre lo sucedido. De acuerdo a los objetivos, se realizan las conclusiones, para determinar si estos se cumplieron o no. Si en todo caso hubo algunos problemas durante el proceso de la investigación y el área práctica, el autor recomienda lo que se puede mejorar para futuros estudios.

En la sección de las referencias bibliográficas se encuentran todas las fuentes de literatura que ayudaron durante la elaboración de la investigación. En el apéndice, el lector encontrará fotos de las cajas Petri en agar DRBC, de las muestras que se sembraron del pan que se hizo ese mismo día, y con la primera presencia de moho. Asimismo encontrará una tabla indicando el número de muestra, con el porcentaje de adición del antifúngico, tanto la fecha de realización como la de la primera presencia de moho, y el día en que le apareció moho. También se encuentra una tabla con el porcentaje panadero y con base a cuánta harina se basó el autor para hacer el pan.

II. ANTECEDENTES

A. PREVENCIÓN DE MOHOS

Los productos de panadería, tales como los panes, bollos, bizcochos entre otros, están libres de mohos justo después de ser horneados. Estos mohos están en forma vegetativa como en esporas.

Sin embargo, inmediatamente después de salir del horno, dichos productos de panadería tienen las características primordiales para ser un medio de cultivo óptimo para que las esporas, encontradas en el aire, sean depositadas en los mismos. Dicha contaminación se predispone más en la primavera y a principios de verano, en lugares donde la concentración de polvo o de harina es muy elevada. Si el medio es el adecuado para que se lleve a cabo la germinación de una spora o la formación de una colonia, el tiempo que transcurre para que se haga presente en el pan es de dos a tres días. Los hongos del pan son de vida vegetativa y aerobia por lo que necesitan oxígeno para reproducirse. Por esta misma razón es normal y frecuente que los hongos proliferen primero en la corteza, la cual es la zona más expuesta al aire que contiene el envase. (FT, 2005)

La atmósfera modificada es un método de conservación, la cual evita la acción de los mohos a través del oxígeno. La misma se basa en cambiar el aire de la bolsa por otros gases, tales como el anhídrido carbónico y el nitrógeno o también se puede eliminar el oxígeno por medio de absorbentes de oxígeno. La razón por la que se elimina el aire, se debe a que de esta manera no hay oportunidad alguna que los mohos que necesitan el oxígeno para germinar, no lo hagan. Sin embargo, lo más usual para evitar el crecimiento de los mohos es el uso de conservantes que neutralizan los mismos. (FT, 2005)

Uno de los factores esenciales y fundamentales para que se dé el desarrollo microbiológico en el pan de caja es la contaminación que se encuentra en el ambiente. Esto se refiere a la cantidad de esporas que viajan a través del aire, tanto dentro de la sala de enfriamiento como en la del empaquetado. Al final de la primavera y a principios del verano hay más contaminación de hongos por lo que es necesario llevar a cabo una limpieza y desgerminación con fungicidas y esporicidas más minuciosas. Asimismo filtrar el aire que entra a las salas o cámaras de enfriamiento. (FT, 2005)

Tanto la cantidad de agua como el tiempo de cocción y la temperatura del horno son factores que influyen bastante en la humedad final del pan. La falta de cocción es un factor que favorece grandemente a que el producto sea más propenso al enmohecimiento. Debido a que el tiempo de cocción y el grosor del molde metálico determinan el tamaño de los panes, dichos factores influyen bastante en si se obtiene

un producto demasiado horneado o no. En el primer caso, al obtener un producto demasiado horneado y reseco, es menos probable que se enmohezca. (FT, 2005)

Al colocar el pan en el empaque, el mismo no debe superar los 33°C, debido a que se produce una condensación gradual sobre la superficie de la bolsa, la cual se convierte en un cultivo óptimo para el desarrollo y crecimiento de hongos. (FT, 2005)

Al desmoldear el producto, el proceso de enfriamiento se debe realizar en una malla metálica, la cual debe tener el suficiente espacio para que el aire pase libremente. Con los productos de panadería, tales como lo son los bollos, los cuales se enfrían en la misma bandeja en la que se han horneado, se produce una condensación sobre la base del producto, por lo que es más fácil que los mohos crezcan en dicha área. (FT, 2005)

El pan que tiene un pH entre 5.7 y 5.9 o valores superiores, es más propenso a experimentar la proliferación microbiana. La misma no va a ser solamente debido a los mohos sino que también por el ahilamiento. Se ha visto que al reducir el pH por una fermentación prolongada o por el añadir reguladores del pH, se va a tener un mayor tiempo de conservación. (FT, 2005) Debido a esto, los conservantes actúan mejor en un ambiente ácido. Consecuentemente en fermentaciones cortas, es necesario aumentar o potenciar la acidez con los reguladores de pH. La adición de conservantes antimohos en los productos empaquetados de panadería retrasa el crecimiento de hongos. Otro factor que afecta también el crecimiento de mohos es la temperatura. A partir de los 30°C hay un óptimo crecimiento de dichos agentes microbianos, por lo que en la medida de lo posible, el pan deber permanecer a una temperatura alrededor de los 20°C. (FT, 2005)

El ácido sórbico es un antimoho muy conocido. El mismo es un ácido graso insaturado, usado en panificación bollería, el cual siempre está acompañado de otros conservantes autorizados para su uso en panadería. Al actuar negativamente sobre la levadura y volviendo las masas blandas y pegajosas, hay un retraso más largo de la fermentación. En los últimos años se ha comercializado el ácido sórbico encapsulado, el cual inhibe este efecto negativo sobre las levaduras. Una vez en el horno y debido a la temperatura, la grasa que recubre el ácido sórbico lo libera, comenzando su efecto antimoho. La dosis máxima permitida de ácido sórbico puro en España es de 2 gramos por kilogramo de harina. (FT, 2005)

También existen los propionatos, entre los cuales resaltan el sódico y el cálcico. Ambos actúan sobre los hongos y *Bacillus subtilis*, y presentan una leve reducción de la fermentación. La dosis máxima de uso en España es de 3 gramos por kilogramo de harina. Se da a entender que al agotarse las dosis máximas de cualquiera de los conservantes ya no se puede utilizar ningún otro y sólo se puede reforzar con algunos de los reguladores del pH. (FT, 2005)

El propionato cálcico es más efectivo en las masas batidas que llevan bicarbonato sódico. Por otro lado en las masas con levadura, como por ejemplo el pan de molde,

panes especiales, pan de hamburguesa y bollería, el propionato sódico es más eficaz. (FT, 2005)

B. ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS

Para poder determinar la vida de anaquel en los productos de panificación en varios estudios realizados se ha utilizado el análisis microbiológico.

En el caso de un estudio realizado en Honduras (Acosta), la vida de anaquel se determinó por medio de la observación diaria y minuciosa, para determinar el crecimiento de hongos. Las pruebas microbiológicas se realizaron utilizando medio PDA (papa dextrosa agar) especial para determinar contaminación por hongos.

En este estudio se realizaron cuatro de los tratamientos y todos presentaron contaminación por hongos, superior al límite recomendado por la División de Alimentos del Ministerio de Salud Pública de Honduras, con norma ICAITI no. 34191, en la que se especifica para productos horneados de panadería y repostería, la cual no debe sobrepasar de 10 a 1000 UFC/g.

En los cuatro tratamientos y además un control elaborado el hongo predominante fue *Penicillium sp.* y *Rhizopus sp.* Los tratamientos realizados fueron sorbato de potasio al 0.1%, propionato de calcio al 0.1%, propionato de calcio al 0.05% y sorbato de potasio al 0.05%. Se determinó la estabilidad del pan evaluando la carga microbiana de mesófilos, mohos y levaduras, encontrándose que la adición tanto de propionato de calcio como de sorbato de potasio al 0.1%, permitió prolongar la vida útil del producto hasta al menos 28 días, con un crecimiento de microorganismos insignificantes. Con los tratamientos con propionato de sorbato al 0.05% se detectó el crecimiento de mohos en la superficie a los 20 días de almacenamiento en refrigeración. (Balarezo, 2011)

A continuación tablas de referencia de los resultados obtenidos del estudio realizado en Honduras.

Tabla 1 – Resultados de análisis microbiológico en pan de molde, reportado en UFC/g

6	Tratamiento	REPETICIONES					
		DIA 1			DIA 2		
		1	2	3	1	2	3
1		5.0×10^4	3.0×10^4	6.0×10^4	3.0×10^4	9.0×10^4	7.0×10^4
2		6.0×10^4	7.0×10^4	5.5×10^4	7.0×10^4	8.9×10^4	8.0×10^4
3		5.5×10^4	8.0×10^4	7.0×10^4	8.0×10^4	8.7×10^4	6.0×10^4
4		3.0×10^4	5.4×10^4	5.4×10^4	5.4×10^4	7.0×10^4	6.0×10^4
5		1.0×10^3	1.0×10^4	1.0×10^3	1.0×10^4	9.9×10^2	1.0×10^4

Tabla 2 – Resultados de análisis microbiológico de tres tratamientos de marquesotes (pan de caja)

Tratamientos	Zamorano		Nuevo Paraíso	
	1 día	7 días	1 día	7 días
1	2.5×10^2	1.0×10^3	4.0×10^4	4.0×10^4
2	3.0×10^2	9.9×10^2		
3	1.0×10^3	1.0×10^3		

C. REGULACIONES

Según la definición dada por el RTCA del año 2010, un aditivo alimentario es «cualquier sustancia que no se consume normalmente como alimento por sí misma ni se usa normalmente como ingrediente típico del alimento, tenga o no valor nutritivo, cuya adición intencional al alimento para un fin tecnológico (inclusive organoléptico) en la fabricación, elaboración, tratamiento, envasado, empaque, transporte o almacenamiento provoque o pueda esperarse razonablemente que provoque directa o indirectamente, el que ella misma o sus subproductos lleguen a ser un complemento del alimento o afecten sus características. Esta definición no incluye los contaminantes ni las sustancias añadidas al alimento para mantener o mejorar las cualidades nutricionales.»

Para ello se ha denominado a la ingesta diaria admisible (IDA) como «la estimación efectuada por el JECFA (Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios) de la cantidad de aditivo alimentario, expresada en relación con el peso corporal, que una persona puede ingerir diariamente durante toda la vida sin riesgo apreciable para su salud (se refiere normalmente a una persona estándar de 60 kg). Asimismo se tiene también la ingesta diaria admisible «no especificada» (NE), la cual es una expresión que se aplica a las sustancias alimentarias de muy baja toxicidad que, teniendo en cuenta los datos (químicos, bioquímicos, toxicológicos y de otro tipo) disponibles, la ingestión alimentaria total de la sustancia que deriva de su uso en las dosis necesarias para conseguir el efecto deseado y de su concentración admisible anterior en los alimentos, no representa, en opinión del JECFA, un riesgo para la salud. Por este motivo, así como por las razones expuestas en las distintas evaluaciones del JECFA, el RTCA no considera necesario asignar un valor numérico a la ingestión diaria admisible. Todo aditivo que satisfaga este criterio deberá emplearse conforme a las buenas prácticas de manufactura».

En cuanto a las sustancias conservadoras o preservantes, son todos aquellos aditivos alimentarios que ayudan a prolongar y aumentar la vida de un producto. Los mismos protegen al producto alimenticio del deterioro que puede ser ocasionado por los agentes microbianos. Se toman en cuenta todos los conservadores antimicrobianos, inhibidores de mohos y hongos filamentosos, entre otros.

Según un estudio realizado por Silvana Elizabeth Acosta Luque titulado “Desarrollo de pan de molde y marquesote para la panificadora rural de Nuevo Paraíso” en Honduras se permite utilizar tres gramos de propionato de calcio por cada 1000 gramos de harina.

En Guatemala, por otro lado solamente es permitido utilizar 1 gramo de propionato de calcio por cada 1000 gramos de harina, siendo esto solamente un 0.1% de este agente antimicrobiano en base a la harina.

D. ANÁLISIS SENSORIAL

Según Acosta, al utilizar un 0.3% de propionato de calcio sobre los 1000 gramos de harina, no hay detección de sabores amargos que permitan que hagan que el pan no sea aceptado por el consumidor.

En otro estudio realizado por Patricio Balarezo se detectó que la calidad sensorial (se evaluaron cinco características, las cuales fueron olor, color, sabor, textura y aceptabilidad) del pan obtenido prácticamente no fue afectada por la adición de propionato de calcio y sorbato de potasio en las concentraciones probadas (0.1% y 0.05).

III. MARCO TEÓRICO

A. GENERALIDADES DEL PAN

Uno de los alimentos que se ha consumido desde hace mucho tiempo, y aún hoy en día forma parte de la dieta tradicional de muchas personas alrededor de casi todo el mundo, es el pan. Dependiendo de cada región, el pan ha obtenido características muy particulares que lo definen como procedente de dicha región. En Medio Oriente el pan pita (pan plano) es elaborado como tradición. Por otro lado, en los países al este de Europa es una costumbre comer pan de centeno con un sabor levemente ácido; en otras partes del mundo el pan más común es el pan sin levar, comúnmente llamado pan ácimo. La baguette, que es de origen francés, es muy particular debido a su corteza crujiente.

La NMX-F-516-1992¹ define al pan como «un producto alimenticio cocido por horneado de la masa previamente fermentada, elaborada a partir de harina de trigo, agua, sal, azúcar y levadura principalmente». Generalmente para elaborar pan es necesario el uso de harina de trigo, debido a que la misma posee componentes, cuyas propiedades son esenciales para que el pan crezca. Se pueden utilizar otros cereales, así como el centeno, maíz, cebada y arroz. Es muy común y usual que para la elaboración de pan se usen las harinas denominadas “duras” debido a que las mismas poseen un contenido de proteínas muy alto. Dichas proteínas están constituidas principalmente por gluteninas y gliadinas, las cuales al mezclarse con agua, lípidos y con proceso del amasado, forman el gluten. El gluten es el responsable de las propiedades de cohesividad y viscoelasticidad de la masa; de esta forma, el carácter del pan depende principalmente de la formación de la red tridimensional. Dicha red retiene el gas que ha sido producido debido a la fermentación de las levaduras, otorgándole al pan su textura tradicional.

El agua es un componente muy importante en la formulación del pan. Su principal función se basa en que las proteínas se hidraten para formar el gluten. Asimismo, dicho componente hidrata los gránulos de almidón que se encuentran en la harina, gelatinizando los mismos durante el horneado (Badui, 2006).

La *Saccharomyces cerevisiae* es la levadura que se utiliza en la panadería. La misma tiene como función producir el dióxido de carbono (CO₂) y algunos subproductos. El agregar o añadir levaduras en la formulación para realizar pan ayuda a que el producto obtenga un sabor y un aroma únicos (Cauvain, 2001).

La sal y la sacarosa, componentes indispensables para la formulación del pan, le otorgan sabor a la masa aparte de conferirle otras propiedades funcionales. La sal

¹ Norma Mexicana

aumenta la fuerza del gluten, controlando la velocidad de la fermentación debido a que demora las reacciones que han sido generadas por la levadura. Adicionalmente, al tener un exceso de sal, el gluten puede perder la capacidad de elasticidad y/o que la fermentación se detenga por completo. Para ello se ha recomendado que este ingrediente sea añadido entre un porcentaje de 1.75 a 2.24 (Giannou *et al.*, 2003). Por otro lado, la sacarosa tiene como función, ser el sustrato de las levaduras durante el proceso de la fermentación, ayudando de esta manera a desarrollar el color en la corteza. Asimismo, también actúan como agentes anti apelmazantes y antienvicimiento, debido a que inhiben la cristalización del almidón (Giannou *et al.*, 2003).

B. PAN DE CAJA

Según normativas extranjeras el “Pan blanco de caja” se conoce como «pan blanco cuya característica es la de tener la miga de color blanco y presentar la forma de un rectángulo, pudiendo estar rebanado o no». (NMX-F-159-1983)

Las especificaciones que se encuentran a continuación, pueden satisfacerse siempre y cuando el producto esté elaborado con materias primas e ingredientes que sean de buena calidad sanitaria. Asimismo, debe elaborarse en instalaciones, cuyas condiciones sean higiénicas. (NMX-F-159-1983)

1. DEFINICIÓN Y DENOMINACIÓN DEL PRODUCTO. «Producto alimenticio elaborado mediante la cocción por horneado de la masa fermentada, elaborada con la harina de trigo, agua potable, sal yodada, levadura y otros ingredientes opcionales y aditivos permitidos para alimentos». (NMX-F-159-1983)

2. CLASIFICACIÓN. El pan de caja se clasifica solamente en pan blanco de caja. Generalmente este tipo de pan era el que se comercializaba, sin embargo hoy en día también se distribuyen tipos de pan con semillas, granos, entre otros.

3. ESPECIFICACIONES. El producto debe cumplir con las siguientes especificaciones:

a. CARACTERÍSTICAS SENSORIALES

1) ASPECTO EXTERNO. La pieza de pan blanco debe tener la forma de un paralelepípedo que sea simétrico. Asimismo puede ser rectangular o también abombado, teniendo aristas que sean ligeramente redondeadas, sin embargo no debe tener bajos ni cuadrados. Consecuentemente no debe presentar la forma de un tornillo, ni estar colapsado. (NMX-F-159-1983)

2) COLOR EXTERIOR. El color de la superficie exterior y el de la corteza deben presentar un color que sea una mezcla entre amarillo y rojo. La misma debe ser lo más uniforme posible por el horneado en todas sus caras, con excepción de la greña, la cual no debe presentar manchas ni vetas y debe tener cierto brillo. (NMX-F-159-1983)

3) TIPO DE CORTEZA. Su textura debe ser suave, delgada pero sin que se pueda romper fácilmente. No debe ser correosa. (NMX-F-159-1983)

4) REBANADO. Al presentar un producto rebanado, el espesor de la rebanada debe ser lo más uniforme posible. (NMX-F-159-1983)

5) COLOR DE LA MIGA. Debe ser blanco brillante, con un color uniforme, lo que significa que no debe tener vetas, manchas ni coloraciones ajenas al blanco. (NMX-F-159-1983)

6) GRANO. Las celdillas del pan deben ser pequeñas, de tamaño uniforme, con una forma que sea ligeramente ovalada. Las paredes deben ser delgadas y no pueden tener agujeros. La superficie de la rebanada no debe presentar desgarraduras. (NMX-F-159-1983)

7) OLOR. Agradable, característico, no debe ser picante ni rancio. (NMX-F-159-1983)

8) SABOR. Agradable, característico, no debe ser ácido. (NMX-F-159-1983)

9) TEXTURA.

Sensación al tacto: suave, firme, que no se desmorone ni se pegue. Masticación: no debe ser masudo, seco, correoso o pegajoso.

(NMX-F-159-1983)

- b. **FÍSICAS Y QUÍMICAS.** El pan blanco de caja debe cumplir con las especificaciones de la siguiente tabla.

Tabla 3 – Especificaciones mínimas y máximas de pan de caja

Especificación	Mínimo	Máximo
Humedad	30 %	38 %
Cenizas		2.5 %
Proteínas (N x 5.7)	7 %	
Grasa	0.8 %	4 %
Fibra cruda	0.2 %	0.4 %
pH	4.5	6.5

(COGUANOR NGO 34 169 H2)²

c. **MICROBIOLÓGICAS**

Tabla 4 – Aspectos microbiológicos para el pan blanco de caja

Agentes microbiano	Categoría	Clase	n	c	Límite por g.	
					m	M
Mohos	5	3	5	2	10 ²	10 ³
<i>Escherichia coli</i> (*)	6	3	5	1	3	20
<i>Staphylococcus aureus</i> (*)	6	3	5	1	10	10 ²
<i>Clostridium perfringens</i> (**)	8	3	5	1	10	10 ²
<i>Salmonella sp.</i> (*)	10	2	5	0	Ausencia/25 g	-----
(*) Para productos con relleno						
(**) Adicionalmente para productos con rellenos de carne y/o vegetales						

Según las normativas establecidas en el RTCA³

C. TIPOS Y FUNCIONALIDAD DE LOS INGREDIENTES

Para elaborar pan se deben tomar muchos factores en consideración, sobre todo la calidad de sus ingredientes. Cada uno de los mismos es muy indispensable, a que cumple una función específica que repercute en el producto final. (Torres, 2011)

² Norma guatemalteca

³ Norma centroamericana

1. Harinas para panificación. La harina es el ingrediente base o principal del pan. La que tiene un mejor uso para la industria de panificación es la que se obtiene después de un proceso en el que el grano del trigo se molutura. Dicho grano debe estar maduro, sano, seco y también industrialmente limpio.(Torres, 2011)

Hay que tomar en cuenta que la harina recién molida no tiene las características necesarias ni adecuadas para panificar. Para ello es necesario que la misma haya pasado por un tiempo de almacenamiento, para que de esta manera ocurran los cambios necesarios que están relacionados con la oxidación, los cuales son beneficiosos para elaborar pan. Asimismo, la harina debe cumplir con una maduración uniforme. El tiempo para que se madure depende de la aireación y la temperatura ambiental. La época del año en la que se tiene un envejecimiento más lento es en los meses de invierno. (Torres, 2011)

El 85% de las proteínas de las harinas son las gliadinas, las cuales tienen como función proporcionar la cualidad pegajosa a la masa. Las glutelinas, que son las otras proteínas indispensables de la harina, proporcionan resistencia y fortaleza. Ambas proteínas son insolubles, y el conjunto de las mismas se conoce como el gluten debido a la capacidad de aglutinarse cuando se mezclan con agua, formando una red o malla. Esta propiedad de las proteínas solamente se encuentra en la harina del trigo. Raras veces se ha encontrado en harinas de centeno, sin embargo todos los demás cereales no las poseen. Es esta propiedad entonces la encargada de proporcionar las características plásticas de la masa de pan. (Torres, 2011)

Existen harinas fuertes y débiles; siendo el porcentaje de gluten el que define cuál tipo es. Las harinas fuertes tienden a presentar un 11% o más de gluten. Las mismas absorben mucha agua y dan masas consistentes y plásticas, teniendo como resultado final un pan de buen volumen, aspecto y textura. Por otro lado, las harinas débiles no son recomendadas para elaborar pan, pero sí son muy útiles para galletas y pastas alimenticias. (Torres, 2011)

2. Agua. El agua es el segundo compuesto que se encuentra con mayor proporción y es esencial debido a que sirve como vehículo de transporte para que los demás ingredientes, al mezclarse, formen la masa. El agua activa las proteínas de la harina para que se obtenga una masa blanda y moldeable. Asimismo actúa como un catalizador, el cual permite que se originen cambios en otros ingredientes del pan. El agua es indispensable para que las levaduras que llevan a cabo la fermentación del pan, se desarrollen. (Torres, 2011)

Cabe mencionar que tanto la calidad como la composición del agua influyen grandemente en la formación de la masa. Las aguas, cuyo carácter es ácido, endurecen la red de gluten, mientras que las que son alcalinas la suavizan. Es necesario usar aguas minerales o filtradas para elaborar pan, para que se eviten factores que actúen negativamente en la masa final, inhibiendo el desarrollo de la fermentación. (Torres, 2011)

3. Sal. La función de la sal es proveer tanto el sabor como reforzar el aroma proveniente del pan. Asimismo ayuda a aumentar la tenzacidad de la masa, aumentando la capacidad de retención del agua y evitando fermentaciones que no se desean en la masa. La sal también ayuda de una manera indirecta que el pan tenga el marrón característico de la corteza. Esto se debe a que dicho ingrediente retarda la fermentación, generando de esta manera más azúcares que durante el horneado. (Torres, 2011)

4. Levaduras. Es un componente microbiano que produce enzimas, las cuales son importantes debido a que tienen la capacidad para descomponer diferentes compuestos orgánicos durante la fermentación. Los principales agentes en descomponerse son los azúcares, los cuales resultan en etanol y CO₂. Este CO₂ queda atrapado en la masa obligando que la misma aumente su volumen debido a que pasó por un proceso de esponja. Este proceso es conocido como “levantamiento de la masa”. (Torres, 2011)

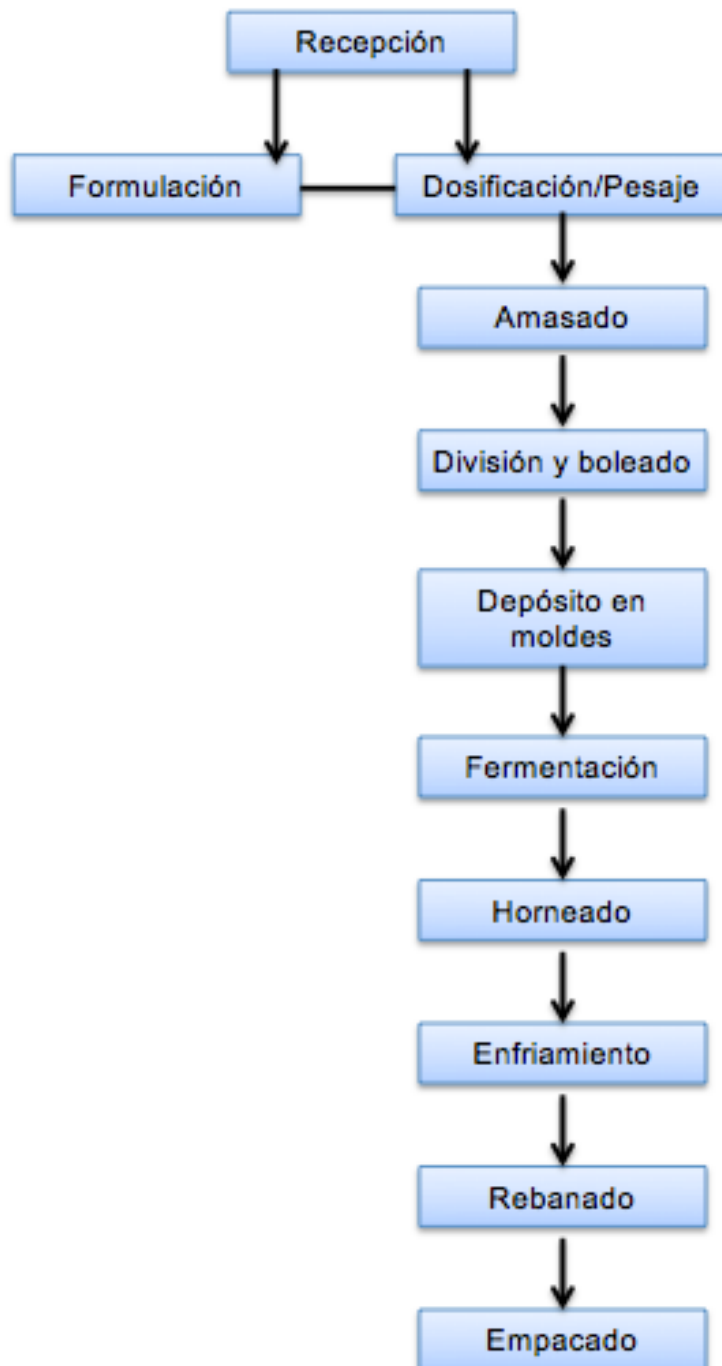
Una de las levaduras más conocidas en panificación es la especie *Saccharomyces cerevisiae*. Esta levadura puede crecer de una manera anaerobia produciendo una fermentación alcohólica. Asimismo, se usa también en muchos otros procesos de fermentación industrial. (Torres, 2011)

En panificación existen muchos tipos de levaduras, tales como la levadura natural y la química. La primera se aplica para la elaboración de la masa madre, obtenida a raíz de la microbiota de la misma harina, fermentando la masa de una manera espontánea. Se encuentra tanto como levadura fresca o como levadura desecada. (Torres, 2011)

La mezcla de ácidos como el cítrico o el tartárico con un carbonato se denomina como la levadura química. Esta tiene la misma función que la levadura natural, producir CO₂ para proporcionar el volumen y la esponjosidad deseada. La única diferencia que posee con la natural es que actúa de una manera más rápida. (Torres, 2011)

D. PROCESO DE LA ELABORACIÓN DEL PAN DE CAJA

Diagrama 1 – Proceso de la elaboración del pan de caja



1. RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA. En la recepción de las materias primas (harina, agua, sal, mejorantes y levaduras) se realizan controles de calidad y aptitud para la elaboración del pan. Las materias primas para la elaboración del pan se almacenan en cámaras frigoríficas o en almacén a temperaturas de 18°C, según su naturaleza. (Calaveras, 1996)

2. DOSIFICACIÓN / PESAJE. Normalmente los ingredientes de mayor cantidad del pan se distribuyen o reparten por volumen, y los de menor es por peso. Esto último es de gran importancia, debido a que los aditivos que se utilizan deben de distribuirse de una manera exacta para evitar situaciones de toxicidad. (Calaveras, 1996)

3. AMASADO. La función principal de amasar la masa es para que la misma quede homogénea, uniforme y consistente. Asimismo el amasado sirve para airearla, haciéndola más flexible. El motivo del resultado de una masa más homogénea se debe a la saturación que existe del almidón de la harina, y también por las proteínas que absorben el agua y que al final forman el gluten. El almidón reparte de una manera homogénea la humedad durante el amasado, por lo que se tiene al final una estructura semisólida. El amasado está compuesto por dos fases: (Torres, 2011)

a. EL FRESAJE. Se agregan e incorporan todos los ingredientes menos la levadura. En esta fase el amasado debe realizarse a una velocidad lenta durante 2 ó 5 minutos, hasta que se mire una mezcla homogénea. (Torres, 2011)

b. LA OXIGENACIÓN O MADURACIÓN. Es la fase donde se obtiene la máxima aireación de la masa. La misma agarra el oxígeno del aire, el cual es consumido posteriormente por la levadura. Este proceso ayuda a los procesos de oxidación de las proteínas, por lo que afecta a la formación del gluten. El oxígeno es atrapado en forma de pequeñas burbujas, que después cuando el pan ya está horneado, se observan las alveolas, lugar en el que el gas carbónico se alojó durante la fermentación. (Torres, 2011)

La masa se va convirtiendo más elástica, lisa, flexible y suave conforme va pasando el amasado. Al observar que la masa se despega de las paredes, entonces se puede determinar que el amasado ha finalizado. Si en todo caso se sobrepasara ese tiempo, entonces aumentaría la extensibilidad de la masa. (Torres, 2011)

4. REPOSO. El tiempo de reposo antes del formado ha de estar proporcionado con la cantidad de levadura añadida, es decir, cuando la dosis de levadura sea alta el reposo ha de ser más corto y al contrario cuando la dosis es baja el tiempo de reposo ha de ser superior a lo normal. Con el 2% de levadura el tiempo de reposo está entre 15 a 18 minutos (Quaglia, 1991)

5. DIVISIÓN Y BOLEADO. La división de la masa es un proceso mecanizado, mediante el cual se obtienen piezas con tamaño, forma y peso homogéneo. El boleado o moldeado previo del pan tiene por objeto eliminar de la masa el exceso de gas que se haya podido producir. Asimismo darle a la masa una estructura uniforme y conseguir

una capa externa relativamente más seca que el resto de la masa, que permitirá un buen formateado, al tiempo que impida la salida desordenada del gas que se forme en la fermentación posterior. (Quaglia, 1991)

6. DEPÓSITO EN MOLDES. El depósito en moldes se realiza después de la división y boleado.

7. FERMENTACIÓN. La fermentación es una serie de reacciones bioquímicas, que se dan debido a las levaduras del género *Saccharomyces cerevisiae*. Asimismo la fermentación también se puede dar debido a las bacterias fermentativas, como las lácticas y acéticas, las cuales producen etanol y gas carbónico. También son las causantes de las fermentaciones secundarias, las cuales son las responsables del aroma y sabor final del pan. (Calaveras, 1996)

Se debe realizar el mayor tiempo posible de fermentación para conseguir que se desarrollen la fermentación láctica y acética, y la más importante, la fermentación alcohólica (produciendo CO₂ y etanol). Se necesitan todas las fermentaciones en poca cantidad, pero todas son necesarias para dar ese sabor y olor típico del pan. (Calaveras, 1996)

El gas carbónico, en forma de pequeñas burbujas, contribuye al esponjamiento de la masa. La producción de este gas comienza lentamente para acelerarse al final de la fermentación.

Normalmente las barras se fermentan a 75% de humedad a 26°C, para que de esta manera la masa alcance su punto óptimo de fermentación. Dicho proceso dura aproximadamente entre 150 y 180 minutos. (Quaglia, 1991)

8. HORNEADO. En esta etapa las piezas de masa sufren una serie de transformaciones de tipo físico, químico y biológico, de forma que al final se obtiene un producto con buenas características organolépticas. Las piezas de masa son introducidas en el horno, donde la temperatura oscila entre 200 y 275°C. El calor comienza a propagarse del ambiente hasta el interior del producto, de manera que al principio el gradiente de temperatura en el producto debe ser menor a 100°C. (Quaglia, 1991)

La parte de la masa en contacto con la base del horno absorbe el calor por conducción, y en cambio, la que está en contacto con el aire lo absorbe tanto por irradiación como por convección del aire. (Quaglia, 1991)

9. ENFRIAMIENTO. Antes que el pan sea manipulado para ser rebanado y empacado, debe enfriarse hasta que la temperatura interna del mismo llegue hasta 30°C. Este proceso dura alrededor de 30 ó 40 minutos. (Mainer, 2011)

10. REBANADO. Posterior al enfriamiento, el rebanado consiste en la división en partes iguales de las piezas de pan de molde que caracteriza el producto final. (Mainer, 2011)

11. EMPACADO. Las piezas de pan ya cortadas, se empaquetan de forma automática y se llevan hacia un almacén donde se guardan hasta su comercialización. (Mainer, 2011)

1. FORMULACIÓN DEL PAN DE CAJA

Tabla 5 – Porcentaje panadero para elaborar pan de caja

Ingredientes	Porcentaje
Harina dura	100
Leche en polvo	3.125
Azúcar	10.42
Sal	1.25
Levadura	6.25
Manteca	6.25
Agua	54.166

E. TIPOS DE HORNOS

Entre el equipo que se utiliza en la industria panadera, el horno es uno de los equipos más importantes. La calidad del mismo depende tanto de la cocción, como del tiempo y la temperatura. Estos factores determinan si el pan va a tener las características organolépticas necesarias. (Calaveras, 1996)

La tecnología relacionada con el horneado ha evolucionado con el pasar de los años. Los antiguos hornos de barro que se utilizaban, quedan pocos. Muchas personas tienen la mentalidad de que la calidad del pan depende considerablemente del horno. (Calaveras, 1996)

Existen hornos de gas o eléctricos, pero sin importar de qué componente sirva, es necesario que el calor circule de una manera uniforme en su interior, para que de esta manera se obtenga una masa cocida rápida y homogénea. (Calaveras, 1996)

Entre los hornos industriales más conocidos están:

1. HORNOS DE MAMPOSTERÍA. Son hornos de barro o de leña que pueden ser calentados tanto por gas o con leña. Normalmente cuando se usa este tipo de horno se

incluyen recipientes con agua, para que de esta manera el agua se transforme en vapor y que el mismo ayude a una cocción más uniforme.

2. HORNOS ROTATIVOS. Se llaman hornos rotativos debido a que tienen bandejas que rotan con el objetivo de una cocción uniforme. Tienen un sistema de ventilación interno, el cual es el encargado de distribuir el calor de una manera uniforme. Este tipo de horno puede ser de gas o eléctrico. También poseen un dispositivo que inyecta el vapor necesario para ayudar con la cocción del pan.

3. HORNOS CONVENCIONALES. Normalmente son los mismos hornos que se utilizan en casa, pero tienen una mayor capacidad. Es necesario incluir recipientes de agua para que el vapor ayude con la cocción del pan.

4. HORNOS DE CONVECCIÓN. Poseen un ventilador que actúa sobre el pan que se está horneando. El tiempo de horneado es más corto. Este tipo de hornos poseen un sistema que les permite hornear a diferentes temperaturas al mismo tiempo.

5. HORNOS DE BANDEJAS. Este tipo de maquinaria es esencial para panificación. Es más barato que otros moldes. También es conocido por ser muy eficaz con la cocción de pan sencillo. (Calaveras, 1996)

F. DETERIORO MICROBIANO DEL PAN

Según un estudio realizado por Salgado-Nava y Jiménez-Munguía titulado "Métodos de control de crecimiento microbiano en el pan", el deterioro del mismo se puede dar debido a los mohos, bacterias y levaduras. El pan es un producto que se deteriora con mucha facilidad y muy rápidamente. Esto se debe a que el pan antes de presentar mohos visibles, ya tiene cambios en sus propiedades organolépticas, principalmente en el sabor. Asimismo pierde humedad, lo que se conoce como la retrogradación, convirtiendo el pan duro. Otro aspecto que hay que tomar en consideración es que los microorganismos tienen la facilidad de crecer en el pan. (Stanley *et al.*, 2007) Normalmente, las principales alteraciones microbiológicas del pan son causadas por mohos y bacterias, con menor presencia las levaduras. (Stanley *et al.*, 2007)

1. DETERIORO POR MOHOS. El deterioro del pan por medio de los mohos se puede explicar de la siguiente manera; el pan es susceptible a la germinación de mohos debido a las características que posee este producto. Normalmente el riesgo de contaminación y deterioro por mohos aumenta cuando el pan sale del horno. Esto se debe a que el aire es el medio por el que las esporas de mohos llegan al pan. (Stanley *et al.*, 2007). El crecimiento de dichos microorganismos depende tanto de la temperatura, como de la concentración de oxígeno en el empaque, y también de la contaminación del pan antes que sea empacado. (Guynot *et al.*, 2003; Nobile *et al.*, 2003). Por esta misma razón es necesario cuidar el pan durante el enfriado, rebanado, empacado y almacenado.

El deterioro del pan va a ser más rápido si se guarda caliente en un recipiente completamente cerrado, ya que se genera vapor. Dicho vapor aumenta la humedad del ambiente en el que se encuentra el pan, convirtiéndolo en un medio excelente para el crecimiento de microorganismos. (Stanley *et al.*, 2007).

El deterioro que causan los mohos se conoce como “enmohecimiento” y se manifiesta con la aparición de manchas contrastantes en la superficie del pan. Los mohos que suelen encontrarse en el pan son por lo general de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* (Sahan, 2001), *Cladosporium*, *Fusarium* (Tarar *et al.*, 2010), *Mucor* y *Eurotium*. Los más comunes que se presentan en el enmohecimiento son *Penicillium* y *Aspergillus* (Moore *et al.*, 2008)

El crecimiento de *Penicillium* es el más predominante, ya que posee una producción de esporas muy elevada. La temperatura óptima para la proliferación del mismo es a temperaturas de 7 a 10 °C, mientras que la de *Aspergillus* y *Eurotium* es a temperaturas de 22 a 24°C. De esta forma, la prevalencia de *Penicillium* se reduce, aumentando así la persistencia de los otros dos géneros mencionados (Goremen y Sahin, 1997).

Dentro del género *Penicillium* se han encontrado las especies *P. commune*, *P. crustosum*, *P. brevicompactum*, *P. chrysogenum* (Nielsen y Rios, 2000; Moore *et al.*, 2008), siendo *P. roqueforti* la especie más importante dentro de este género. Esto se debe a que se caracteriza por la producción de esporas de color verde. (Jay, 2000). Asimismo es mucho más resistente en comparación de otras especies, debido a que la misma puede crecer en un pH de 4 aun habiendo propionato de calcio en el medio. (Ryan *et al.*, 2008).

Las especies de *Aspergillus* que se han encontrado son: *A. flavus*, *A. versicolor* y *A. sydowii* (Nielsen y Rios, 2000). La especie que ha sido catalogada como la más importante es la *A. niger*, debido a que produce esporas de muchos colores, desde tonalidades de verde hasta negro. También produce un polvo, cuya tonalidad es amarilla, el cual se riega por toda la superficie del pan. (Jay, 2000).

2. DETERIORO POR BACTERIAS Y LEVADURAS. El deterioro por bacterias y levaduras por otro lado se da debido a que las bacterias son microorganismos que se han encontrado en la materia prima del pan así como en la harina, azúcar y levaduras. Según Pattison en un estudio que realizó, el crecimiento de bacterias en el pan se favorece en climas cálidos en un rango de temperatura entre los 25 a 30°C, y con una humedad del 40 a 60%.

Las bacterias se diferencian de los mohos y levaduras debido a que las bacterias tienen la capacidad de sobrevivir al horneado, ya que al centro de la miga no se alcanzan los 100°C y las esporas llegan a germinar durante el almacenamiento si encuentran las condiciones adecuadas (Pepe *et al.*, 2003; Ribotta y Tadini, 2009).

El “hilado” es el deterioro que causan las bacterias en el pan, el mismo comienza con el desarrollo de un desagradable olor dulce afrutado, seguido por una degradación enzimática de la miga debido a la producción de amilasas y proteasas, las cuales convierte en suave y pegajosa con cambios en el color de la misma (Pepe *et al.*, 2003).

Las bacterias causantes del hilado son del género *Bacillus spp*, como *B. subtilis* (principalmente), *B. licheniformis*, *B. cereus*, *B. firmus*, *B. pumilus*, *B. clausi* (Pepe *et al.*, 2003) y *B. amyloliquefaciens* (Valerio *et al.*, 2012).

Las levaduras implicadas en el deterioro del pan son de dos tipos: las filamentosas y las fermentativas. Las primeras son las más comunes, presentan un crecimiento visible en la superficie del pan (manchas que pueden ser blancas, cremas o rosas), por lo que también son conocidas como “mohos tizosos” (su alteración es muy parecida a la producida por mohos, por lo que suelen causar confusión) y afectan a productos de alta actividad de agua. Las segundas ocasionan un deterioro fermentativo manifestado por una producción irregular de alcohol y/o de gases y afectan a productos con una baja actividad de agua (Ribotta y Tadini, 2009).

Las levaduras que causan deterioro en el pan son: *Saccharomycopsis fibuligera*, *Candida guilliermondii*, *Hansenula anómala*, *Debaromyces hansenii*, *Candida parapsilosis*, *Serrania marcescens*, *Ednomyces fibuliger*, *Zygosaccharomyces rouxii* y *Pichia burtonii* (Stanley *et al.*, 2007).

De ellas, se ha divulgado más ampliamente el deterioro que causan las especies *S.*, *marcescens*, *E. fibuliger*, *Z. rouxii* y *P. burtonii*. En panificación, la especie *S.*, *marcescens* causa el deterioro conocido como “pan rojo” debido a que este microorganismo tiene pigmentos rojos brillantes. *E. fibuliger* ocasiona que el pan tenga una apariencia de yeso en la superficie, debido a la generación de manchas blancas producidas por el microorganismo (Jay, 2000). Existen reportes de que *P. burtonii* es más resistente a conservadores que otros microorganismos deteriorativos (Stanley *et al.*, 2007).

G. MÉTODOS PARA LA PREVENCIÓN DEL CRECIMIENTO MICROBIANO EN PAN

Hoy en día el método que se utiliza en mayor proporción para prevenir el crecimiento microbiano en el pan es agregar antimicrobianos a la formulación. Sin embargo, desde hace algunos años se han implementado otro tipo de técnicas y tecnologías para disminuir la resistencia microbiana. La demanda de la producción y consumo ha obligado a la industria de alimentos a conservar más el pan, teniendo mayor estabilidad en cuanto a la calidad sensorial y al almacenamiento. (Leistner, 2000)

Un buen agente antimicrobiano debe tener ciertas características que le permitan funcionar de la mejor manera. Por ejemplo, es necesario que no sea tóxico, debe ser efectivo a bajas concentraciones, para ellos es necesario que su espectro de acción sea amplio. Tampoco debe afectar las propiedades organolépticas, la calidad sensorial como el olor y sabor. Debe ser soluble, conservar su estabilidad en cualquier condición tanto del proceso como del almacenamiento. (Ribotta y Tadini, 2009)

Con el objetivo de mejorar la calidad de los alimentos se utilizan métodos conocidos como “tecnología de obstáculos o de barreras”. Los obstáculos que normalmente se usa para preservar los alimentos son los siguientes: temperatura, ya sea alta o baja, la actividad de agua (a_w), la acidez (pH), el potencial redox (Eh), los conservadores sintéticos, los microorganismos competitivos así como sus metabolitos. Los métodos no térmicos como los pulsos eléctricos, ondas electromagnéticas, atmósferas modificadas, altas presiones, entre otros, son otras metodologías que también se han usado para aumentar la vida de anaquel del pan. (Leistner, 2000)

H. ADITIVOS

Según la Academia Nacional de Ciencias, los aditivos son aquellos compuestos que se incorporan a los alimentos tanto de una manera directa como también indirecta durante el proceso de la elaboración, almacenamiento y procesamiento. La aplicación de aditivos es uno de los métodos más usados que se utiliza hoy en día para proteger y extender la vida de anaquel (Frazier, 1976). Entre las principales razones para utilizar dichos aditivos se encuentra que los mismos pueden:

- Mantener o mejorar el valor nutricional del producto
- Mejorar la calidad del producto
- Reducir pérdidas
- Incrementar la aceptabilidad del consumidor
- Incrementar la vida útil del producto

- Facilitar la preparación

Entre los aditivos que se utilizan con mayor frecuencia se encuentran tanto los agentes blanqueadores como los estabilizantes, colorantes, suplementos nutritivos, antioxidantes y los preservantes. Según el Código de Regulaciones Federales de los Estados Unidos, los preservantes se pueden definir como agentes microbianos que se emplean para preservar el alimento con la ayuda de prevenir el crecimiento de cualquier microorganismo que pueda crecer en el alimento. (Grundy, 1996)

Existen dos clases de antimicrobianos que se utilizan en la industria alimentaria; los naturales y los químicos. En la industria de panificación los antimicrobianos que se utilizan más son los químicos, entre los cuales se pueden mencionar el propionato de calcio y potasio, ácido sórbico, diacetato de sodio, sorbato de potasio, ácido acético, entre otros. (Grundy, 1996)

Según Badui, la efectividad del preservante depende de varios factores intrínsecos del alimento. Entre dichos factores se pueden mencionar su composición, nivel inicial de contaminación microbiana, pH, tiempo de almacenamiento, temperatura de almacenamiento, ingredientes, entre otros. Las alteraciones provocadas por mohos o bacterias en el pan son indeseables cuando representan un peligro para la salud o pueden generar pérdidas del producto. (Badui, 1999)

1. PROPIONATO DE CALCIO. El propionato de calcio es una de las sales del ácido propiónico. Esta sal tiene menor actividad antimicrobiana que el ácido del que se deriva, sin embargo presenta la ventaja de no ser corrosiva. Además, al ser mezclada con los demás ingredientes de la masa, no altera el color, olor, sabor, volumen ni tiempo de horneado normal del pan. La solubilidad del propionato de calcio es de 55.8 g por 100 mL de agua a 100°C. Presenta un ligero sabor a queso que es imperceptible en el pan, y es digerido y metabolizado sin problema por el organismo (Grundy, 1996)

a. ACCIÓN DEL PROPIONATO DE CALCIO. El propionato de calcio es efectivo sobre mohos, tiene baja actividad antimicrobiana en contra de las bacterias (excepto el *B. mesentericus*), y no tiene efecto sobre las levaduras, por lo que es muy usado en la elaboración de productos que en su formulación llevan levaduras como es el caso del pan. (Grundy, 1996)

La actividad de este antimicrobiano es mejor en alimentos con un pH de 4.5 a 6.0 que es en realidad donde el propionato se convierte en la forma libre del ácido. Cuenta con un pKa de 4.87, por lo que en productos con pH cercano al pKa el propionato resulta ser más efectivo. (Grundy, 1996)

Es el principal inhibidor de mohos en productos horneados. Algunas pruebas realizadas han corroborado que agregando propionato de calcio en una concentración del 0.1% al pan, la aparición de mohos en el producto se retrasa hasta 8 días; por otra parte, si el propionato se agrega en una concentración del 0.2%, la vida útil del

producto será de 11 días aproximadamente. El propionato de calcio resulta ser más utilizado en productos de panificación debido a que no presenta acción sobre las levaduras y además, contribuye con un enriquecimiento nutricional. (Grundy, 1996)

En el ámbito de la panificación, los propionatos son los más utilizados debido a que la actividad que poseen sobre la levadura es mínima. Por lo que durante la fermentación no hay una barrera que no le permita crecer al pan. Los propionatos normalmente actúan sobre el crecimiento de bacterias y mohos. Tanto el propionato de sodio como de calcio poseen la misma actividad, sin embargo cuando la formulación tiene la adición de bicarbonatos, es mejor usar el propionato de sodio, debido a que el propionato de calcio evita la producción de dióxido de carbono. La concentración permitida en la formulación es de 0.3% (Badui, 2006; Stanley et al., 2007)

b. LÍMITES Y EFECTOS ADVERSOS DEL PROPIONATO DE CALCIO. El propionato de calcio ha sido reconocido como GRAS y no presenta limitaciones en cuanto a su uso, siempre y cuando no se excedan los niveles establecidos por las buenas prácticas de manufactura. Las concentraciones sugeridas para su uso son de 0.15% hasta 0.38%. (Ribotta y Tadini, 2009).

2. ÁCIDO SÓRBICO. Corresponde a un ácido graso de cadena recta y seis átomos de carbono que tiene en su molécula un grupo carboxílico y dos dobles enlaces en la posición *trans*. Como tal ácido graso, es metabolizado por el organismo humano. La solubilidad de sus sales sódica y potásica es superior a la del ácido libre. Como su poder antimicrobiano corresponde a la forma molecular no disociada, su actividad aumenta a medida que decrece el pH del alimento al que se adiciona, pero por su pKa se reduce de modo notable cuando el valor del pH es superior a 6.0 – 6.5. (Bello Gutiérrez, 2000)

a. ACCIÓN DEL ÁCIDO SÓRBICO. Inhibe la actividad de los mohos y levaduras, por lo que no se recomienda agregársela directamente a la masa, ya que la misma no puede crecer lo suficiente durante la fermentación. Normalmente el ácido sórbico se agrega al pan después que el mismo ha sido horneado. En la industria se agrega por medio de aspersión sobre la superficie del pan. Otra desventaja que posee es que no es efectivo para evitar el desarrollo de mohos en productos porosos. (Ribotta y Tadini, 2009)

El mecanismo por el cual el ácido sórbico inhibe el crecimiento de los microorganismos parece debido a sus efectos sobre diversos sistemas enzimáticos celulares: enolasa, lactato deshidrogenasa, malato deshidrogenasa, isocitrato deshidrogenasa, succinato deshidrogenasa, alfa-cetoglutarato deshidrogenasa, fumarasa y aspartasa. La inactivación es una consecuencia de los enlaces covalentes que se forman entre sus dobles enlaces y los grupos –SH libres de las enzimas.

También por su carácter lipofílico puede penetrar en las células microbianas e interferir con el transporte a través de la membrana citoplásmica. (Bello Gutiérrez, 2000)

Algunos hongos pueden metabolizarlo cuando el ácido se encuentra a dosis subóptimas, o cuando la contaminación es muy grande. Por ello, no puede ser considerado como un método alternativo para la desinfección de las plantas industriales. (Bello Gutiérrez, 2000)

Su espectro de acción alcanza de modo preferente a mohos y levaduras, aunque también puede actuar frente a las bacterias aerobias estrictas. Se ha comprobado que ni los mohos ni la *Escherichia coli* desarrollan resistencia frente a este compuesto. (Bello Gutiérrez, 2000)

b. LÍMITES Y EFECTOS ADVERSOS DEL ÁCIDO SÓRBICO. El ácido sórbico ha sido reconocido como GRAS y no presenta limitaciones en cuanto a su uso, siempre y cuando no se excedan los niveles establecidos por las buenas prácticas de manufactura. Según las normativas, se permite que la formulación posea entre 1 y 6% de ácido sórbico en solución acuosa al agregarse a la superficie del pan por medio de la aspersión. La actividad antimicrobiana del ácido sórbico aumenta a medida que disminuye el pH (Ribotta y Tadini, 2009).

Tabla 6 – Espectro de acción efectiva de los agentes antimicrobianos usados en panadería

Agente	pH	Eficaz contra
Propionatos	5.5 o por debajo	Mohos; potencia antibacteriana limitada, pero efectiva en contra de <i>B. mesentericus</i> , prácticamente ningún efecto sobre las levaduras
Sorbatos	6.5 o por debajo	Levaduras, mohos, bacterias incluyendo <i>B. mesentericus</i> , pero generalmente no de bacterias ácido lácticas.

(AIB Technical Bulletin, 1986)

I. ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS

Agar DRBC Levaduras y Mohos

Normalmente la placa que se utiliza para el recuento de levaduras y mohos posee un colorante que indica cuáles son levaduras y cuáles son mohos. Esto se hace por medio

de un contraste, el cual facilita el recuento. Existen algunas características básicas para determinar si lo que está en la placa son levaduras o mohos.

1. Levaduras:

- Colonias pequeñas
- Las colonias tienen bordes definidos
- Son de color rosa-tostado a azul-verdoso
- Las colonias pueden aparecer resaltadas
- Generalmente no tienen un centro negro en el centro de la colonia

2. Mohos:

- Las colonias son grandes
- Las colonias tienen bordes difusos
- Color variable (los mohos pueden producir sus propios pigmentos)
- Las colonias son planas
- Generalmente con un punto en el centro de la colonia (3M, 2011)

Tanto el tiempo como la temperatura, son factores que deben tomarse en cuenta para la incubación adecuada que permita el crecimiento de los mohos y levaduras. Hay que tomar en consideración que normalmente estos microorganismos son sensibles a altas temperaturas, por lo que para asegurar un crecimiento adecuado las placas se deben incubar a $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, y leer las placas a los 3 y 5 días. El incubar las placas a una temperatura más elevada no significa que el proceso se va a realizar más rápido, sino que el resultado puede ser incierto. (3M, 2011)

J. TECNOLOGÍA DE ENCAPSULACIÓN EN ALIMENTOS

Se denomina encapsulación a la tecnología de empaquetado tanto de sólidos, como líquidos o materiales gaseosos. Estas cápsulas pueden liberar su contenido bajo condiciones específicas. La tecnología de encapsulación ha sido utilizada por la industria alimenticia por más de 60 años. En un sentido extenso, la tecnología de encapsulación en procesamiento de alimentos incluye el recubrimiento de partículas diminutas de ingredientes (acidulantes, grasas y sabores) como también ingredientes completos, lo cual puede ser logrado por medio de técnicas de encapsulado y macro-revestimiento.

1. TÉCNICAS DE ENCAPSULACIÓN

a. SECADO POR ASPERSIÓN (SPRAY-DRYING). Provee cierta protección a aceites saborizantes contra la degradación y oxidación y para convertir líquidos a polvos.

b. ENFRIADO O CONGELADO POR ASPERSIÓN. Se basa en las mezclas de los núcleos y paredes que son atomizadas dentro del aire enfriado o congelado, lo que

causa que la pared se solidifique alrededor del núcleo. A diferencia del secado por aspersión, este método no incluye la evaporación del agua.

c. RECUBRIMIENTO EN CAMA FLUIDIZADA. Se usa en la industria de alimentos para afinar el efecto de ingredientes y aditivos funcionales.

d. EXTRUSIÓN. El encapsulado de ingredientes alimenticios es un proceso relativamente nuevo comparado con el de secado por aspersión. Se usa para encapsular sabores, y es un método atrapador de temperaturas relativamente bajas, que involucra el forzado del material del núcleo en una masa de carbohidrato derretido a través de una serie de tintes hacia un baño de líquido deshidratándose.

e. EXTRUSIÓN CENTRÍFUGA. Consiste en un proceso de coextrusión líquido que utiliza boquillas que consisten en orificios concéntricos localizados en la circunferencia externa de un cilindro rotativo. La fuerza centrífuga impulsa el material hacia los extremos, causando que se rompa y se formen así pequeñas partículas.

f. LIOFILIZACIÓN. Es un proceso utilizado para la deshidratación de la mayoría de los materiales y aromas sensibles al calor.

g. COACERVACIÓN. Involucra la separación de una fase líquida de material revestidor de una solución polimérica seguido del recubrimiento de esa fase como una capa uniforme alrededor de las partículas de núcleo suspendidas.

h. SEPARACIÓN DE SUSPENSIÓN CENTRÍFUGA. Es un proceso que involucra el mezclado de los materiales del núcleo y pared y su posterior adición a un disco rotatorio.

i. COCRISTALIZACIÓN. Es un proceso de encapsulación que utiliza sacarosa como una matriz para la incorporación de materiales de núcleo.

j. ATRAPAMIENTO EN LIPOSOMAS. Los liposomas consisten de una fase acuosa o lipídica que se encuentra completamente rodeada por una membrana fofolipídica, creada por medio de la utilización de emulsificantes y la aplicación de agitación mecánica y posiblemente calor.

k. GOTEÓ. Consiste en la extrusión de gotas, de una solución de material de núcleo, desde una boquilla en condiciones tranquilas. Complejos e inclusión es otro medio también para lograr la encapsulación. (Goud H. Desai, Kashappa; Jin Park, Hyun; 2005)

2. MÉTODOS DE LIBERACIÓN. Existen varios mecanismos de liberación de las cápsulas, las cuales se realizan por una disolución normal en agua, o por esfuerzos de cizalla, temperatura, reacciones químicas y enzimáticas o por cambios en la presión osmótica. Cuando una cápsula se abre para liberar los componentes que tiene por dentro, se toman en cuenta factores que determinan la liberación. Por ejemplo, dicha liberación se controla por la difusión de la pared de la cápsula o por una membrana que recubre toda la pared. Asimismo la permeabilidad juega un papel muy importante, ya que afecta la solubilidad del componente de la pared de la cápsula, que al final influye en la velocidad de difusión. (Fernández, 2005)

Hay que tomar en cuenta que el compuesto que se va a difundir debe ser soluble en la matriz, por lo que al seleccionar la misma, tanto la presión de vapor como la fuerza de difusión son de suma importancia. La naturaleza química, morfología y temperatura de transición, el grado de hinchamiento, y de entrecruzamiento también influyen en la difusión de la membrana aunque pueden disminuir la velocidad de liberación. (Fernández, 2005)

K. ASPECTOS LEGALES EN GUATEMALA

En Guatemala las normas que rigen el aspecto legal en cuanto a la adición de aditivos en los alimentos son COGUANOR y la RTCA.

Según la RTCA, en Guatemala es permitido solamente utilizar el 0.1% con base en la harina de propionato de calcio en la formulación para la elaboración de pan. En cuanto al uso permitido del ácido sórbico solamente se puede usar el 0.2% en base a la harina.

IV. JUSTIFICACIÓN

Con los últimos años la población de Guatemala ha incrementado. Según el INE (Instituto Nacional de Estadística Guatemala), la población en el año 1950 fue de 2, 968, 976 habitantes, en el 2000 fue de 12, 221, 796 habitantes. Hoy en día Guatemala cuenta con 15,08 millones de habitantes. Este crecimiento exponencial ha hecho también que la distribución de los habitantes sea más dispersa en todo el país. Por lo que la cadena de abastecimiento es más compleja que en años anteriores.

La necesidad de llevar productos a diferentes puntos de venta en todo el país, como supermercados, almacenes, tiendas de barrio, entre otros, ha obligado a la industria de alimentos optar por nuevas alternativas. Tanto las cadenas de distribución como los consumidores piden un producto que posea una vida de anaquel mayor, un producto que pueda mantener sus características organolépticas y que mantenga su frescura. Esto también en respuesta al estilo de vida que hoy se lleva.

El pan, uno de los productos de mayor consumo en el país, es un producto de consumo diario. Según el INE, en Guatemala, una gran cantidad de familias compran pan a diario, otras 3 ó 4 veces por semana y otro grupo, esporádicamente. De acuerdo a las estadísticas del INE, en Guatemala se consume aproximadamente 9 unidades de pan blanco en el día y 3 panes de manteca en el mismo tiempo. Este consumo es por familia, y la misma está integrada por aproximadamente 5.4 miembros.

Hace varios años, las industrias han optado por empacarlo para ofrecer mayor comodidad a los consumidores; siendo el pan de caja uno de los que comúnmente se empaca para ser distribuido.

Sin embargo, el problema ha sido aumentar la vida de anaquel del pan de caja, que por sus características de humedad, es bastante propenso a la generación de mohos y levaduras. Algunas opciones para aumentar la vida de anaquel han sido la adición de antifúngicos, la mejora de los empaques, entre otros. Con respecto a los antifúngicos, el reto es evitar una sobredosificación de los agentes antimicrobianos. Normalmente una sobredosis de un agente antimicrobiano genera cambios en las características organolépticas, en especial sabores amargos.

Por otro lado, aumentar la vida de anaquel puede representar un aumento considerable en el costo del producto, dado el uso de los aditivos o empaques especiales para ese propósito. Cuando la adición de los antifúngicos no son del todo suficientes, por costo o por reglamentaciones de adición, y unido a esto las condiciones ambientales, el pan de caja puede presentar la presencia de mohos prematura o no tener la vida de anaquel suficiente para la cadena de abastecimiento. De tal manera que también aumentan las mermas en las industrias, siendo esto uno de los costos mayoritarios para la industria de panificación en Guatemala.

Por lo anterior se hace importante encontrar una opción de antifúngico que permita reducir los costos y aumentar la vida de anaquel. El más común son el propionato y el

ácido sorbico. En este estudio se evaluará el ácido sórbico encapsulado por el método de congelado por aspersión, el cual al tener una barrera de grasa no afecta la levadura y permite reducirla en cierto porcentaje. Debido a que la cápsula estará conformada por estearina de palma, durante el horneado la misma se fundirá ya que la temperatura sobrepasa el punto de fusión de dicho ácido graso. En este caso, el ácido sórbico podrá actuar como el agente antimicrobiano que es, sin afectar a la levadura. Con esto se pretende reducir el costo y mejorar la vida de anaquel en comparación con otros antifúngicos.

V. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

1. Determinar si el uso del ácido sórbico encapsulado permite aumentar la vida de anaquel y reducir los costos, comparado con el uso de otros antifúngicos en pan de caja que será distribuido.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar cuántos días se aumenta la vida de anaquel utilizando ácido sórbico encapsulado en diferentes proporciones con respecto al pan control que no tiene ningún antifúngico adicionado.
2. Evaluar si el ácido sórbico encapsulado aumenta la vida de anaquel de un pan de caja en comparación con el uso de otros antifúngicos con respecto al pan control que no contiene ningún agente antimicrobiano.
3. Determinar en qué porcentaje es posible reducir la levadura cuando se utiliza ácido sórbico encapsulado con respecto al uso del ácido sórbico sin encapsular.
4. Determinar si la adición de ácido sórbico encapsulado permite reducir los costos de un pan de caja en comparación con los costos de un pan de caja elaborado con cualquier otro antifúngico.

VI. METODOLOGÍA

ETAPA 1 - Preparación del agua peptonada bufferada y agar DRBC para cajas petri.

Preparación del Agua Petonada Bufferada

- Para 1 litro de agua medir 2.5 g de reactivo para preparar agua peptonada bufferada.
- Agregar 900 mL de agua destilada en un Erlenmeyer de 1 litro.
- Agregar los 2.5 gramos de reactivo.
- Agregar los últimos 100 mL de agua destilada.
- Agitar con un agitador magnético hasta que se disuelva y el agua quede con una tonalidad amarilla-beige.
- Dividir en Erlenmeyers de 500 mL, colocarle un tapón de algodón, papel kraft, cáñamo y cinta testigo ara autoclavar durante 15 minutos a 15 psi.

Preparación del Agar DRBC para cajas petri

- Para 1 litro de agua medir 35 g de reactivo de agar DRBC.
- Cada caja petri necesita 25 mL.
- Agregar 900 mL de agua destilada en un Erlenmeyer de 1 litro.
- Agregar los 35 g de reactivo.
- Agregar los últimos 100 mL de agua destilada.
- Tapar con algodón, agitar con un agitador magnético y llevar a punto de ebullición para disolver y que se cocine el reactivo.
- En la primera burbuja visible quitar de la estufa.
- Dejar reposar hasta que enfría un poco.
- Ponerle papel kraft y cerrar con cáñamo, colocarle cinta testigo y autoclavar durante 15 minutos a 15 psi.

ETAPA 2 - Preparación de las muestras de pan

Utensilios

- Moldes para pan de caja
- Batidora universal
- Pesa
- Bowls
- Trapos húmedos
- Horno
- Papel encerado
- Cucharas
- Papel de aluminio
- Tazas medidoras para agua

- Termómetro
- Cronómetro

Ingredientes

- Harina dura
- Leche en polvo
- Azúcar
- Sal
- Levadura
- Manteca
- Agua

Tabla 7 – Ingredientes y porcentaje panadero para la elaboración de pan de caja en base a 1 kg de pan

Ingredientes	Porcentaje	Ingredientes en base a 1 kg de pan (g)
Harina dura	100	367
Agua	54.166	198
Azúcar	10.42	38
Leche en polvo	3.125	11
Levadura	6.25	22
Manteca	6.25	22
Sal	1.25	4

PROCEDIMIENTO

1. Pesar correctamente los ingredientes.
2. Mezclar en seco harina dura y leche en polvo.
3. En la amasadora verter inicialmente el azúcar, la sal, la levadura, la manteca y el agua.
4. Poner a funcionar la máquina con los elementos que contiene y después de unos 2 minutos incorporar la harina a los ingredientes que contiene el tazón de la amasadora.
5. Mezclar hasta que se vea que la masa tiene una consistencia homogénea y elástica.
6. Retirar la pasta del tazón de la amasadora.
7. Dividir la masa en el peso deseado y dejar reposar durante 10 minutos cubierta de grasa.

8. Darle el largo del molde a la masa y acomodar en el molde previamente engrasado, comprimiéndolo con las manos hasta el fondo, distribuyéndolo uniformemente para que se eleve de manera pareja.
9. Dejar reposar la masa en los moldes, teniendo cuidado de no cerrar completamente la tapadera. Se deja una abertura de más o menos una pulgada para que el aire pueda salir del molde.
10. Fermentar durante 80 minutos con una humedad de 75% a una temperatura de 26°C.
11. Sacar de la fermentadora y meter al horno previamente encendido a la temperatura deseada.
12. Al meter al horno, se cierra completamente el molde.
13. Hornear a 380°F (193°C) durante 40 minutos.
14. Dejar enfriar hasta que el pan llegue a una temperatura de 30°C.
15. Empacar en bolsas de polietileno de baja densidad.

Diagrama 2 – Proceso indicativo para la elaboración del pan durante estudio



Tabla 8 – Matriz de porcentaje utilizado para cada antimoho, producto total

	0.075%	0.10%	Total de producto	En duplicado
Propionato de calcio	x	x	2	4
Ácido sórbico	x	x	2	4
Ácido sórbico encapsulado	x	x	2	4
Total de producto sin el control			8	16
Total de producto más el control			12	24

*Se realizará en duplicado cada muestra, teniendo un total de 12 productos. Cada producto tendrá su muestra control (pan de caja sin ningún tipo de agente antimicrobiano), por lo que al final se tendrán 24 muestras.

Tabla 9 – Matriz de porcentaje de ácido sórbico encapsulado utilizado para definir el porcentaje óptimo de reducción de levadura

	0.075%	0.10%	Total de producto	En duplicado
Ácido sórbico encapsulado				
10% menos de levadura	x	x	2	4
15% menos de levadura	x	x	2	4
20% menos de levadura	x	x	2	4
Total de producto sin el control			9	16
Total de producto más el control			12	24

*Se realizará en duplicado cada muestra, teniendo un total de 12 productos. Cada producto tendrá su muestra control (pan de caja sin ningún tipo de agente antimicrobiano), por lo que al final se tendrán 24 muestras.

Procedimiento

Realizar cada día una formulación diferente (teniendo 12 formulaciones en total) y preparar una muestra control para cada formulación.

1. Sembrar el pan control de la formulación que se hizo ese día.
2. Sembrar el pan de la formulación que se hizo ese día.
3. Después de tener empacado el pan en la bolsa de polietileno de baja densidad, se dejará guardado a temperatura ambiente.
4. Observar cada dos días el pan para determinar si hay presencia de moho en la corteza. Procurar hacerlo a la misma hora.
5. Llevar conteo de días sin presencia de moho.
6. A la primera presencia de moho en la corteza, sembrar.

ETAPA 3 - Procedimiento Microbiológico tanto para muestras preparadas ese mismo día como para muestras con primera presencia de moho

ISO 7954 Directiva general para el recuento de levaduras y mohos. Técnica de enumeración de las colonias a 25°C.

1. Preparar la muestra y diluciones de los homogeneizados
2. Transferir 0.1 mL de cada una de las diluciones seleccionadas previamente a 2 cajas de Petri por dilución conteniendo el agar DRBC, previamente marcadas y distribuir con una espátula de Drigalsky estéril. El factor de dilución a servir depende de la procedencia de la muestra.
3. Hacer control de esterilidad del agua peptonada o el diluyente utilizado, incubando una caja que contenga 0.1 mL de agua peptonada sobre el agar DRBC.
4. Incubar a $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 5 días. (ISO 7954)

ETAPA 4 – Recuento total de mohos y levaduras

Agar DRBC Levaduras y Mohos

Normalmente la placa que se utiliza para el recuento de levaduras y mohos posee un colorante que indica cuáles son levaduras y cuáles son mohos. Esto se hace por medio de un contraste, el cual facilita el recuento. Existen algunas características básicas para determinar si lo que está en la placa son levaduras o mohos.

1. Levaduras:

- Colonias pequeñas
- Las colonias tienen bordes definidos
- Son de color rosa-tostado a azul-verdoso
- Las colonias pueden aparecer resaltadas
- Generalmente no tienen un centro negro en el centro de la colonia

2. Mohos:

- Las colonias son grandes
- Las colonias tienen bordes difusos
- Color variable (los mohos pueden producir sus propios pigmentos)
- Las colonias son planas
- Generalmente con un punto en el centro de la colonia (3M)

VII. RESULTADOS

A. VIDA DE ANAQUEL

A continuación se presentan los resultados correspondientes al promedio de las muestras de pan realizadas en duplicado para determinar la vida de anaquel. El pan fue almacenado a temperatura ambiente. En este estudio se aislan las muestras de pan con 15% menos de levadura y con una adición del 0.075% y 0.10% de ácido sórbico encapsulado. Esto se debe a que los resultados no fueron congruentes, por lo que al ahislarlos no se verán afectados los resultados reales del estudio.

Las muestras de pan que tienen un 10 y 20% menos de levadura con una adición de 0.075 y 0.10% se encuentran con un porcentaje doble del ácido sórbico encapsulado. Esto se debe a que el antifúngico utilizado está compuesto por 50% de ácido sórbico y 50% de estearina de palma. Consecuentemente la formulación final quedó con 0.15% (0.075% x 2) y 0.20% (0.10% x 2). Para términos prácticos del estudio, los resultados estarán expresados en 0.075 y 0.10% para que la comparación sea más clara.

Tabla 10 – Vida de anaquel promedio de cada muestra

Tipo de muestra	Vida de anaquel promedio (días)
0.075% propionato de calcio	11.5
Muestra control	9
0.10% propionato de calcio	16
Muestra control	8.5
0.075% ácido sórbico	11
Muestra control	7
0.10% ácido sórbico	13.5
Muestra control	9
0.075% ácido sórbico encapsulado	12
Muestra control	8
0.10% ácido sórbico encapsulado	15
Muestra control	8
10% menos de levadura al 0.075% de ácido sórbico encapsulado	16
Muestra control	8.5
20% menos de levadura al 0.075% de ácido sórbico encapsulado	14
Muestra control	7.5
10% menos de levadura al 0.10% de ácido sórbico encapsulado	17
Muestra control	8
20% menos de levadura al 0.10% de ácido sórbico encapsulado	16
Muestra control	8

En la Tabla 10 se puede observar el promedio de la vida de anaquel de todas las muestras. Se puede apreciar que todas las muestras control están en un promedio de 7 a 9 días de vida de anaquel. Por otro lado, las muestras que contienen algún antifúngico poseen una vida de anaquel más larga. Al comparar las muestras de propionato de calcio, el cambio de aumento de vida de anaquel al agregar dicho antifúngico hasta 0.10% es muy notable. Pasa de estar de 11.5 días (0.075%) hasta 16 días. El ácido sórbico también aumentó la vida del producto, sin embargo al evaluar y comparar con las muestras que contienen propionato de calcio, se puede observar que se obtiene una vida de anaquel más larga con el propionato. Por otro lado al evaluar las muestras con el ácido sórbico encapsulado se puede observar que al estar a 0.075% es el que más vida de anaquel posee. Sin embargo, al evaluarlo a 0.10%, está por debajo del propionato de calcio.

Con las muestras cuyo porcentaje de levadura fue menor, se puede observar que al aumentar el ácido sórbico encapsulado a 0.10% aumenta la vida de anaquel en comparación al tener un porcentaje de 0.075. Sin embargo, se puede apreciar que la vida de anaquel es más alta al tener 10% menos de levadura que 20%.

Tabla 11 – Resultado estadístico de la vida promedio de las muestras según el antifúngico utilizado a diferentes porcentajes

Fuente de variación	F	P-valor	F-crítico
Inter Grupos	20.91	0.00098	4.39

La Tabla 11 demuestra que la fuente de variación proviene de los inter-grupos. Debido a que el valor de la probabilidad F es mayor al valor crítico F, se puede determinar que hay una diferencia entre las medias. Dicho resultado se puede confirmar al observar el valor de p, que en este caso es menor que 0.05 el cual fue el valor que se le asignó a α .

Tabla 12 – Diferencia promedio de vida de anaquel con respecto al control y porcentaje de aumento de vida de anaquel de cada muestra

Tipo de muestra	Diferencia promedio de vida de anaquel (días) comparado con el control	Aumento de los días de la vida de anaquel (porcentaje)
0.075% propionato de calcio	2.5	28
0.10% propionato de calcio	7.5	88
0.075% ácido sórbico	4	57
0.10% ácido sórbico	4.5	50
0.075% ácido sórbico encapsulado	4	50
0.10% ácido sórbico encapsulado	7	88
10% menos de levadura al 0.075% de ácido sórbico encapsulado	7.5	88
20% menos de levadura al 0.075% de ácido sórbico encapsulado	6.5	87
10% menos de levadura al 0.10% de ácido sórbico encapsulado	9	113
20% menos de levadura al 0.10% de ácido sórbico encapsulado	8	100

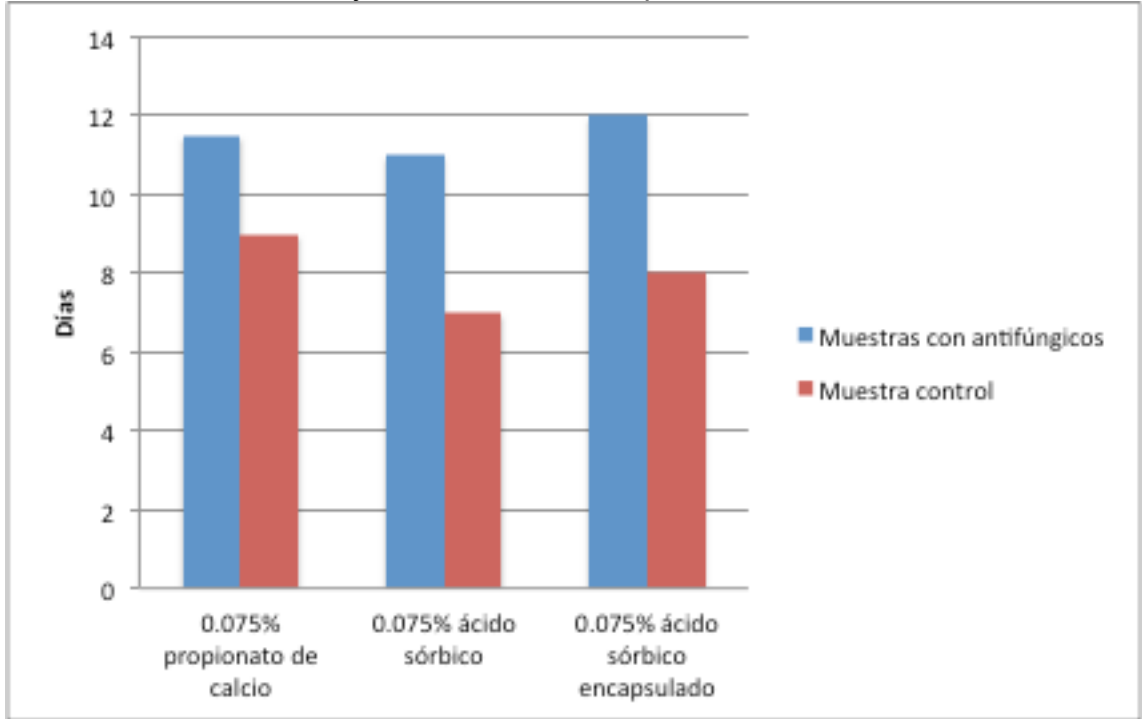
La Tabla 12 provee un detalle sobre el porcentaje de aumento de la vida de anaquel calculado en días para todas las muestras. Según los resultados obtenidos se puede determinar que la formulación que posee una reducción del 10% de levadura y que tiene una adición de 0.10% de ácido sórbico encapsulado, posee el mayor porcentaje de aumento de vida de anaquel, siendo el mismo de 113. Se esperaría que la muestra con 20% menos de levadura y con la misma cantidad del antifúngico tuviera un porcentaje mayor, sin embargo en este caso hay que tomar también en cuenta que el crecimiento de bacterias pudo ser mayor a pesar de tener menos levadura. Esto se puede deber a que el ácido sórbico es un antifúngico para matar mohos y levaduras, pero no bacterias. Durante el proceso de la elaboración del pan pudo haber habido más contaminación con el pan cuya formulación es de 20% menos de levadura a comparación del pan con una formulación de una reducción de levadura del 10%.

Tabla 13 – Resultado estadístico del porcentaje de vida de anaquel de las muestras según el antifúngico utilizado a diferentes porcentajes

Fuente de variación	F	P-valor	F-crítico
Inter Grupos	5.25	0.034	4.39

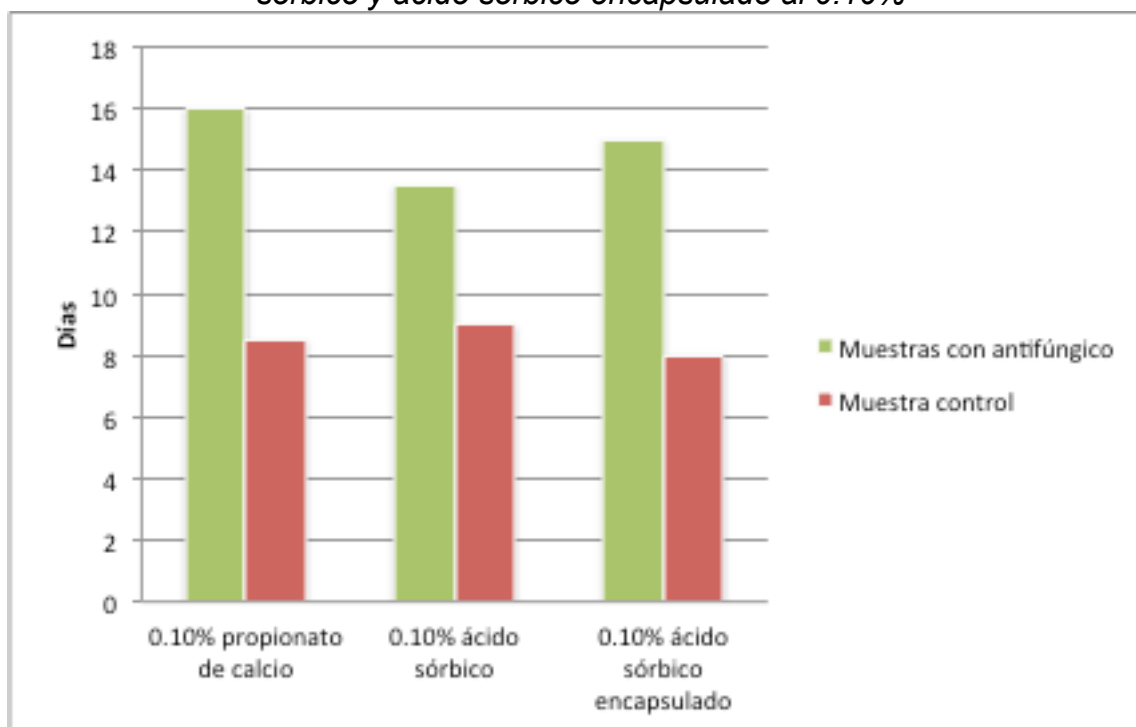
Nuevamente se puede observar que el valor F es mayor al F crítico, por lo que sí hay una diferencia entre las medias. Se confirma al evaluar el valor p, que en este caso fue de 0.034, indicando que es menor que 0.05, por lo que no se cumple la igualdad de medias entre los grupos.

Gráfica 1 – Comparación de vida de anaquel de pan con propionato de calcio, ácido sórbico y ácido sórbico encapsulado al 0.075%



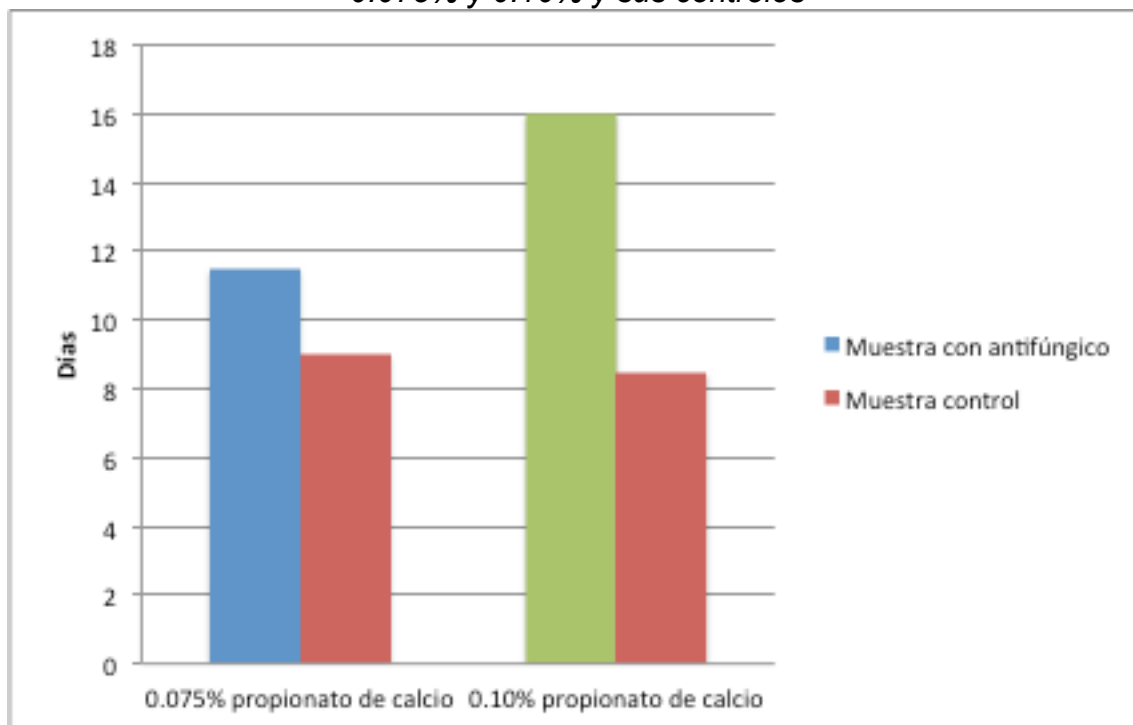
En la Gráfica 1 se puede observar una comparación de vida de anaquel entre el propionato de calcio, ácido sórbico y ácido sórbico encapsulado al 0.075% de adición. Al evaluar la misma se puede determinar que las muestras que poseen el antifúngico tienen un aumento en la vida de anaquel, teniendo mayor predominancia la muestra con el ácido sórbico encapsulado. Le sigue el propionato de calcio y por último el ácido sórbico.

Gráfica 2 – Comparación de vida de anaquel de pan con propionato de calcio, ácido sórbico y ácido sórbico encapsulado al 0.10%

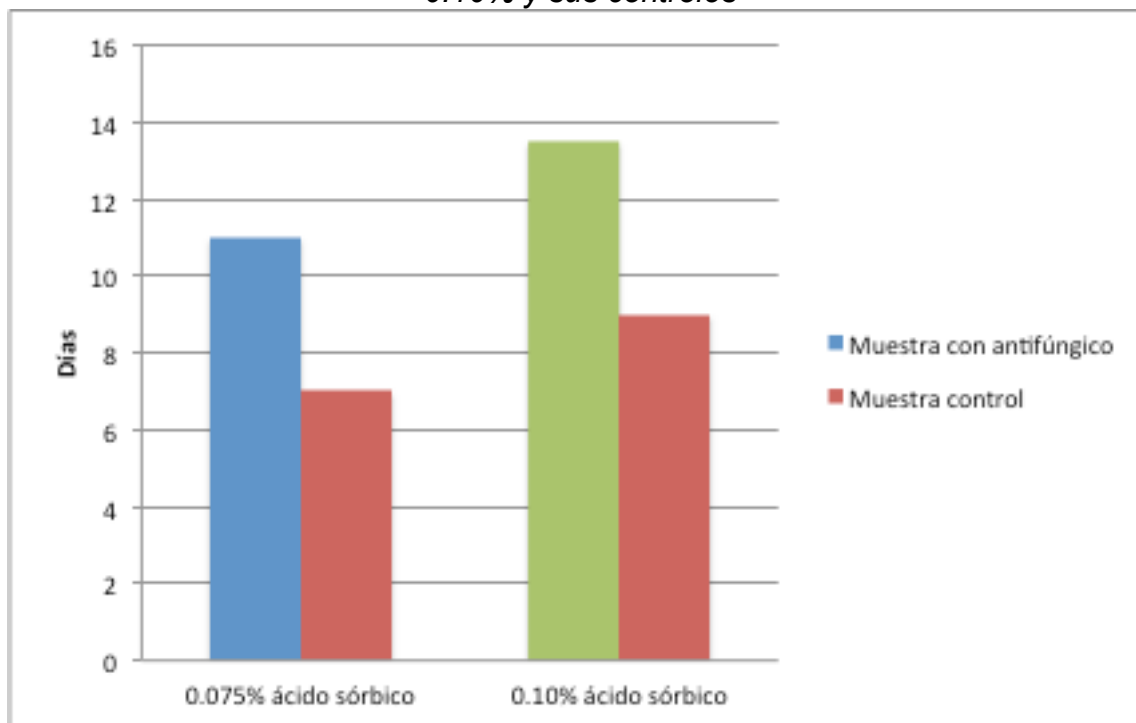


Se puede ver que al aumentar en la formulación el porcentaje del antifúngico a 0.10, la vida de anaquel incrementa más. Sin embargo al evaluar los tres antifúngicos (propionato de calcio, ácido sórbico y ácido sórbico encapsulado), se puede observar que la muestra de pan que poseía el propionato de calcio fue la que tuvo una mayor vida de anaquel, llegando a un promedio de 16 días, mientras que la que tenía el ácido sórbico encapsulado llegó a 15 y la del ácido sórbico llegó a 13. Como en la gráfica anterior, la muestras control tienen menos vida de anaquel.

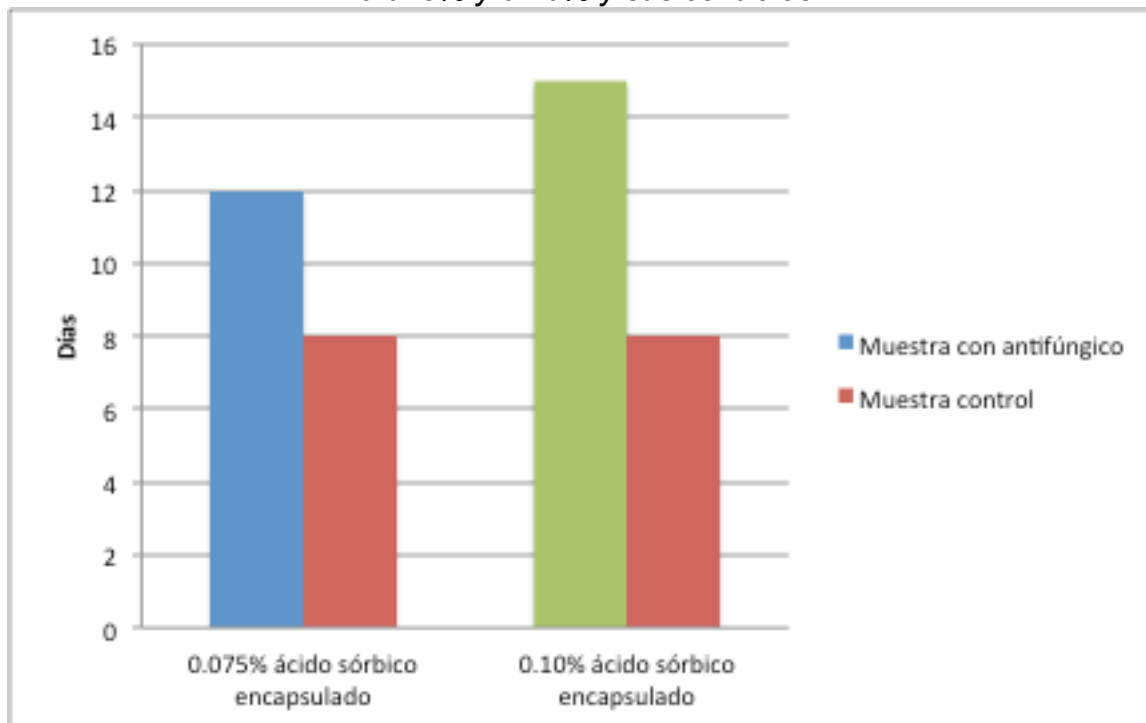
Gráfica 3 – Comparación de vida de anaquel de pan con propionato de calcio al 0.075% y 0.10% y sus controles



Gráfica 4 – Comparación de vida de anaquel de pan con ácido sórbico al 0.075% y 0.10% y sus controles

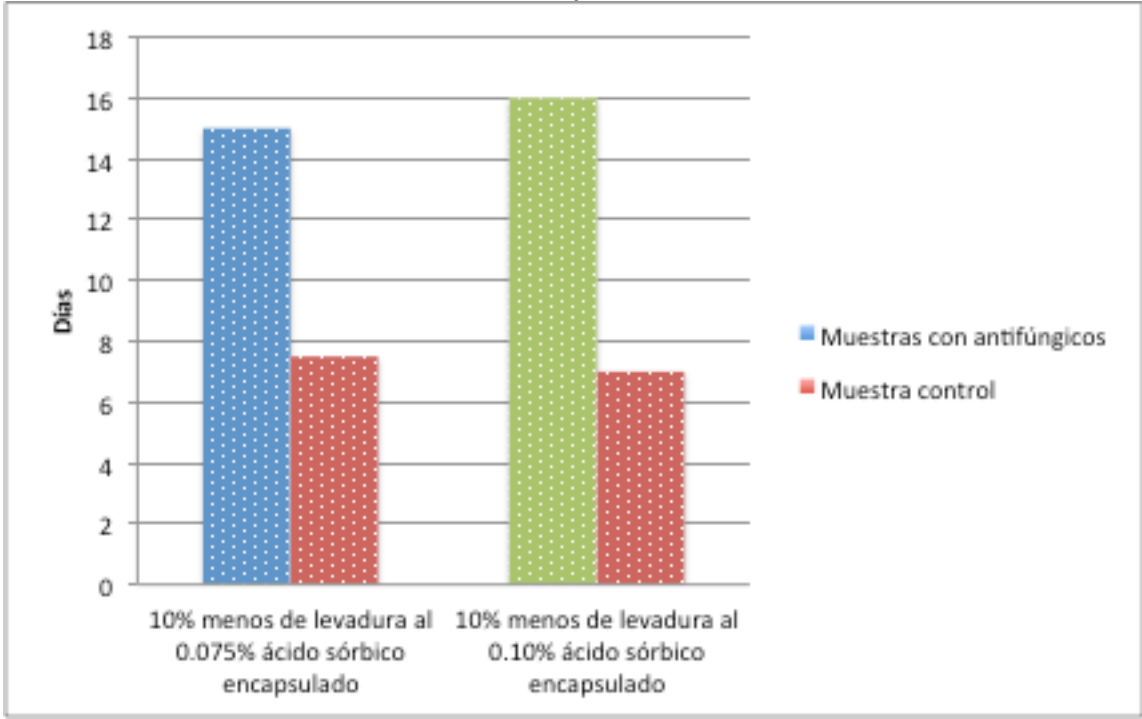


Gráfica 5 – Comparación de vida de anaquel de pan con ácido sórbico encapsulado al 0.075% y 0.10% y sus controles

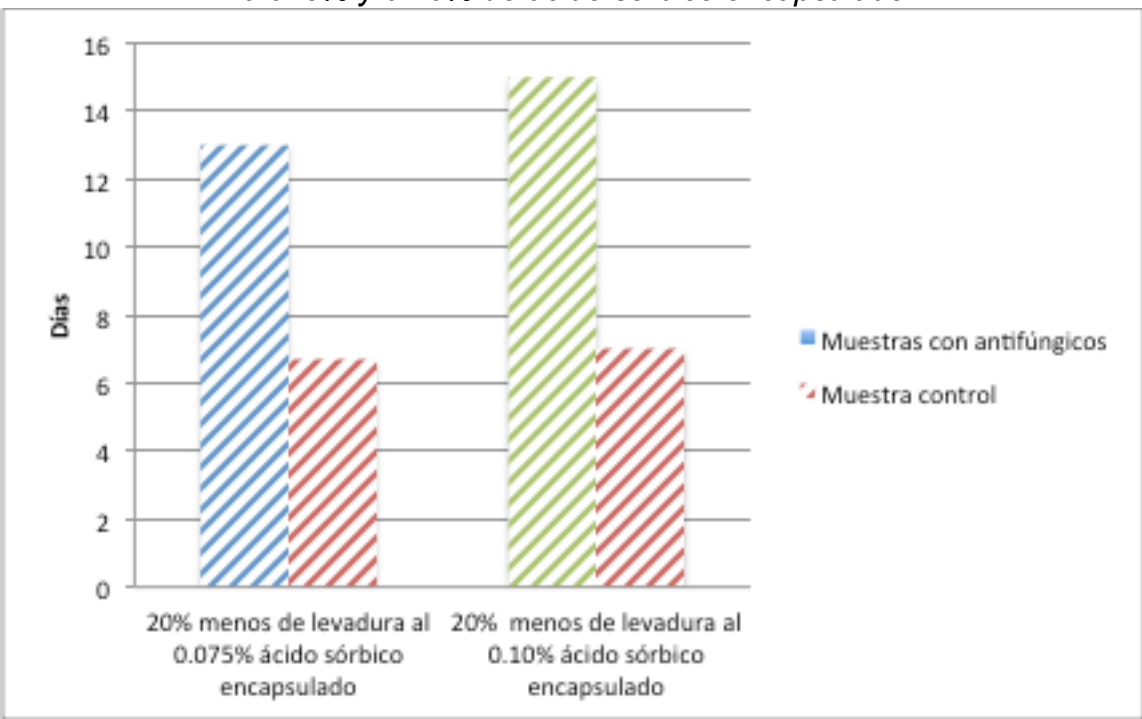


Las gráficas 3, 4 y 5 hacen una comparación de la vida de anaquel de las muestras de pan que poseen el propionato de calcio, ácido sórbico y ácido sórbico encapsulado en los diferentes porcentajes (0.075 y 0.10). En la Gráfica 3 se puede observar muy bien que al aumentar el propionato de calcio en un 0.025% aumenta considerablemente la vida de anaquel en comparación su respectiva muestra control. Lo mismo pasó con el ácido sórbico en la Gráfica 4 y con el ácido sórbico encapsulado en la Gráfica 5.

Gráfica 6 – Comparación de vida de anaquel del pan con un 10% menos de levadura a 0.075% y 0.10%

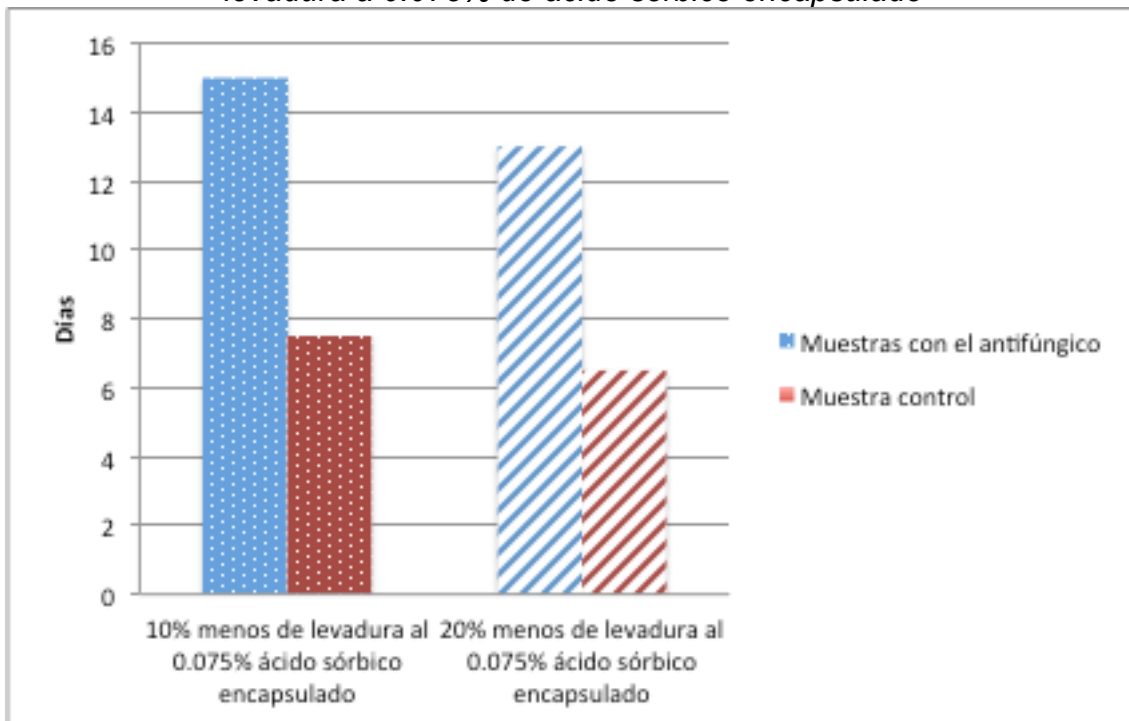


Gráfica 7 – Comparación de vida de anaquel del pan con un 20% menos de levadura a 0.075% y 0.10% de ácido sórbico encapsulado

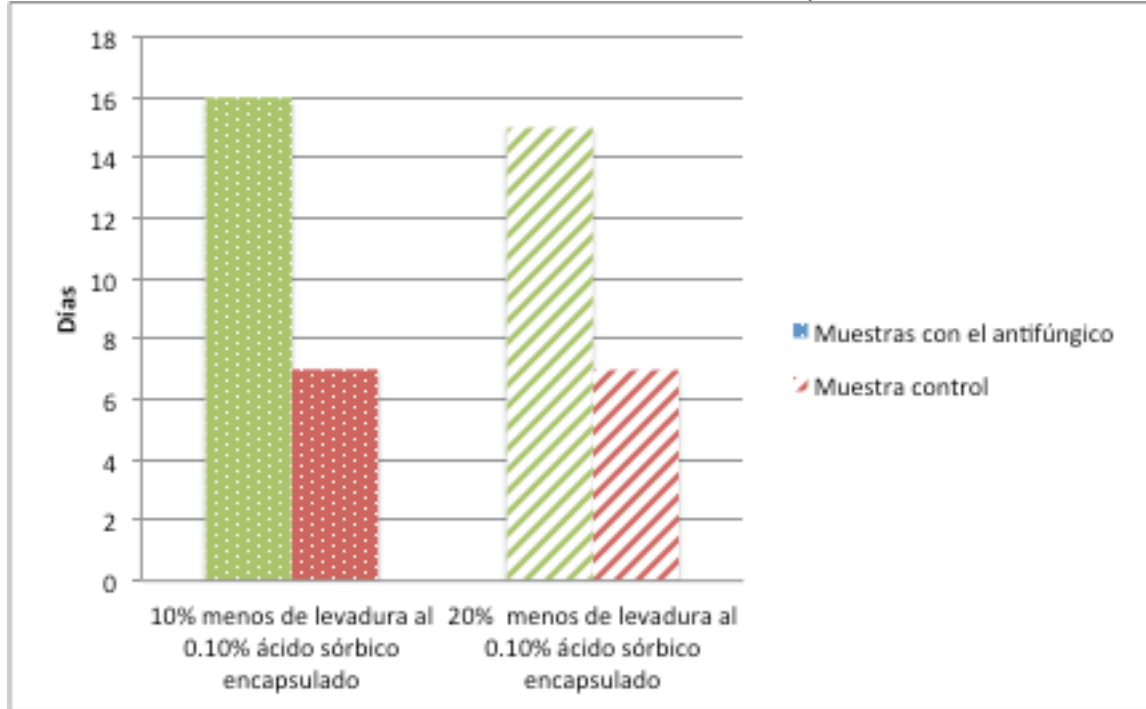


Las gráficas 6 y 7 hacen una comparación de la vida de anaquel de la muestra al disminuir la levadura en un 10 y 20%, siempre al adicionar 0.075 y 0.10% de un antifúngico a la formulación original. El comportamiento es el mismo para ambas gráficas, las muestras que poseen 0.10% de ácido sórbico encapsulado tienden a aumentar su vida de anaquel en comparación con las muestras que poseen un 0.025% menos del antifúngico. Nuevamente, al comparar con las muestras control, se puede ver que el aumento de la vida de anaquel es muy elevado.

Gráfica 8 – Comparación de vida de anaquel del pan con un 10 y 20% menos de levadura a 0.075% de ácido sórbico encapsulado

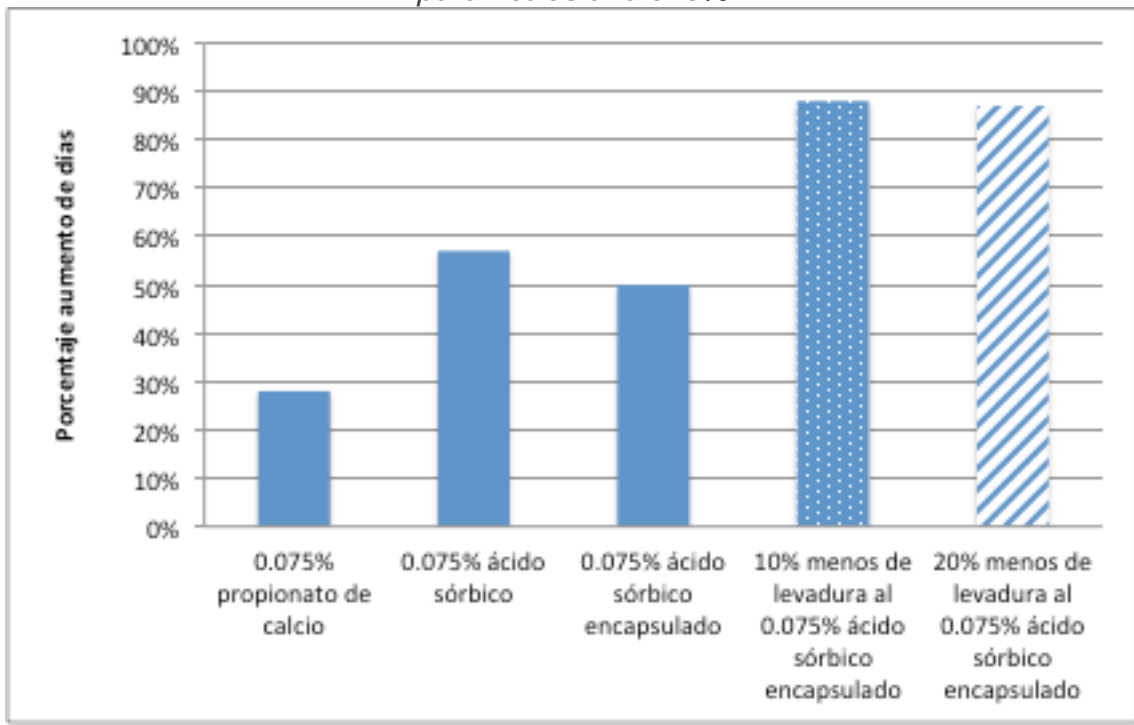


Gráfica 9 – Comparación de vida de anaquel del pan con un 10 y 20% menos de levadura a 0.10% de ácido sórbico encapsulado

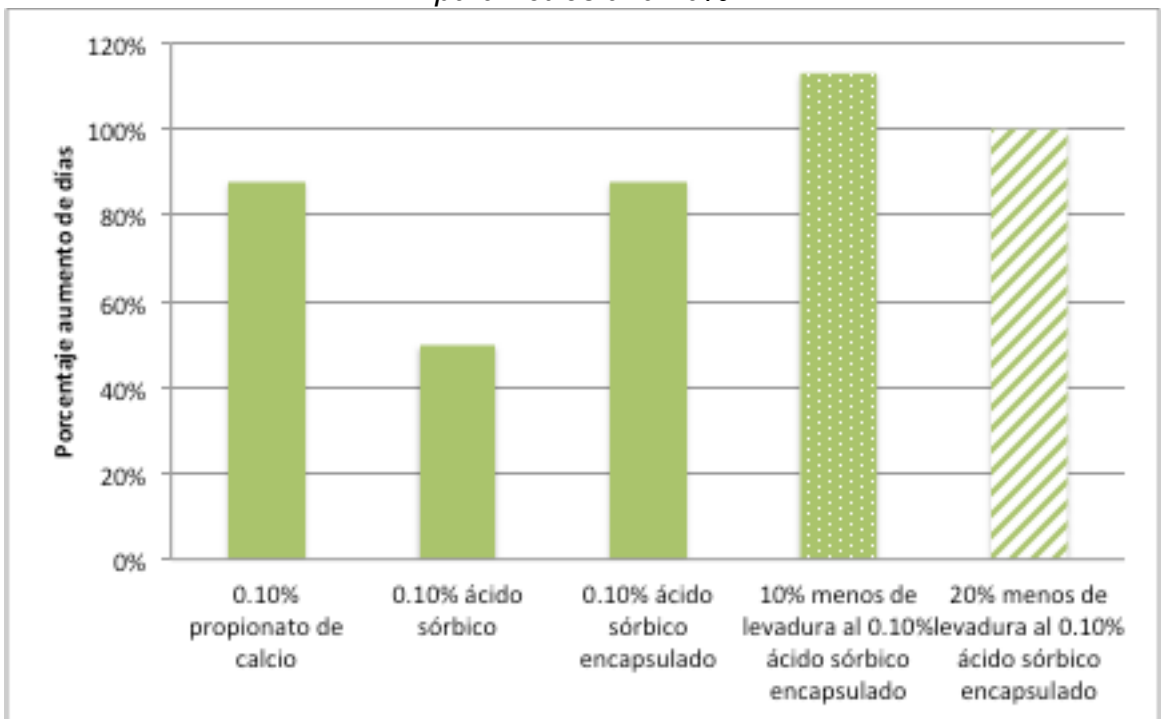


Se puede observar en la Gráfica 8 que la tendencia del aumento de vida de anaquel al adicionar un antifúngico es la misma. Sin embargo al reducir la levadura en un 10 y 20% los resultados varían un poco. En la gráfica se puede observar que la vida de anaquel es menor al tener una reducción del 20% de levadura. Sin embargo una de las razones principales de esto se puede deber a que la muestra con la reducción del 20% pudo haber sido contaminada durante la elaboración, teniendo mayor actividad microbiana. La misma tendencia se mira en la Gráfica 9, la muestra con la reducción del 10% posee una vida de anaquel más larga. Sin embargo al comparar ambas gráficas se puede observar que al tener una adición del 0.10% del ácido sórbico encapsulado, aumenta la vida de anaquel en comparación con el 0.075%.

Gráfica 10 – Comparación de porcentaje de aumento de vida de anaquel con los 5 parámetros al 0.075%



Gráfica 11 – Comparación de porcentaje de aumento de vida de anaquel con los 5 parámetros al 0.10%



Las gráficas 10 y 11 representan una comparación de los cinco parámetros, siendo los mismos el propionato de calcio, ácido sórbico, ácido sórbico encapsulado, el uso del ácido sórbico encapsulado en una muestra de pan con una reducción del 10% de la levadura, al igual que una muestra con una reducción del 20%. La Gráfica 10 está basada en muestras con la adición del antimicrobiano a 0.075%, mientras que la Gráfica 11 se basa en la adición al 0.10%. En ambos casos se puede observar la misma tendencia, la muestra con la reducción del 10% es la que posee una mayor vida de anaquel. Las muestras cuya adición fue del 0.10% tuvieron el porcentaje de vida de anaquel más elevado.

B. MICROBIOLOGÍA

Las siguientes tablas representan detalladamente los resultados obtenidos de las muestras de pan en el área de microbiología. La prueba que se llevó a cabo fue un Recuento Total de Mohos y Levaduras en cajas petri con agar DRBC. Las muestras se dejaron en incubación a 25 °C durante 5 días.

Las muestras que se sembraron se dividen en dos grupos. siendo el primero el de las muestras que se sembraron del pan que se hizo ese mismo día; en el segundo pertenecen las muestras que se sembraron a la primera evidencia de moho en el pan.

Tabla 14 – Comparación de resultado microbiológico de las muestras con propionato de calcio a 0.075 y 0.10% entre el día que se elaboró el pan y el día que se evidenció presencia de moho

Tipo de muestra	Día que se elaboró el pan (UFC/g)	Día que se evidenció moho (UFC/g)
0.075% propionato de calcio	0	< 2 500
Control	9.091	< 2 500
0.075% propionato de calcio	0	< 2 500
Control	100	< 2 500
0.10% propionato de calcio	9.091	< 2 500
Control	18.182	< 2 500
0.10% propionato de calcio	27.273	< 2 500
Control	18.181	< 2 500

Tabla 15 – Comparación de resultado microbiológico de las muestras con ácido sórbico a 0.075 y 0.10% entre el día que se elaboró el pan y el día que se evidenció presencia de moho

Tipo de muestra	Día que se elaboró el pan (UFC/g)	Día que se evidenció moho (UFC/g)
0.075% ácido sórbico	0	< 2 500
Control	0	< 2 500
0.075% ácido sórbico	0	< 2 500
Control	390.9	< 2 500
0.10% ácido sórbico	9.091	< 2 500
Control	9.091	< 2 500
0.10% ácido sórbico	0	< 2 500
Control	0	< 2 500

Tabla 16 – Comparación de resultado microbiológico de las muestras con ácido sórbico encapsulado a 0.075 y 0.10% entre el día que se elaboró el pan y el día que se evidenció presencia de moho

Tipo de muestra	Día que se elaboró el pan (UFC/g)	Día que se evidenció moho (UFC/g)
0.075% ácido sórbico encapsulado	0	< 2 500
Control	18.182	< 2 500
0.075% ácido sórbico encapsulado	0	< 2 500
Control	0	< 2 500
0.10% ácido sórbico encapsulado	36.364	< 2 500
Control	0	< 2 500
0.10% ácido sórbico encapsulado	9.091	< 2 500
Control	0	< 2 500

Tabla 17 – Comparación de resultado microbiológico de las muestras reducidas al 10, 15 y 20% con ácido sórbico encapsulado a 0.075% entre el día que se elaboró el pan y el día que se evidenció presencia de moho

Tipo de muestra	Día que se elaboró el pan (UFC/g)	Día que se evidenció moho (UFC/g)
10% menos de levadura	0	< 2 500
Control	27.273	< 2 500
10% menos de levadura	0	< 2 500
Control	18.182	< 2 500
15% menos de levadura	9.091	< 2 500
Control	9.091	< 2 500
15% menos de levadura	18.182	< 2 500
Control	9.091	< 2 500
20% menos de levadura	18.182	< 2 500
Control	0	< 2 500
20% menos de levadura	54.545	< 2 500
Control	9.091	< 2 500

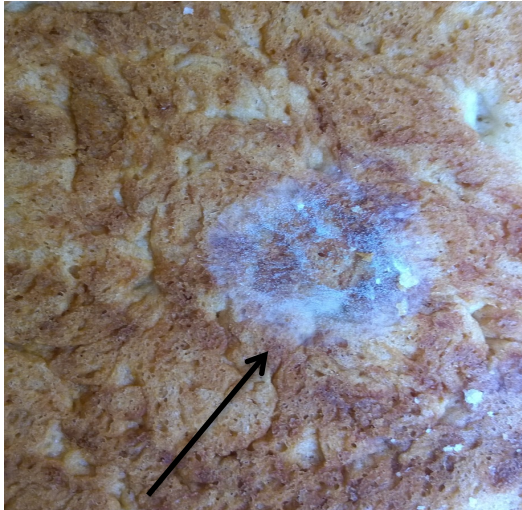
Tabla 18 – Comparación de resultado microbiológico de las muestras reducidas al 10, 15 y 20% con ácido sórbico encapsulado a 0.10% entre el día que se elaboró el pan y el día que se evidenció presencia de moho

Tipo de muestra	Día que se elaboró el pan (UFC/g)	Día que se evidenció moho (UFC/g)
10% menos de levadura	0	< 2 500
Control	36.364	< 2 500
10% menos de levadura	136.36	< 2 500
Control	609.09	< 2 500
15% menos de levadura	36.364	< 2 500
Control	81.810	< 2 500
15% menos de levadura	45.454	< 2 500
Control	9.0191	< 2 500
20% menos de levadura	0	< 2 500
Control	45.454	< 2 500
20% menos de levadura	36.364	< 2 500
Control	45.454	< 2 500

Los resultados obtenidos de las tablas 14, 15, 16, 17, y 18, representan las Unidades Formadoras de Colonias por gramo de muestra que se analizó. Se puede observar que las muestras que se sembraron el mismo día que se hizo el pan están dentro del límite según la normativa del RTCA titulada “Criterios Microbiológicos para la Inocuidad de Alimentos” en el grupo 7 para productos de panadería y pastelería. La misma permite como nivel máximo 10^3 UFC/g. En el caso de las muestras que se sembraron el día que apareció moho, todas salieron MNPC (muy numerosas para

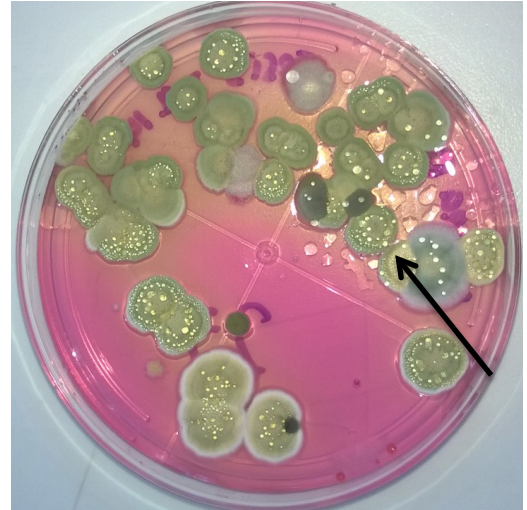
contar), por lo que el resultado obtenido fue mayor a 2 500 UFC/g las cuales no están dentro del límite establecido por el RTCA.

*Imagen 1 – Moho del género *Penicillium* en muestra de pan*



En la imagen superior se puede observar el crecimiento de un moho del género *Penicillium*. Esta imagen pertenece a la muestra 23 antes de prepararse para ser sembrada en el agar DRBC

*Imagen 2 – Moho del género *Penicillium*, en caja petri con agar DRBC*



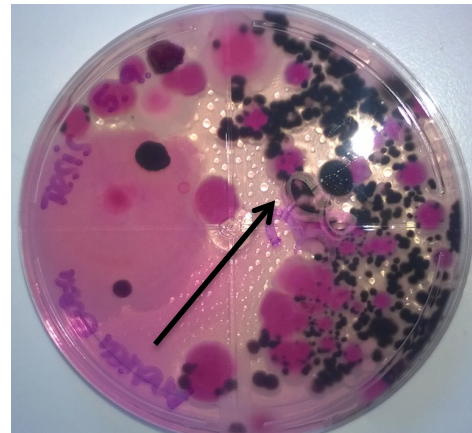
Se puede observar cómo dicho género de moho creció en el medio de cultivo durante 5 días a 25 °C.

*Imagen 3 – Presencia de *Rhizopus* en la muestra número 11 del pan*



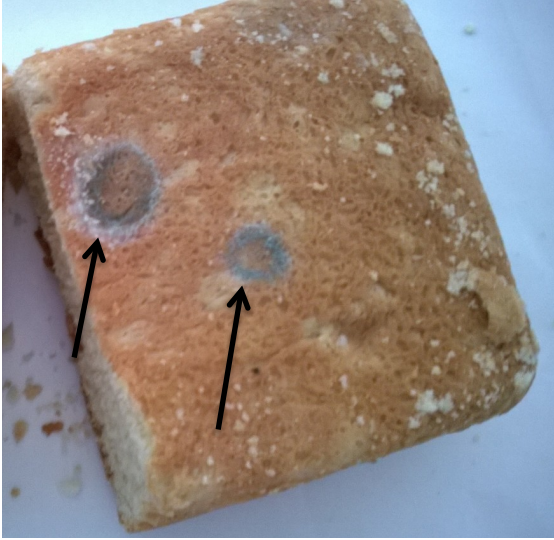
La imagen muestra en la esquina superior izquierda un punto negro, representando la presencia de *Rhizopus*.

*Imagen 4 – Caja petri con agar DRBC con presencia de *Rhizopus**



Los puntos negros observados en la caja petri son prueba de la presencia de *Rhizopus*. Las muestras de color fucsia son levaduras.

Imagen 5 – Presencia de *Aspergillus* en muestra de pan



Se puede observar cómo es que el moho no ha crecido completamente aún, sin embargo el círculo ya se ha cerrado completamente. La orilla del mismo es de color blanca, mientras que la parte de adentro se está convirtiendo en una tonalidad de azul con verde.

Imagen 6 – Corroboración de crecimiento del moho del género *Aspergillus*



En la imagen superior se mira el crecimiento del moho del género *Aspergillus*. Nuevamente se puede observar una alveola, en el círculo externo hay una tonalidad blanca, mientras que el interno se observa la mezcla de la tonalidad azul con verde.

C. COSTOS

Los costos que se presentan a continuación están basados en la cantidad de una libra. Las tablas resumen el costo total para cada formulación que se utilizó para la elaboración del pan y de esta manera determinar si había alguna disminución del mismo.

Asimismo se presentan imágenes que demuestran que no hubo un cambio significativo en cuanto al crecimiento del pan con las formulaciones que poseían una reducción de la levadura, tanto al 10% como al 20%.

En este caso no se tomó en consideración el costo del agua, debido a que al hacer los cálculos para determinar el precio de la misma, era tan mínimo que se tuvo que despreciar.

Tabla 19 – Costo detallado de la formulación con propionato de calcio a 0.075 y 0.10%

Ingrediente	0.075% Precio (Q)	0.10% Precio (Q)
Harina dura	9.5	9.5
Leche en polvo	1.11	1.11
Azúcar	0.35	0.35
Sal	0.04	0.04
Levadura	1.87	1.87
Manteca	1.68	1.68
Antimicrobiano	0.0098	0.013
TOTAL	14.55	14.56

Tabla 20 – Costo detallado de la formulación con ácido sórbico a 0.075 y 0.10%

Ingrediente	0.075% Precio (Q)	0.10% Precio (Q)
Harina dura	9.5	9.5
Leche en polvo	1.11	1.11
Azúcar	0.35	0.35
Sal	0.04	0.04
Levadura	1.87	1.87
Manteca	1.68	1.68
Antimicrobiano	0.02	0.03
TOTAL	14.57	14.58

Tabla 21 – Costo detallado de la formulación con ácido sórbico encapsulado a 0.075 y 0.10%

Ingrediente	0.075% Precio (Q)	0.10% Precio (Q)
Harina dura	9.5	9.5
Leche en polvo	1.11	1.11
Azúcar	0.35	0.35
Sal	0.04	0.04
Levadura	1.87	1.87
Manteca	1.68	1.68
Antimicrobiano	0.034	0.045
TOTAL	14.58	14.60

Tabla 22 – Costo detallado de la formulación con una reducción del 10% de levadura y una adición de 0.075 y 0.10%

Ingrediente	0.075% Precio (Q)	0.10% Precio (Q)
Harina dura	9.5	9.5
Leche en polvo	1.11	1.11
Azúcar	0.35	0.35
Sal	0.04	0.04
Levadura	1.68	1.68
Manteca	1.68	1.68
Antimicrobiano	0.034	0.045
TOTAL	14.39	14.41

Tabla 23 – Costo detallado de la formulación con una reducción del 20% de levadura y una adición de 0.075 y 0.10%

Ingrediente	0.075% Precio (Q)	0.10% Precio (Q)
Harina dura	9.5	9.5
Leche en polvo	1.11	1.11
Azúcar	0.35	0.35
Sal	0.04	0.04
Levadura	1.495	1.495
Manteca	1.68	1.68
Antimicrobiano	0.034	0.045
TOTAL	14.21	14.22

Tabla 24 – Costos de las formulaciones a 0.075 y 0.10% proporcionados en Quetzales

Porcentaje	Propionato de calcio (Q)	Ácido sorbico (Q)	Ácido sorbico encapsulado (Q)	Reducción del 10% (Q)	Reducción del 20% (Q)
0.075	14.55	14.57	14.58	14.39	14.21
0.10	14.56	14.58	14.60	14.41	14.22

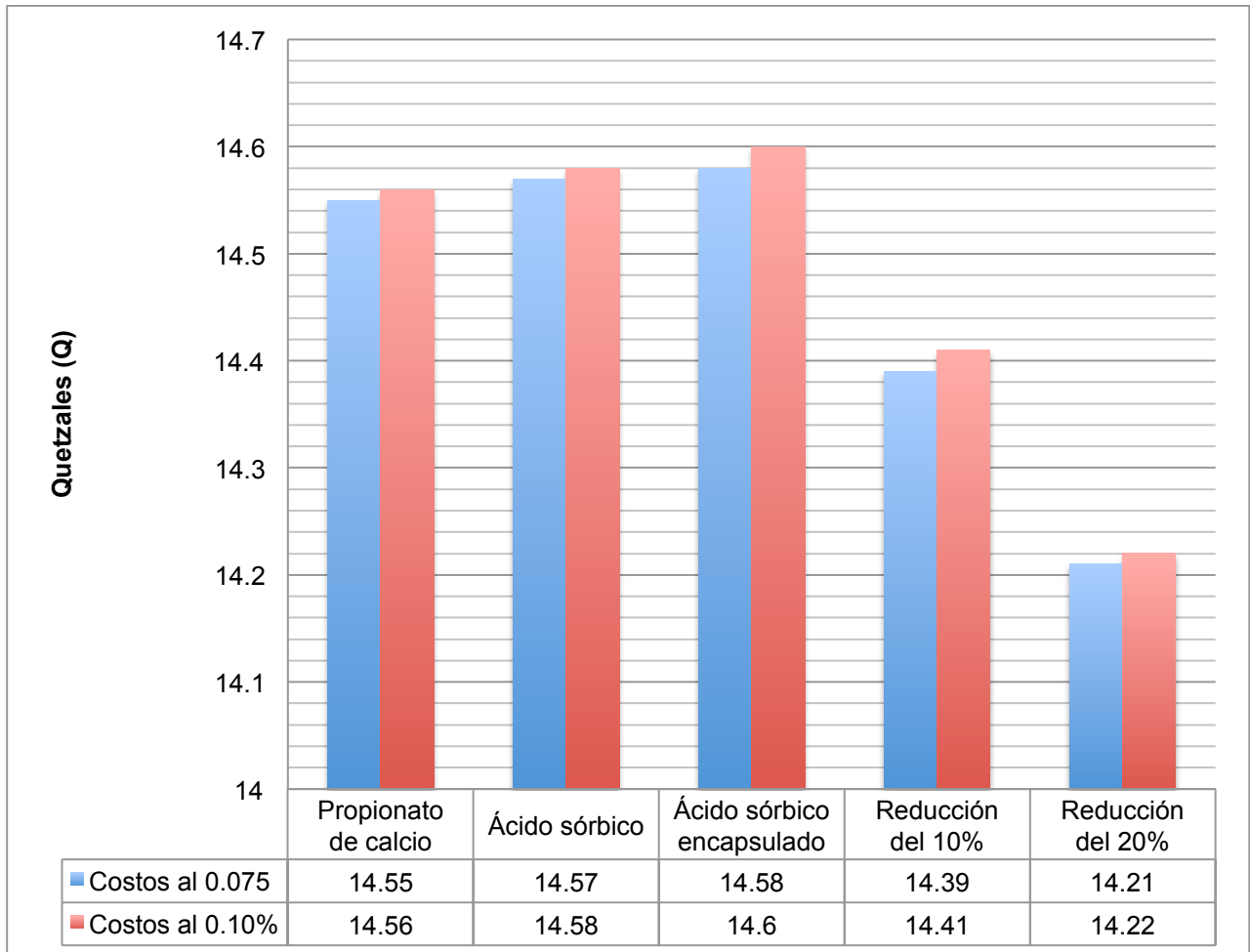
Las tablas 19, 20, 21, 22 y 23 dan un detalle sobre el costo de cada formulación que se realizó. La tabla 24 resume dichos datos, demostrando que al comparar el propionato de calcio con el ácido sórbico y el ácido sórbico encapsulado, el último antimicrobiano da el costo más caro. Sin embargo al reducir la levadura, que es uno de los ingredientes más caros se logra disminuir considerablemente el precio. Esto demuestra que es factible usar un antimicrobiano caro para proteger la levadura durante la fermentación para que crezca el pan, debido a que el precio sigue siendo lo suficientemente más bajo al reducir la levadura, en comparación con las otras formulaciones.

Tabla 25 – Resultado estadístico del porcentaje de vida de anaquel de las muestras según el tipo de antifúngico utilizado a diferentes porcentajes

Fuente de variación	F	P-valor	F-crítico
Inter Grupos	101535.2	1.86E-12	5.19

En este caso el valor de F es mucho más grande que el F crítico, por lo que se puede decir que las medias son diferentes. Debido a que el valor de p es menor que 0.05, se puede afirmar entonces que no se cumple con la igualdad de las medias entre los grupos evaluados.

Gráfica 12 – Comparación de los costos de las formulaciones con propionato de calcio, ácido sórbico, ácido sórbico encapsulado, 10 y 20% de reducción de levadura a 0.075 y 0.10%



La Gráfica 12 hace una comparación de los precios de las 10 formulaciones. Se puede observar que el costo de la formulación con ácido sórbico encapsulado es la más cara de todas, siguiéndole el ácido sórbico y por último la que posee el propionato

de calcio. Sin embargo se puede apreciar que las diferencias son muy mínimas. El costo de la formulación con ácido sórbico al 0.10% es el mismo que el de la formulación que posee ácido sórbico encapsulado, sin embargo este último se encuentra a 0.075%. Al aumentar en un 0.025% se nota que el precio aumenta a Q14.60.

A pesar que la formulación más cara de todas es la que posee el ácido sórbico, encapsulado, al reducir el porcentaje de levadura se aprecia cómo baja en un porcentaje el precio. Esto se debe a que la levadura es un ingrediente que es muy caro, y al reducirlo en un porcentaje, el costo disminuye considerablemente sin importar el uso del ácido sórbico, un antimicrobiano caro.

VIII. DISCUSIÓN

A. VIDA DE ANAQUEL

El objetivo principal del estudio fue determinar si el uso del ácido sórbico encapsulado permitía aumentar la vida de anaquel y reducir los costos, comparado con el uso de otros antifúngicos en pan de caja que será distribuido. Entre los objetivos específicos se esperaba determinar cuántos días se aumentaba la vida de anaquel utilizando ácido sórbico encapsulado en diferentes proporciones con respecto al pan control que no tenía ningún antifúngico adicionado. Asimismo evaluar si el ácido sórbico encapsulado aumentaba la vida de anaquel de un pan de caja en comparación con el uso de otros antifúngicos con respecto al pan control que no contenía ningún agente antimicrobiano. También determinar en qué porcentaje era posible reducir la levadura al utilizar ácido sórbico encapsulado con respecto al uso del ácido sórbico sin encapsular. Por último se buscaba determinar si la adición de ácido sórbico encapsulado permitía reducir los costos de un pan de caja en comparación con los costos de un pan de caja elaborado con cualquier otro antifúngico.

Para cumplir estos objetivos, se trabajó con 12 formulaciones diferentes, en las cuales se adicionó propionato de calcio, ácido sórbico y ácido sórbico encapsulado a 0.075 y 0.10%. Asimismo se trabajó con una reducción del 10, 15 y 20% de la levadura y una adición del ácido sórbico encapsulado a 0.075 y 0.10%. Sin embargo, debido a que los resultados de las formulaciones con una reducción del 15% a 0.075 y 0.10% de adición de ácido sórbico encapsulado fueron incongruentes, se decidió aislarlos del estudio para no afectar el mismo y de esta manera tener resultados más acertados. Las formulaciones reducidas al 10 y 20% con 0.075 y 0.10% de ácido sórbico encapsulado se hicieron con un porcentaje doble del agente antimicrobiano. Esto se debe a que el antifúngico utilizado está compuesto por 50% de ácido sórbico y 50% de estearina de palma. Consecuentemente la formulación final quedó con 0.15% (0.075% x 2) y 0.20% (0.10% x 2). Para términos prácticos del estudio, los resultados fueron expresados en 0.075 y 0.10% para que la comparación fuera más clara. Todas las formulaciones se hicieron en duplicado, pero los resultados están expresados como un promedio de las 48 muestras que se hicieron. La investigación se dividió en tres etapas, siendo las mismas determinación de la vida de anaquel, análisis microbiológico y determinación de costos.

En la primera etapa se pretendía determinar la vida de anaquel de todas las muestras que se realizaron, para que de esta manera se lograra comprobar cuál agente antimicrobiano era que el aumentaba en mayor proporción la vida útil del pan. En la sección de resultados, en la Tabla 10 se resume la vida de anaquel promedio de cada muestra, comparada con su control. Se puede apreciar que todas las muestras control están entre un rango de 7 a 9 días sin presencia de moho. Por otro lado, las muestras que tuvieron algún antifúngico presentaron una vida de anaquel más larga. Al comparar todas las muestras con la del 0.075 y 0.10% del antimicrobiano, la tendencia

siempre fue la misma, todas las muestras cuya adición fue al 0.10% tuvieron una vida de anaquel más larga que las que estuvieron al 0.75%. En las gráficas 3, 4 y 5 se puede apreciar de una mejor manera dicha tendencia. Al aumentar tanto el propionato de calcio, como el ácido sórbico y el ácido sórbico encapsulado en un 0.025%, aumenta considerablemente la vida de anaquel en comparación con su respectiva muestra control.

Al comparar los antifúngicos entre sí mismos para comprar cuál fue el que aumentó dicha vida útil en mayor proporción, según la Gráfica 1, se puede observar que con una adición al 0.075% del antimicrobiano, el ácido sórbico encapsulado presentó mejores resultados, siguiéndole el propionato de calcio y por último el ácido sórbico. Sin embargo, al aumentar los tres antifúngicos en un 0.025%, cambia un poco el resultado obtenido. Se hubiera esperado que nuevamente el ácido sórbico encapsulado hubiera presentado los mejores resultados al tener una mayor vida de anaquel, sin embargo en este caso el propionato de calcio tuvo una vida promedio de 16 días, mientras que el del ácido sórbico encapsulado fue de 15, seguido del ácido sórbico con solamente 13 días.

Con las siguientes formulaciones que se realizaron, las cuales fueron con una reducción del 10 y 20% de levadura y una adición del ácido sórbico encapsulado al 0.075 y 0.10%, los resultados fueron un tanto diferentes. Según la Tabla 12, la tendencia de aumentar la vida útil del producto teniendo un 0.10% del agente antimicrobiano usado es la misma. Sin embargo, se puede apreciar que la vida de anaquel es más alta al tener 10% menos de levadura que 20%. Los resultados no varían tanto, puesto que con la reducción del 10% a 0.075% la vida de anaquel promedio calculada en días fue de 16, pero si se aumenta en un 0.025% llega a 17 días. Con la reducción del 20% y con 0.075% del agente antimicrobiano la vida de anaquel promedio es de 14 días, y al aumentarse hasta 0.10%, se tuvo como resultado que llegó hasta 16 días. Dicha tendencia se puede comprobar con las gráficas 8 y 9, las cuales demuestran que sin importar en qué proporción esté el ácido sórbico, la vida útil del producto siempre va a ser más alta estando reducido en un 10% de levadura.

En la Tabla 10 se encuentran los resultados estadísticos obtenidos de la vida promedio de las muestras tanto con propionato de calcio, como del ácido sórbico y ácido sórbico encapsulado y la reducción del 10 y 20% con adición al 0.75 y 0.10%. Se puede observar que la fuente de variación proviene de los inter-grupos. Debido a que el valor de la probabilidad F (20.91) fue mayor que el valor crítico F (4.39), se pudo determinar que sí existe una diferencia entre las medias. Se puede corroborar y confirmar el resultado al observar el valor de p (0.00098), que en este caso fue menor que α cuyo valor fue de 0.05.

Estos resultados pueden visualizarse de una mejor manera en la tabla 14, la cual da un detalle sobre el porcentaje de aumento de la vida de anaquel calculada en días de las muestras que se realizaron. Se corrobora que la formulación con mejores resultados fue la que estuvo reducida en un 10% de levadura y con una adición del 0.10% de ácido sórbico encapsulado. Según dicha tabla el porcentaje de aumento fue de 113, siguiéndole el 100% de aumento de vida útil del producto con el 20% menos

de levadura y con 0.10% del antimicrobiano. La gráfica 11 demuestra este hecho, comprobando que esta formulación fue la que dio el mejor resultado. Por otro lado la Gráfica 10 demuestra la misma comparación de las cinco formulaciones realizadas, pero con una adición al 0.075% de los antifúngicos que se utilizaron. Nuevamente se corrobora que la tendencia es la misma, la formulación reducida al 10% es la que brinda mejores resultados, aumentando su vida de anaquel, en este caso, en un 88%.

Al comparar la diferencia de los días promedio de la vida de anaquel con el control de cada muestra, se puede demostrar en cuántos días aumentó la vida útil de cada muestra. Nuevamente se corrobora que al reducir en un 10% la levadura y adicionándole 0.10% de ácido sórbico encapsulado al pan, la vida útil aumenta. En este caso se alargó 9 días más que su muestra control.

En la Tabla 13 se encuentran los resultados estadísticos del porcentaje de la vida de anaquel de las muestras con propionato de calcio, ácido sórbico, ácido sórbico encapsulado, reducción del 10 y 20%, todos adicionados tanto al 0.075 y 0.10%. Dicha tabla demuestra que sí hay una diferencia entre las medias, debido a que F equivalió a 5.25 y el valor crítico de F fue de 4.39. Se confirma el resultado obtenido, debido a que P tuvo un valor de 0.034, menor que 0.05.

Una de las razones por las que la vida útil del pan aumenta al estar en un 10% reducido de levadura en comparación con un 20% se puede deber a uno de los factores implícitos que existen en los alimentos. Dichos factores se basan en cómo reaccionan los microorganismos dentro del alimento, y cómo los microorganismos reaccionan entre sí en el alimento. Existen tres factores que afectan este, siendo el primero el factor de tiempo específico de crecimiento, el segundo el sinergismo y por último se encuentra el factor de antagonismo. Es posible que la levadura reaccionara con las bacterias antagónicamente, por lo que el crecimiento de las levaduras no permitiera que las bacterias proliferaran. Debido a ello, al reducir la levadura en un 20%, las bacterias pudieron haber proliferado más en el alimento, por lo que la vida de anaquel disminuyó, en comparación con las muestras a las que se les redujo en un 10% la levadura. Sin embargo esto no se puede comprobar, debido a que el agar que se utilizó para sembrar las muestras de pan no permite observar qué microorganismos que crecieron sean bacterias entre los mohos y levaduras que crecieron en las cajas Petri. Por lo que dicha hipótesis se deja a discreción del lector.

B. MICROBIOLOGÍA

En la segunda etapa se demostró microbiológicamente la diferencia del crecimiento de mohos y levaduras del pan recién horneado, con el pan que alcanzó su vida útil. Tanto la tabla 16, como la 17, 18, 19 y 20 tienen resultados evidentes que cuando un pan es recién horneado, no hay ningún problema de consumirlo, debido a que el crecimiento microbiano es tan bajo, que ha sido demostrado que no afecta la salud del humano. Se puede observar que las muestras que se sembraron el mismo día que se hizo el pan están dentro del límite según la normativa del RTCA titulada "Criterios Microbiológicos para la Inocuidad de Alimentos" en el grupo 7 para productos de

panadería y pastelería. La misma permite como nivel máximo 10^3 UFC/g. En el caso de las muestras que se sembraron el día que apareció moho, todas salieron MNPC (muy numerosas para contar), por lo que el resultado obtenido fue mayor a 2 500 UFC/g las cuales no están dentro del límite establecido por el RTCA.

La Imagen 1 que se encuentra en la sección de resultados en el área de microbiología, demuestra el crecimiento de un moho del género *Penicillium*. Esta imagen pertenece a la muestra 23 antes de prepararse para ser sembrada en el agar DRBC. El crecimiento de dicho género se corrobora en la Imagen 2, el cual creció durante 5 días a 25 °C. El microorganismo que se observa en la caja Petri es irregular y en la pared externa se aprecia un color blancuzco, desvaneciéndose y convirtiéndose en una tonalidad de verde con puntos brillantes en el centro. Por otro lado, al ver la imagen 3 se observa la presencia de *Rhizopus*, que es otro moho. La diferencia radica en que el color que se observa es negro, tanto en el pan como en la caja Petri. Sin embargo, en la imagen 4 se logran diferenciar otros círculos más grandes y un poco levantados de la superficie, de color fucsia; dichos microorganismos son levaduras.

También se observó el crecimiento de *Aspergillus* en el pan. En la Imagen 5 se aprecia que el moho no ha crecido completamente aún, sin embargo el círculo ya se había cerrado completamente. La orilla del mismo es de color blanco, mientras que la parte interna se convirtió en una tonalidad azul-verdosa. El mismo crecimiento se tuvo en la caja Petri demostrada en la imagen 6.

C. COSTOS

La última etapa del estudio consistió en demostrar económicamente cuál de todas las formulaciones realizadas era la más barata y verificar si era factible disminuir la levadura en algún porcentaje para disminuir costos durante la elaboración del pan. Los cálculos que se realizaron se basaron en la cantidad de una libra. En este caso no se tomó en consideración el costo del agua, debido a que al realizar los cálculos para determinar el precio de la misma, fue tan mínimo que se despreció. De la tabla 19 a la 23 se da un detalle minucioso sobre los precios de la materia prima utilizada, y el total de la misma. En la Tabla 24 se muestran todos los precios obtenidos. Se puede observar que la formulación más cara es con el uso del ácido sórbico encapsulado, seguido del ácido sórbico y por último el propionato de calcio. Sin embargo se puede apreciar que las diferencias son muy mínimas.

En la Gráfica 12 se encuentra una comparación de los costos de las formulaciones con el propionato de calcio, ácido sórbico, ácido sórbico encapsulado, 10 y 20% de reducción de levadura tanto a 0.075 y 0.10%. Se puede apreciar que el costo de la formulación con ácido sórbico al 0.10% es el mismo que el de la formulación que posee ácido sórbico encapsulado, sin embargo este último se encuentra a 0.075%. Al aumentar en un 0.025% se nota que el precio aumenta a Q14.60. Por otro lado, la formulación más barata es en la que se usa el propionato de calcio, sin embargo el precio no compensa la poca vida útil que le provee este agente antimicrobiano al pan a

la hora de elaborarlo, por lo que en realidad, debido al precio que se obtiene por el uso del mismo, no es factible usarlo.

Por otro lado, debido a que el ácido sórbico encapsulado aumenta en mayor porcentaje la vida útil del pan y la diferencia de precios en comparación con el propionato de calcio y el ácido sórbico sin encapsular es muy mínima, es mejor utilizar este antifúngico para tener mejores resultados con el aumento de la vida de anaquel y el costo a nivel industrial.

Según las tablas de la 19 a la 21, se puede apreciar que la levadura es el segundo componente más caro de todos los ingredientes utilizados. Al disminuir la levadura en 10% se puede observar en la tabla 22 que el costo de la misma pasa de Q 1.87 el 6.25% de la libra, a Q 1.68. Y al ser disminuida en un 20%, la levadura llega a costar Q 1.49; el precio se reduce considerablemente, lo que ayuda a disminuir el precio del pan en general.

Según la Gráfica 12 se puede observar que a pesar que la formulación más cara de todas es la que posee el ácido sórbico encapsulado, al reducir el porcentaje de levadura se aprecia cómo baja drásticamente el precio en comparación con las formulaciones que poseen la levadura en un 100%. Esto se debe a que la levadura es un ingrediente que es muy caro y al reducirlo en un porcentaje, el costo disminuye considerablemente. Se puede apreciar que el uso del ácido sórbico encapsulado, a pesar que es el antifúngico más caro de los tres usados, su precio se compensa al reducir la levadura. El precio disminuye casi en un 6% al reducir en un 20% la levadura y con una adición del 0.075% del ácido sórbico, en comparación con la formulación del ácido sórbico sin encapsular con el mismo porcentaje del agente antimicrobiano. La formulación que mejores resultados provee en cuanto a costos y aumento de vida de anaquel es la que está reducida en un 20% y con una adición del 0.10% del antifúngico.

En la sección del Apéndice, en el anexo 3 se pueden apreciar imágenes que demuestran que el pan crece de igual manera que el control, el cual posee la levadura en un 100%, en comparación con la formulación más drástica, siendo la misma la que está reducida en un 20% de la levadura y con una adición del 0.10% del ácido sórbico encapsulado. Debido a ello se logró demostrar que sí es factible usar el agente antimicrobiano más caro al reducir la levadura, para que la cápsula de estearina de palma proteja a la levadura del ácido sórbico y que durante la fermentación, el pan leude y crezca lo suficiente a pesar de no tener toda la levadura.

Nuevamente, al observar los resultados estadísticos de los costos, se puede observar que el valor de F es mucho mayor que el F crítico, por lo que se determinó que todas las medias fueron iguales. Corroborando este dato, el valor de P fue menor que 0.05, por lo que se puede afirmar entonces que no se cumple la igualdad de medias entre los grupos.

IX. CONCLUSIONES

- Se logró determinar que el uso del ácido sórbico encapsulado permite aumentar la vida de anaquel y reducir los costos, comparado con el uso de otros antifúngicos en pan de caja que será distribuido.
- Se determinó que al utilizar ácido sórbico encapsulado con una adición de 0.075%, con respecto al pan control que no tiene ningún antifúngico adicionado, aumenta más su vida de anaquel al estar reducido en un 10% con 7.5 días, equivalente a 88% de aumento de vida de anaquel. Cuando está reducida en un 20% aumenta 6.5 días, equivalente a 87% de aumento.
- Al utilizar el ácido sórbico encapsulado adicionado en un 0.10% con una reducción del 10% de levadura, el pan logra aumentar su vida de anaquel 9 días equivalente a 113% de aumento de vida de anaquel, con respecto al pan control que no tiene ningún antifúngico adicionado. Cuando se ha reducido la levadura en un 20% aumenta 8 días equivalente a 100% de aumento.
- Se determinó que es posible reducir la levadura en un 20% cuando se utiliza ácido sórbico encapsulado con respecto al uso del ácido sórbico sin encapsular.
- Al adicionar ácido sórbico encapsulado, se logra reducir en un 2.53% los costos de un pan de caja en comparación con los costos de un pan de caja elaborado con ácido sórbico sin encapsular, (el antifúngico más caro) con una adición de 0.075% y se reduce en un 2.60% al haber sido adicionado a 0.10% el agente antimicrobiano.

X. RECOMENDACIONES

- Dado las diferentes variables en los porcentajes de reducción de levadura, se recomienda profundizar más el estudio abriendo más los porcentajes de la reducción de la levadura para determinar el impacto de la vida de anaquel.
- Para el estudio sugerido se recomienda utilizar petrifilm para diferenciar mejor los mohos y levaduras debido a la coloración que se obtiene.
- Se puede complementar este estudio profundizando en la combinación de ácido sórbico encapsulado, reducción de levadura y empaques avanzados que permitan aumentar la vida de anaquel aun más para el beneficio de las industrias.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Badui, D. 2006. *Química de los alimentos*. Cuarta edición. Pearson educación. México, 716 p.
2. Bello Gutiérrez, José. 2000. *Ciencia Bromotológica: Principios generales de los alimentos*. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Juan Bravo, 3-A. 28006 Madrid, España. Pág. 487.
3. Cauvain, S.P. 2001. *Cereals processing technology*. Ed. G. Owens. Primera edición. Woodhead Publishing Limited, England. 238 p.
4. Dobois D. "east, Water, Yeast Food and Salt lectures for the short course Baking for allied personnel. July 24 - August 4, 1978. AIB Manhattan, KS. USA.
5. F.D.A. *Code of Federal Regulations*. Title 21 part 136 p.p. 183-185 April, 1, 1977. U.S. Govt Printing Office Washington, D. C., USA.
6. Fernández, J. et al. 2005. *Aplicaciones Biotecnológicas de la Microencapsulación*. Mundo Alimentario. Marzo/Abril. 2005. Pp. 24-30.
7. Frazier, W.C y Westhoff, D.C. 1993. *Microbiología de los alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza-España. Pág. 238.241.
8. Giannou, V., Kessoglou, V. y Tzia, C. 2003. *Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough*. Food Science and Technology. 14:99-108.
9. Goremén, D. y Shanin, D. 1997. *Investigations of mould in microflora of bread and similar bakery products*. Advance Food Science. 19:100-103.
10. Goud H. Desai, Kashappa; Jin Park, Hyun. 2005. *Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients*. Drying Technology. (23): 1361-1394.
11. Grundy, M. 1996. *Fabricación del pan*. Editorial Acribia. Zaragoza-España. Pág. 69-71, 283-291.
12. Guynot, M.E., Sanchis, V., Ramos, A. J. y Martin, S. 2003. *Mold-free shelf-life extension of bakery products by active packaging*. Journal of Food Science. 68(8):2547-2552.
13. Jay, J. M. 2000. *Microbiología moderna de los alimentos*. Cuarta edición. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. 790 p.
14. Leistner, L. 2000. *Basic aspects of food preservation by hurdle technology*. Review. International Journal of Food Microbiology. 55:181-186.
15. Mainer, Natalia Clemente, et al. 2011. *Análisis diferencial en distintos panes de molde*. Ciencia y Tecnología de los Vegetales. 2°C.T.A.

16. Moore, M. M., Dall Bello, F. y Arendt, E. K. 2008. *Sourdough fermented by Lactobacillus plantarum FST 1.7 improves the quality and shelf life of gluten-free bread*. European Food Research Technology. 226:1309-1316.
17. Nobile, M.A., Martoriello, T., Cavella, S., Giudici, P. y Masi, P. 2003. *Shelf life extension of durum wheat bread*. Journal of Food Science. 15(3):383-393.
18. Norven 13-25-76. *Pan blanco de harina de trigo*. 226 T-Cd. 664.661.
19. Pepe, O., Blaiotta, G., Moschetti, G., Greco, T. y Villani, F. 2003. *Rope-producing strains of Bacillus spp. from wheat bread and strategy for their control by lactic acid bacteria*. Applied and Environmental Microbiology. 69(4):2321-2329.
20. Pyler, E. J. *Baking Science and Technology*. 2 and. Ed. 1973 p.p. 578-584 Siebel Publishing Co. Chicago, Ill., USA.
21. Ribotta, P.D. y Tadini, C.C. 2009. *Alternativas tecnológicas para la elaboración y la conservación de productos panificados*. Primera edición. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 327 p.
22. Ryan, L.A.M., Dal Bello, F. y Arendt, E. K. 2008. *The use of sourdough fermented by antifungal LAB to reduce the amount of calcium propionate in bread*. International Journal of Food Microbiology. 125:274-178.
23. Stanley, P., Cauvain S.P. y Young, L. S. 2007. *Technology of bread making*. Second edition. Springer Science+Business Media. New York. E.E.U.U. 389 p.
24. Tejero, Francisco. 2005. *Conservantes: La lucha contra los mohos en pan*. Mundo Alimentario, Asesoría Técnica en Panificación, España 2005.
25. Torres Saura, Vanessa, et al. 2011. *Proceso de panificación en la industria alimentaria*. Higiene y Sanidad Ambiental, 11:739-745 (2011).
26. U.S.D.A. Agriculture Hdbk. No. 8. *Composition of foods*. 1st. Ed. 1975 p.p. 17-18 U.S. Govt. Printing Office Washington. D. C., USA.
27. Valerio, F., De Bellis, P., Di Biase, M., Lonigro, S. L., Giussani, B., Visconti, A., Lavermicocca, P. y Sisto, A. 2012. *Diversity of spore-forming bacteria and identification of Bacillus amyloliquefaciens as a species frequently associated with the ropy spoilage of bread*. International Journal of Food Microbiology. 156(3):278.285

XII. APÉNDICE

Anexo 1: Tablas de los porcentajes panaderos usados para la elaboración del pan

Tabla 26 – Porcentaje panadero usado para la elaboración del pan al 0.075% de adición del antimicrobiano con base a 260 gramos de harina

Ingrediente	Porcentaje	Cantidad
Harina	100	260
Agua	54.166	140.83
Azúcar	10.42	27.09
Leche en polvo	3.125	8.12
Levadura	6.25	16.25
Manteca	6.25	16.25
Sal	1.25	3.25
Antimicrobiano	0.075	0.19
TOTAL	181.536	471.99

Tabla 27 – Porcentaje panadero usado para la elaboración del pan al 0.10% de adición del antimicrobiano con base a 260 gramos de harina

Ingrediente	Porcentaje	Cantidad
Harina	100	260
Agua	54.166	140.83
Azúcar	10.42	27.09
Leche en polvo	3.125	8.12
Levadura	6.25	16.25
Manteca	6.25	16.25
Sal	1.25	3.25
Antimicrobiano	0.10	0.26
TOTAL	181.536	472.05

Tabla 28 – Porcentaje panadero usado para la elaboración del pan con una reducción del 10% y una adición al 0.075% del antimicrobiano con base a 260 gramos de harina

Ingrediente	Porcentaje	Cantidad
Harina	100	260
Agua	54.166	140.83
Azúcar	10.42	27.09
Leche en polvo	3.125	8.12
Levadura	5.625	14.625
Manteca	6.25	16.25
Sal	1.25	3.25
Antimicrobiano	0.075	0.19
TOTAL	180.911	470.360

Tabla 29 – Porcentaje panadero usado para la elaboración del pan con una reducción del 10% y una adición al 0.10% del antimicrobiano con base a 260 gramos de harina

Ingrediente	Porcentaje	Cantidad
Harina	100	260
Agua	54.166	140.83
Azúcar	10.42	27.09
Leche en polvo	3.125	8.12
Levadura	5.625	14.625
Manteca	6.25	16.25
Sal	1.25	3.25
Antimicrobiano	0.10	0.26
TOTAL	180.936	470.425

Tabla 30 – Porcentaje panadero usado para la elaboración del pan con una reducción del 20% y una adición al 0.075% del antimicrobiano con base a 260 gramos de harina

Ingrediente	Porcentaje	Cantidad
Harina	100	260
Agua	54.166	140.83
Azúcar	10.42	27.09
Leche en polvo	3.125	8.12
Levadura	5.00	13.00
Manteca	6.25	16.25
Sal	1.25	3.25
Antimicrobiano	0.075	0.19
TOTAL	180.286	468.73

Tabla 31 – Porcentaje panadero usado para la elaboración del pan con una reducción del 20% y una adición al 0.10% del antimicrobiano con base a 260 gramos de harina

Ingrediente	Porcentaje	Cantidad
Harina	100	260
Agua	54.166	140.83
Azúcar	10.42	27.09
Leche en polvo	3.125	8.12
Levadura	5.00	13.00
Manteca	6.25	16.25
Sal	1.25	3.25
Antimicrobiano	0.10	0.26
TOTAL	180.311	468.80

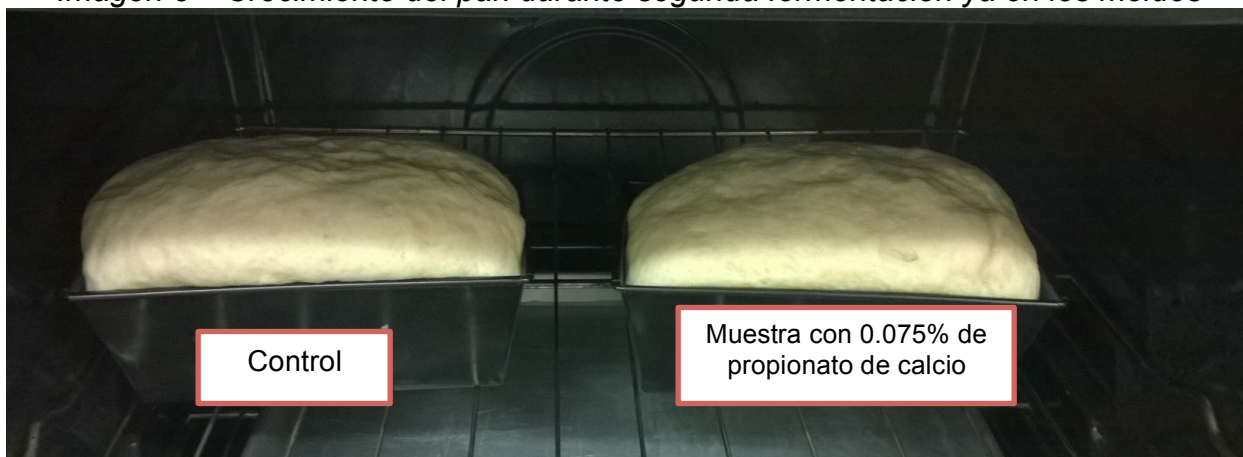
Anexo 2: Imágenes de la elaboración del pan

Imagen 7 – Crecimiento del pan durante primera fermentación



La muestra control se encuentra a la izquierda, y la muestra de la derecha es la muestra con la adición del 0.10% de propionato de calcio.

Imagen 8 – Crecimiento del pan durante segunda fermentación ya en los moldes



Se puede observar el crecimiento de la masa durante la segunda fermentación. El horno estaba a 26°C y con 75% de humedad. La muestra de la izquierda es el control de la muestra que contiene 0.075% de propionato de calcio, la cual se encuentra a la derecha.

Imagen 9 – Crecimiento del pan después del horneado



El producto final, la muestra de la izquierda es el control. En la derecha se puede observar la muestra con una adición del 0.075% de propionato de calcio.

Anexo 3: Imágenes comparativas de la muestra control con la muestra en un 20% reducida de levadura y al 0.10% de ácido sórbico encapsulado

Imagen 10 – Crecimiento de la levadura en solución de agua con azúcar



La imagen de la izquierda representa el crecimiento de la levadura (100%) en solución de agua con azúcar. Por otro lado, la imagen de la derecha indica hasta dónde llegó el crecimiento de la levadura en un 20% reducida de la formulación original.

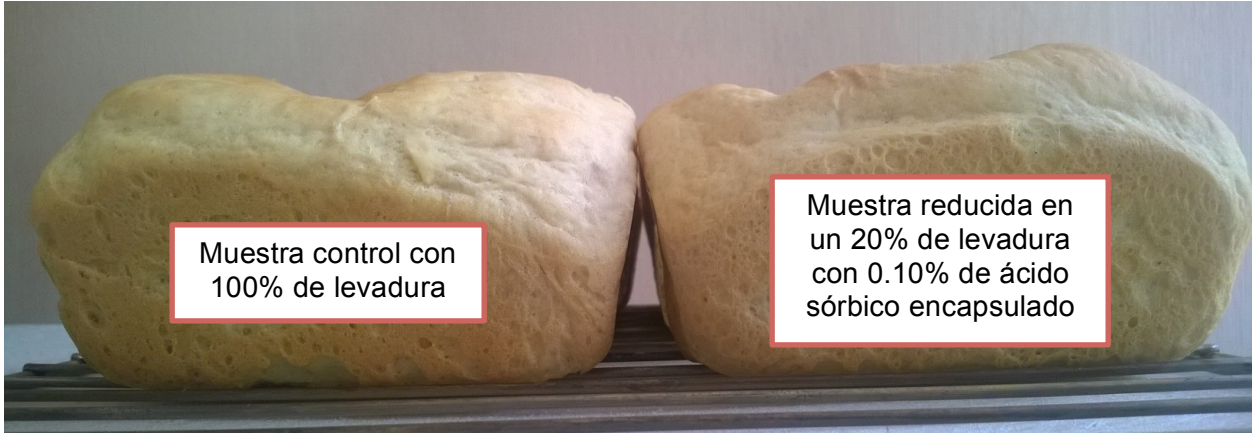
Imagen 11 – Comparación de crecimiento a lo largo de la muestra con una reducción del 20% al 0.10% de ácido sórbico, con su control



En la parte de abajo se encuentra la muestra a la que se le redujo 20% de la levadura y se le adicionó 0.10% de ácido sórbico encapsulado. La muestra de arriba es

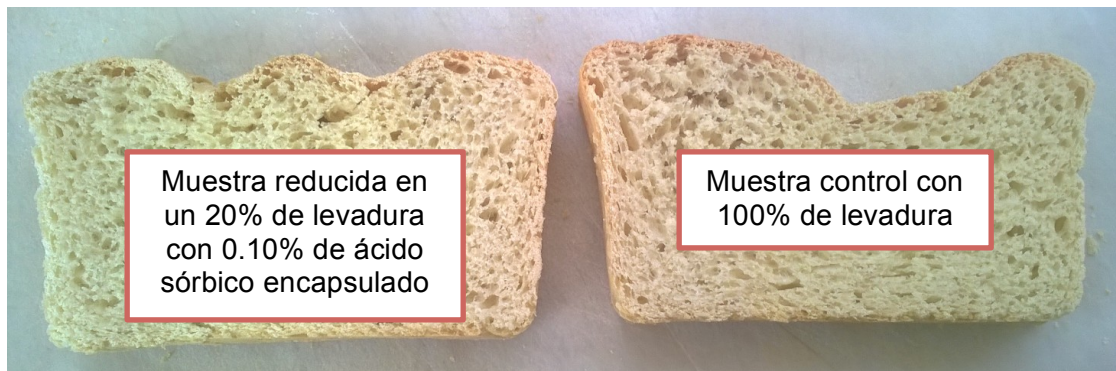
el control, el que tiene la levadura al 100% y sin adición de ningún agente antimicrobiano.

Imagen 12 – Comparación de crecimiento a lo alto de la muestra con una reducción del 20% al 0.10% de ácido sórbico, con su control



La muestra de la izquierda es el control. La de la derecha es la que posee una reducción del 20% de la levadura y a la que se le adició 0.10% de ácido sórbico encapsulado. Se puede ver que ambas muestras crecieron por igual.

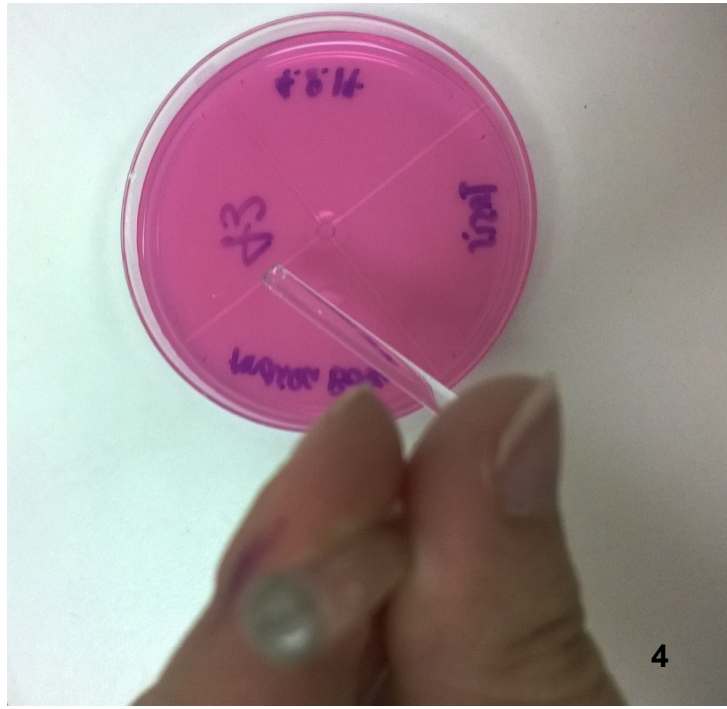
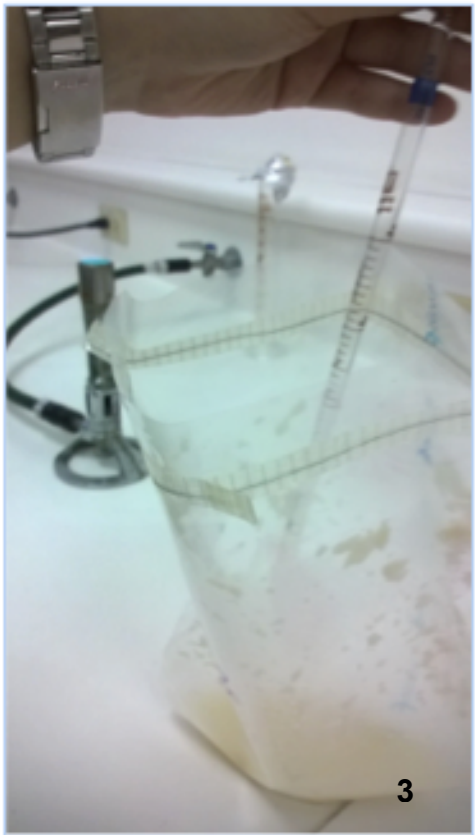
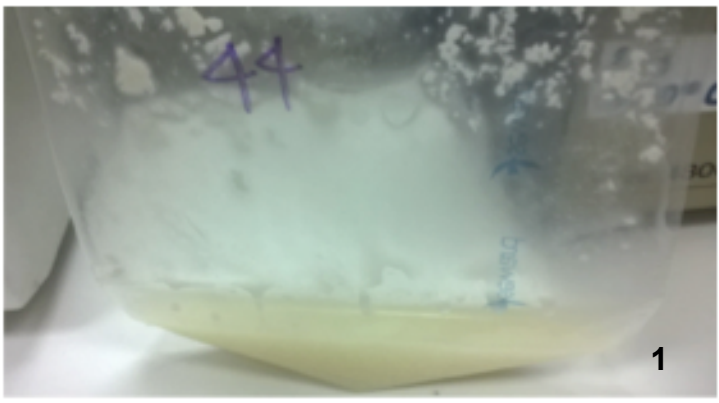
Imagen 13 – Comparación de crecimiento a lo alto de la muestra en rodaja con una reducción del 20% al 0.10% de ácido sórbico, con su control



En la imagen de arriba se puede apreciar que ambas muestras lograron crecer. La de la izquierda es la que está reducida en un 20% y con 0.10% de ácido sórbico encapsulado. Por otro lado la de la derecha es la muestra control que contiene la levadura al 100% de la formulación original.

Anexo 4: Imágenes de la siembra en las cajas Petri con agar DRBC

Imagen 14 – Procedimiento para sembrar muestra



La Imagen 1 representa la muestra de pan (10 gramos) con agua peptonada bufferada (90 mL) después de haber salido del agitador stomacher. En las imágenes 2 y 3 se está sacando solamente la fase líquida con una pipeta de 5 mL. En la Imagen 4 se ha agregado 0.1 mL de la solución en una caja Petri en agar DRBC para la muestra 43. El asa de Drigalsky se utiliza para correr la muestra por toda la caja.

Anexo 5: Tabla que realiza un detalle de las 48 muestras que se realizaron

Tabla 32 – Detalle de las 48 muestras, fecha de realización, fecha de presencia de moho, día en que apareció primera presencia de mohos

Número de muestra	Tipo	Fecha de realización	Fecha de presencia de moho	Día
1	0.075% propionato de calcio	Miércoles 13 de agosto	Martes 25 de agosto	13
2	Muestra control	Miércoles 13 de agosto	Viernes 22 de agosto	10
3	0.075% propionato de calcio	Miércoles 13 de agosto	Lunes 25 de agosto	12
4	Muestra control	Miércoles 13 de agosto	Viernes 22 de agosto	10
5	0.10% propionato de calcio	Miércoles 13 de agosto	Viernes 29 de agosto	16
6	Muestra control	Miércoles 13 de agosto	Jueves 21 de agosto	9
7	0.10% propionato de calcio	Miércoles 13 de agosto	Domingo 31 de agosto	18
8	Muestra control	Miércoles 13 de agosto	Viernes 22 de agosto	10
9	0.075% ácido sórbico	Miércoles 13 de agosto	Martes 26 de agosto	13
10	Muestra control	Lunes 18 de agosto	Lunes 25 de agosto	8
11	0.075% ácido sórbico	Lunes 18 de agosto	Viernes 29 de agosto	11
12	Muestra control	Lunes 18 de agosto	Martes 26 de agosto	8
13	0.10% ácido sórbico	Lunes 18 de agosto	Martes 2 de septiembre	15
14	Muestra control	Lunes 18 de agosto	Jueves 28 de agosto	10
15	0.10% ácido sórbico	Lunes 18 de agosto	Lunes 1 de septiembre	14
16	Muestra control	Lunes 18 de agosto	Jueves 28 de agosto	10
17	0.15% ácido sórbico encapsulado	Lunes 1 de septiembre	Sábado 13 de septiembre	12
18	Muestra control	Lunes 1 de septiembre	Miércoles 10 de septiembre	9
19	0.15% ácido sórbico encapsulado	Lunes 1 de septiembre	Lunes 15 de septiembre	14

Tabla 33 – Continuación de tabla 32 que detalla la fecha de la realización, fecha de presencia de moho y día en que apareció primera presencia de mohos de las muestras de la 20 a la 37

20	Muestra control	Lunes 1 de septiembre	Miércoles 10 de septiembre	9
21	0.20% ácido sórbico encapsulado	Lunes 1 de septiembre	Jueves 18 de septiembre	17
22	Muestra control	Lunes 1 de septiembre	Miércoles 10 de septiembre	9
23	0.20% ácido sórbico encapsulado	Lunes 1 de septiembre	Martes 16 de septiembre	15
24	Muestra control	Lunes 1 de septiembre	Miércoles 10 de septiembre	9
25	10% menos de levadura al 0.15% ácido sórbico encapsulado	Lunes 1 de septiembre	Jueves 18 de septiembre	17
26	Muestra control	Lunes 1 de septiembre	Miércoles 10 de septiembre	9
27	10% menos de levadura al 0.15% ácido sórbico encapsulado	Lunes 1 de septiembre	Martes 16 de septiembre	15
28	Muestra control	Lunes 1 de septiembre	Martes 9 de septiembre	8
29	15% menos de levadura al 0.075% ácido sórbico encapsulado	Lunes 1 de septiembre	Viernes 19 de septiembre	18
30	Muestra control	Lunes 1 de septiembre	Lunes 8 de septiembre	7
31	15% menos de levadura al 0.15% ácido sórbico encapsulado	Lunes 1 de septiembre	Miércoles 17 de septiembre	16
32	Muestra control	Lunes 1 de septiembre	Martes 9 de septiembre	8
33	20% menos de levadura al 0.15% ácido sórbico encapsulado	Lunes 8 de septiembre	Domingo 21 de septiembre	13
34	Muestra control	Lunes 8 de septiembre	Martes 16 de septiembre	8
35	20% menos de levadura al 0.15% ácido sórbico encapsulado	Lunes 8 de septiembre	Martes 23 de septiembre	15
36	Muestra control	Lunes 8 de septiembre	Lunes 15 de septiembre	7
37	10% menos de levadura al 0.20% ácido sórbico encapsulado	Lunes 8 de septiembre	Miércoles 24 de septiembre	16

Tabla 34 – Continuación de tabla 32 y 33 que detalla la fecha de la realización, fecha de presencia de moho y día en que apareció primera presencia de mohos de las muestras de la 38 a la 48

38	Muestra control	Lunes 8 de septiembre	Martes 16 de septiembre	8
39	10% menos de levadura al 0.20% ácido sórbico encapsulado	Lunes 8 de septiembre	Viernes 26 de septiembre	18
40	Muestra control	Lunes 8 de septiembre	Martes 16 de septiembre	8
41	15% menos de levadura al 0.20% ácido sórbico encapsulado	Lunes 8 de septiembre	Martes 23 de septiembre	15
42	Muestra control	Lunes 8 de septiembre	Martes 16 de septiembre	8
43	15% menos de levadura al 0.20% ácido sórbico encapsulado	Lunes 8 de septiembre	Miércoles 24 de septiembre	16
44	Muestra control	Lunes 8 de septiembre	Miércoles 17 de septiembre	9
45	20% menos de levadura al 0.20% ácido sórbico encapsulado	Lunes 8 de septiembre	Martes 23 de septiembre	15
46	Muestra control	Lunes 8 de septiembre	Martes 16 de septiembre	8
47	20% menos de levadura al 0.20% ácido sórbico encapsulado	Lunes 8 de septiembre	Jueves 25 de septiembre	17
48	Muestra control	Lunes 8 de septiembre	Martes 16 de septiembre	8

Anexo 6: Imágenes de las 48 muestras sembradas

Imagen 15 – Muestras de la 1 a la 3

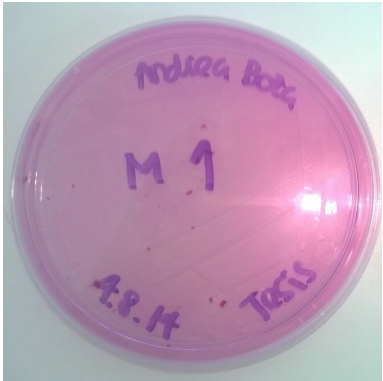
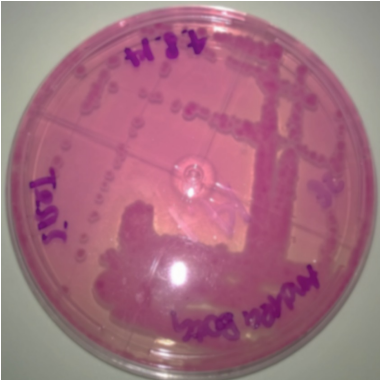
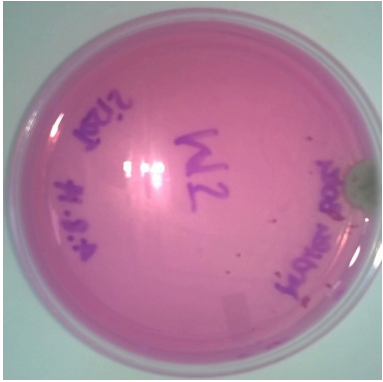
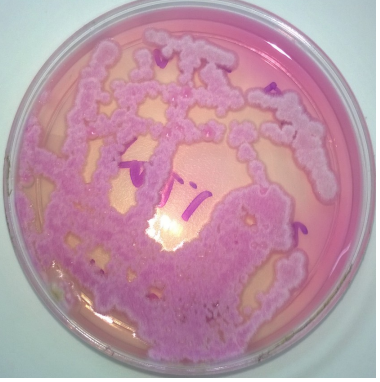

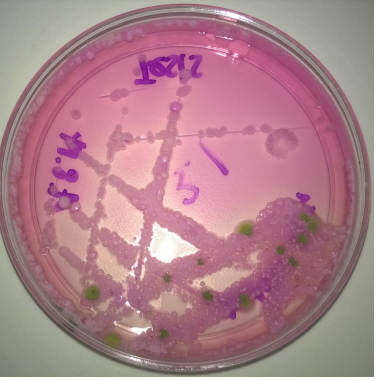
Número de muestra	Muestra el día que se elaboró el pan	Muestra el día que se evidenció moho
1		
2		
3		

Imagen 16 – Muestras de la 4 a la 7

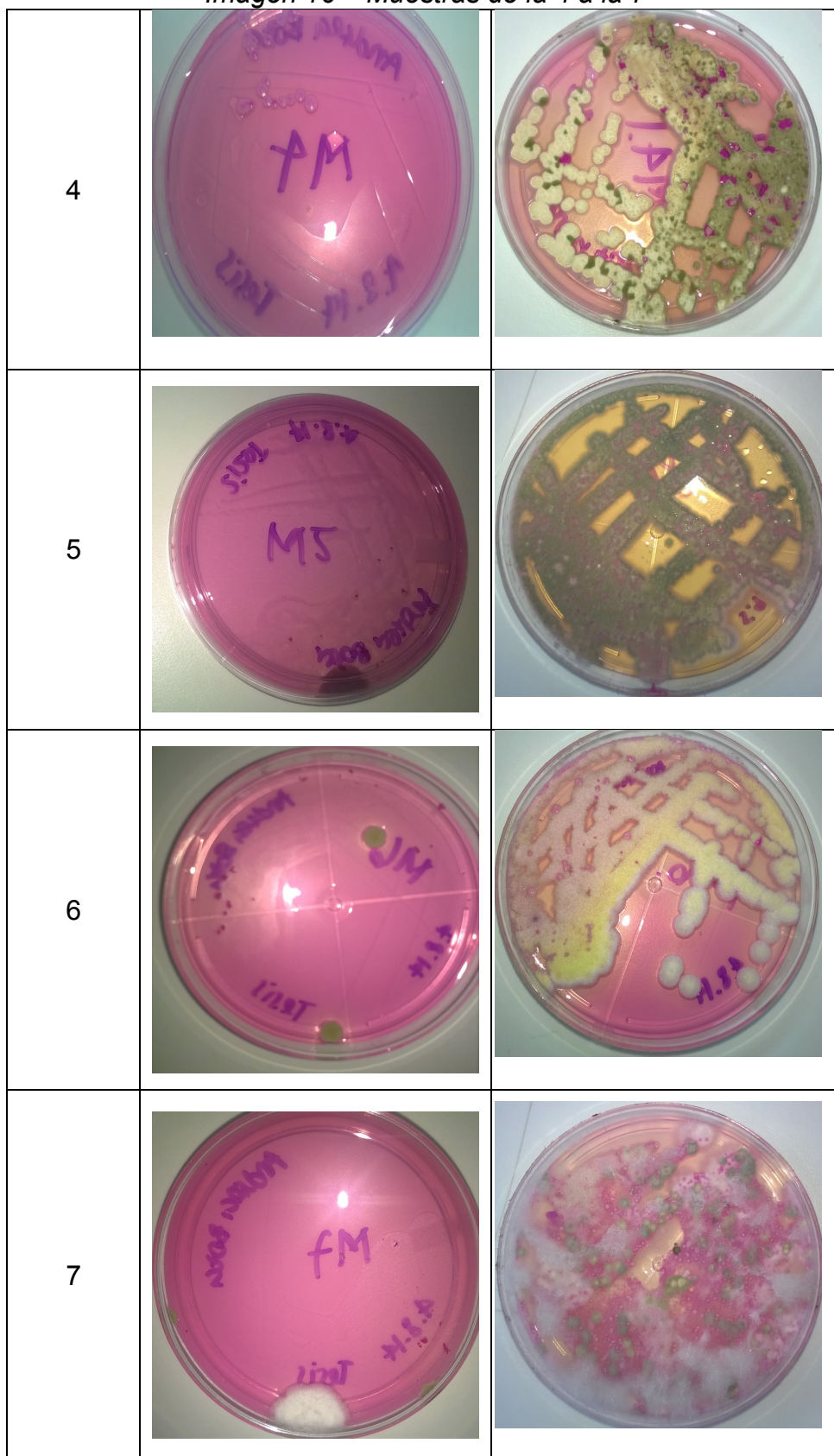


Imagen 17 – Muestras de la 8 a la 11

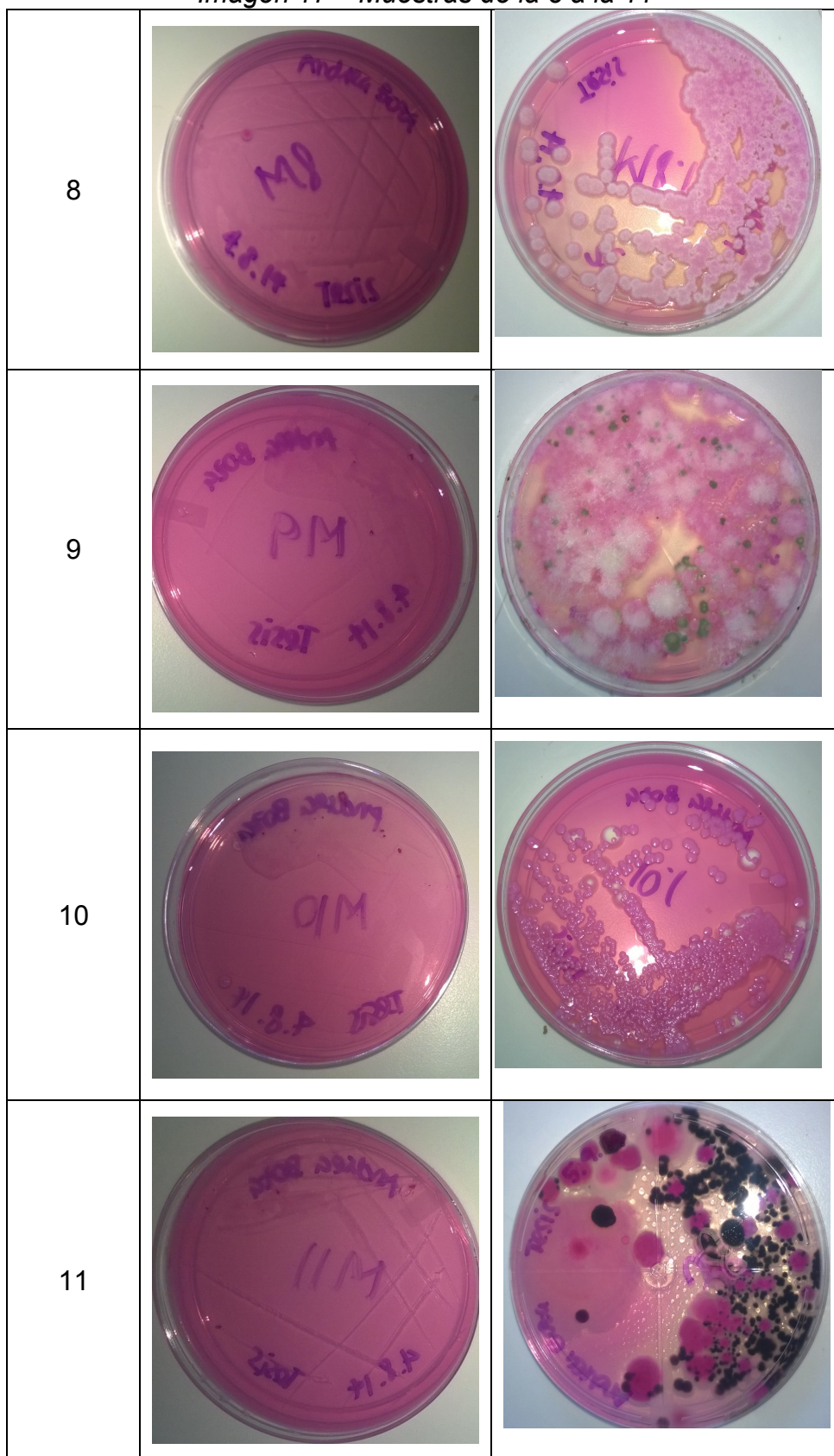


Imagen 18 – Muestras de la 12 a la 15

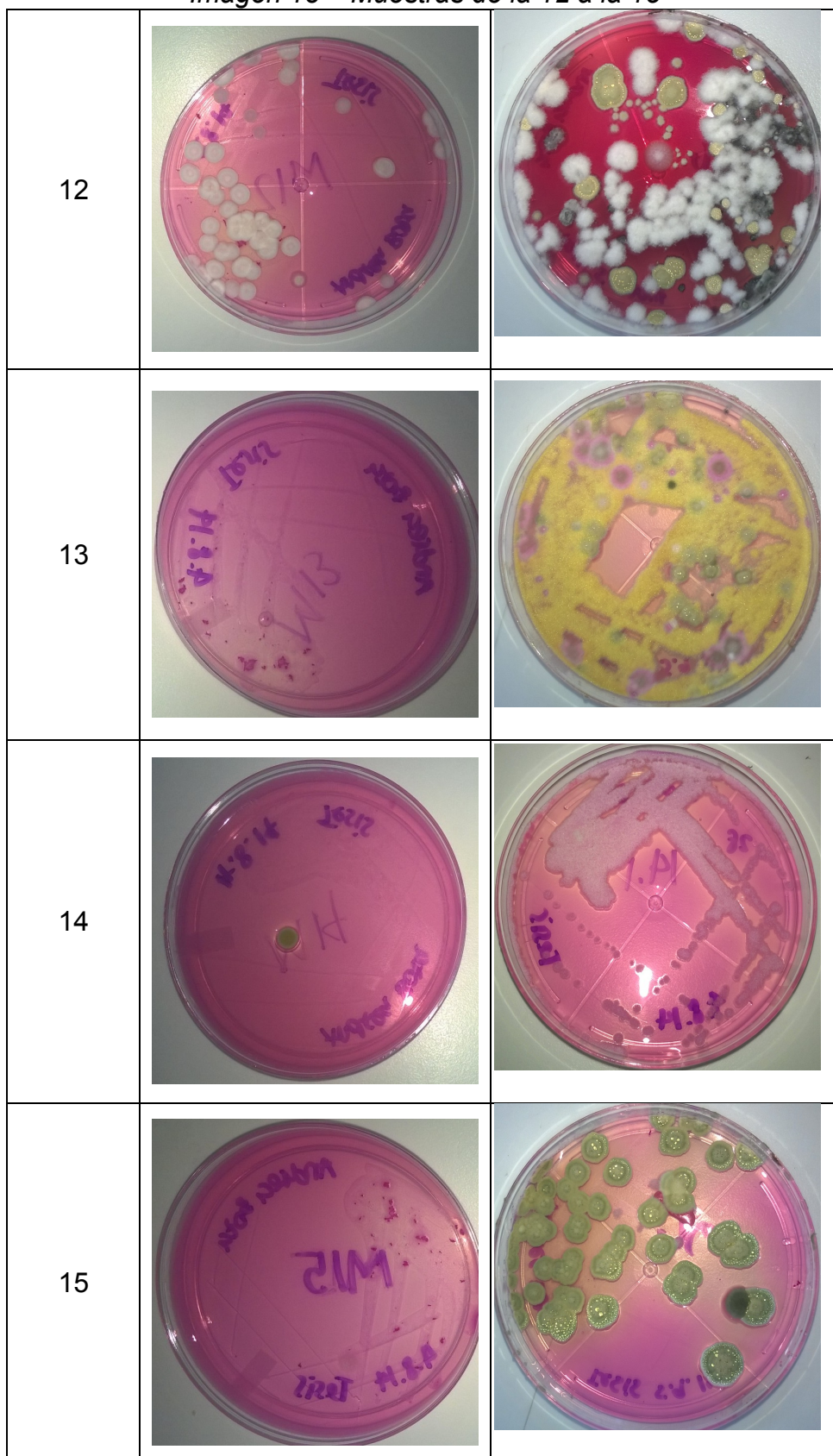


Imagen 19 – Muestras de la 16 a la 19

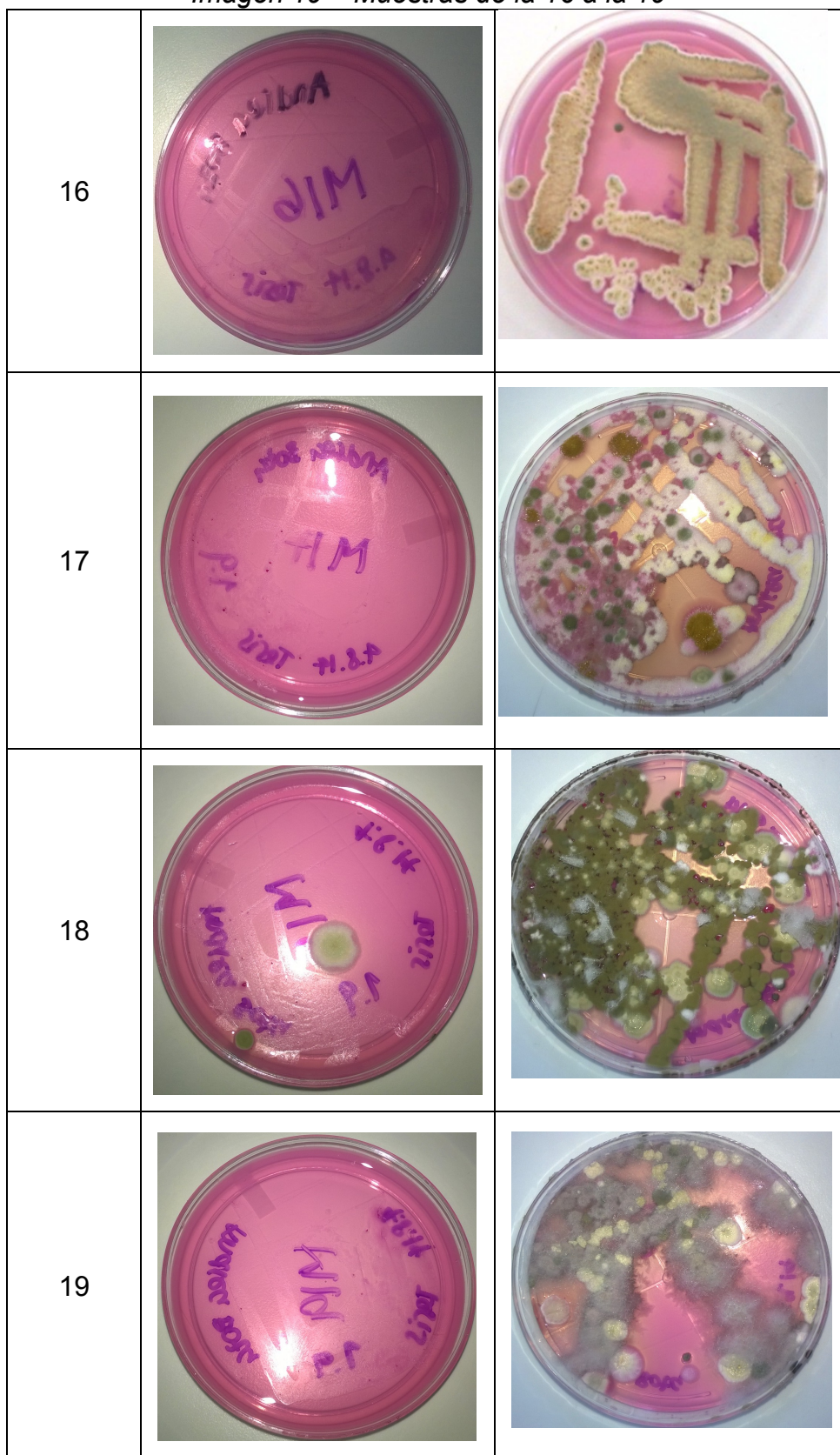


Imagen 20 – Muestras de la 20 a la 23

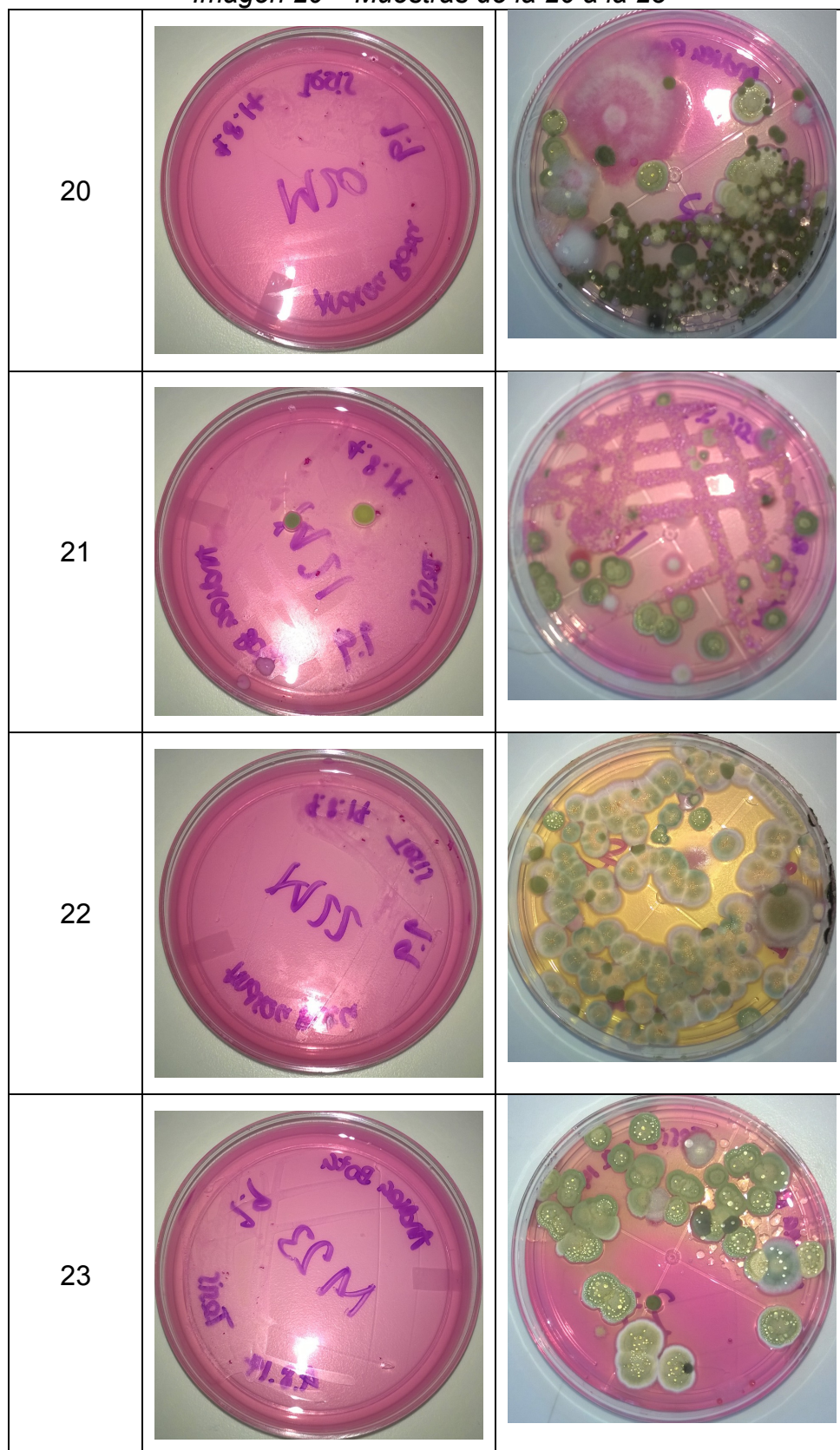


Imagen 21 – Muestras de la 24 a la 27

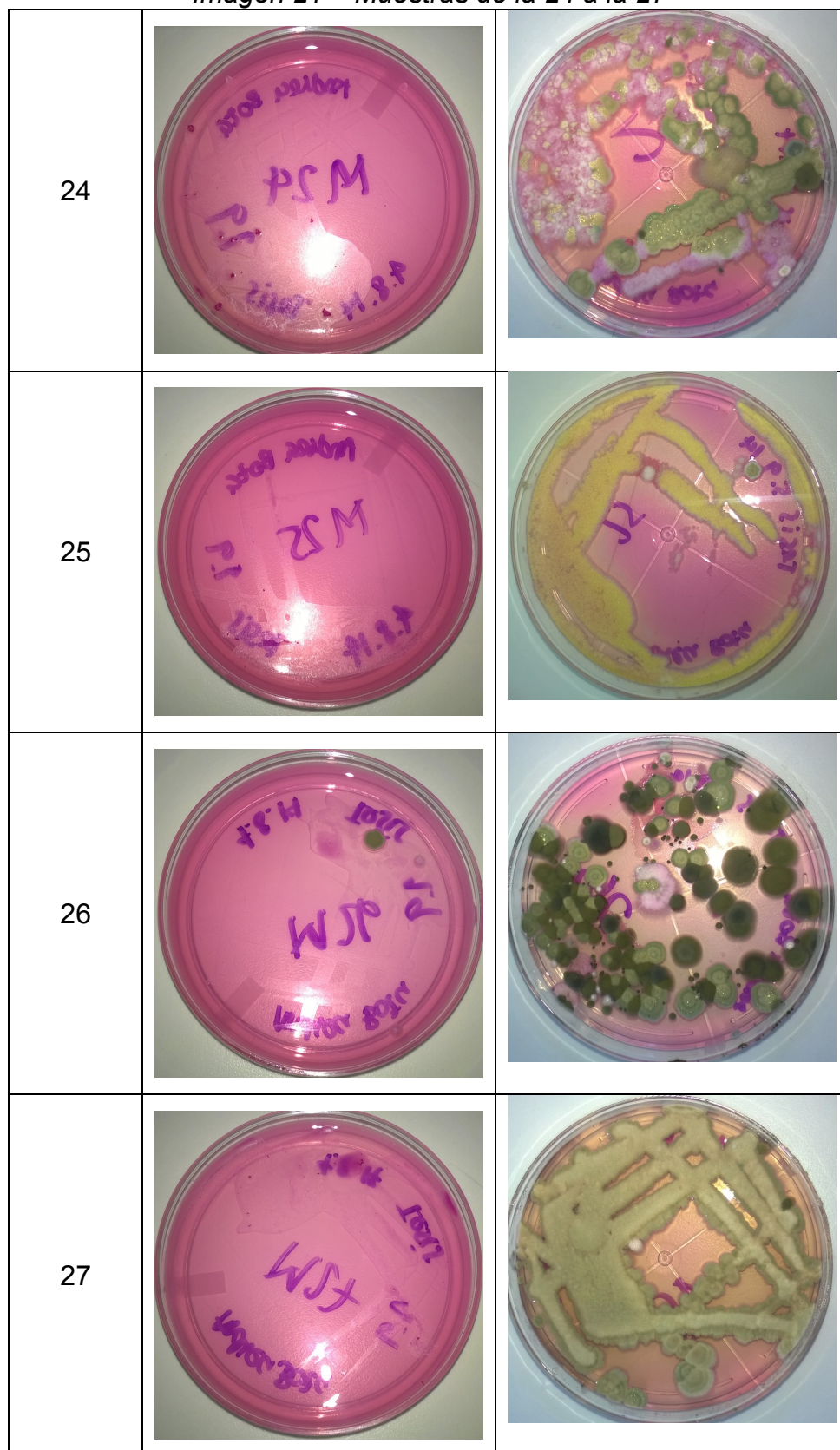


Imagen 22 – Muestras de la 28 a la 31

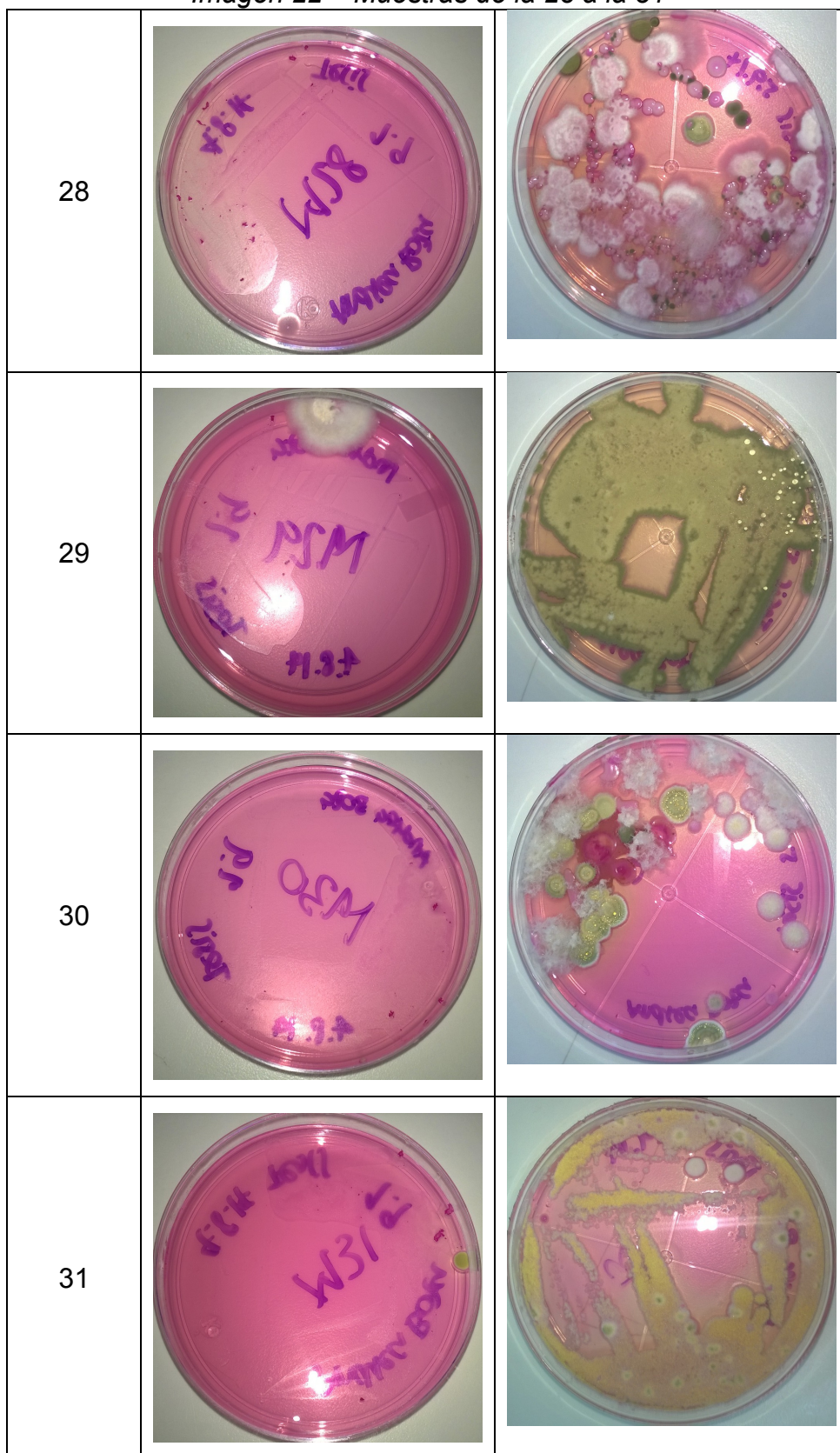


Imagen 23 – Muestras de la 32 a la 35

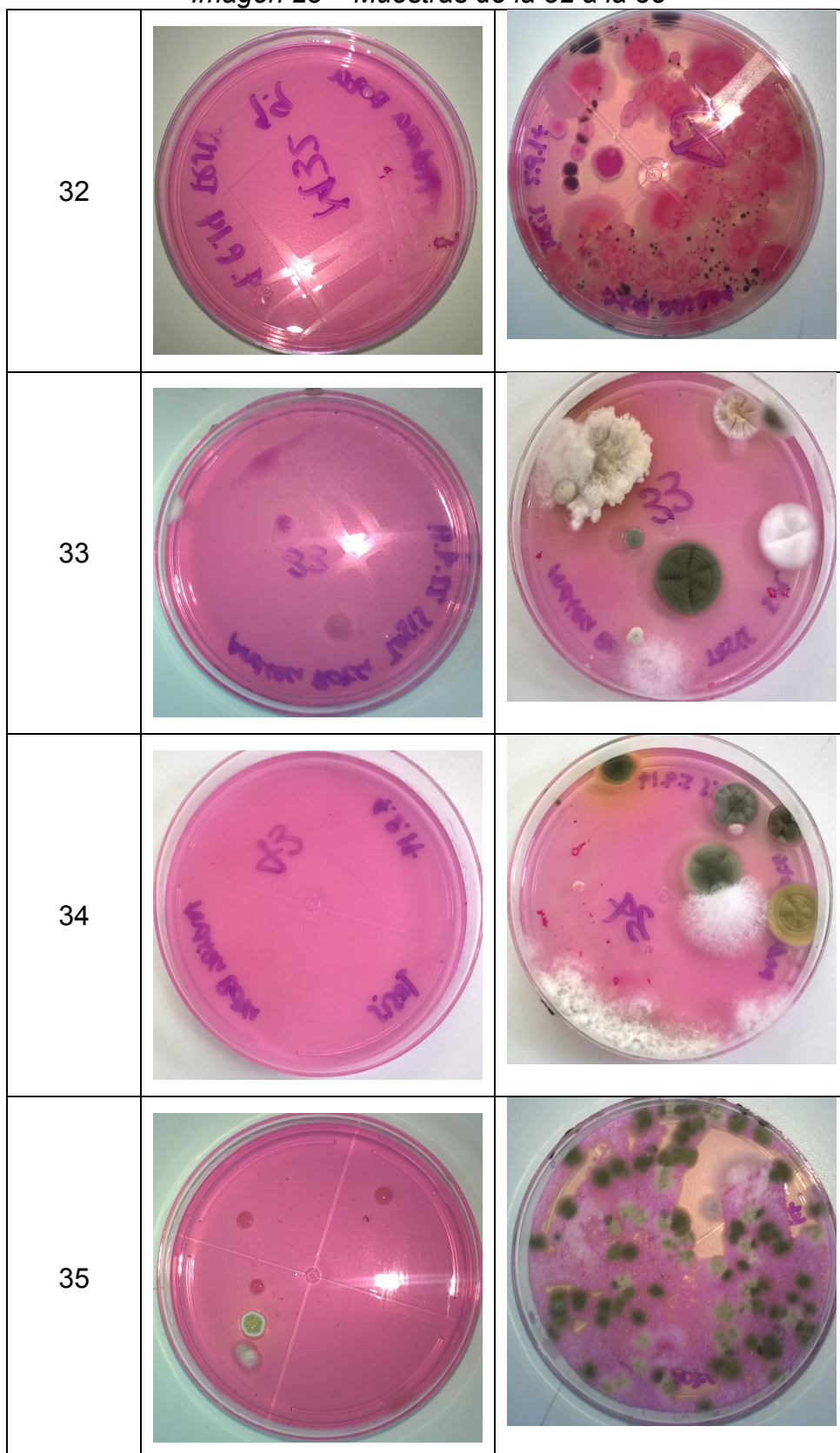


Imagen 24 – Muestras de la 36 a la 39

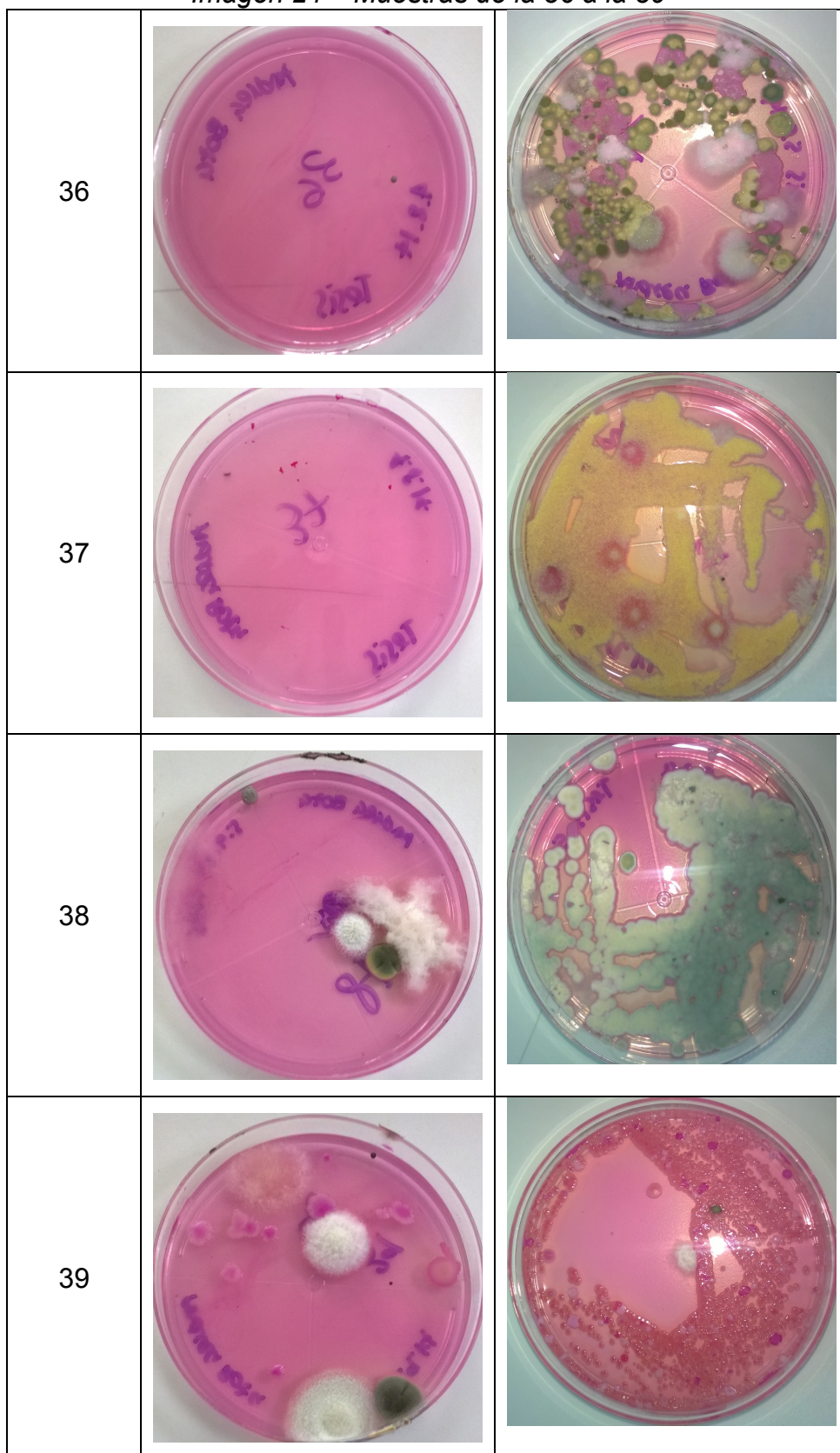


Imagen 25 – Muestras de la 40 a la 43

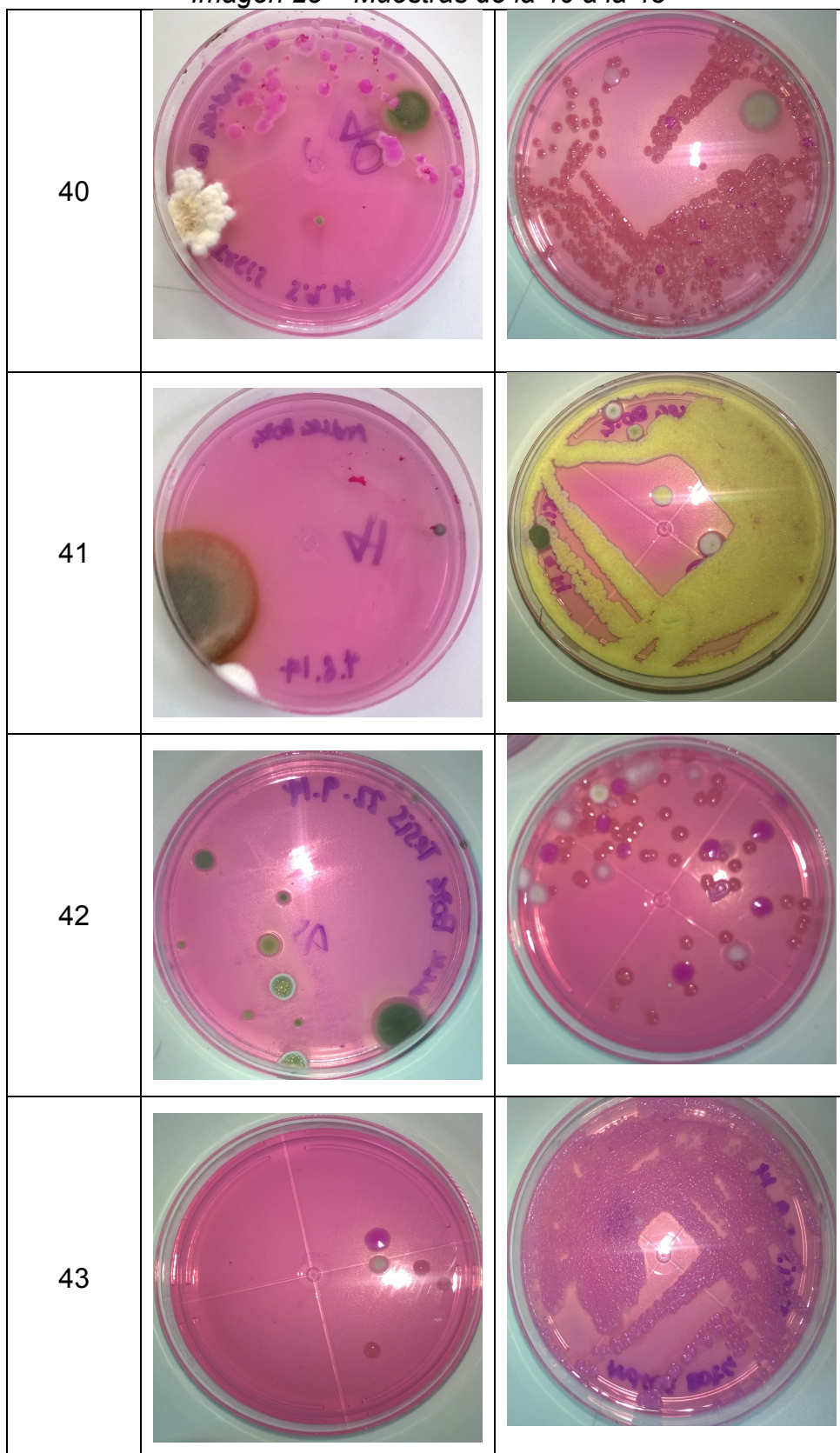


Imagen 26 – Muestras de la 44 a la 47

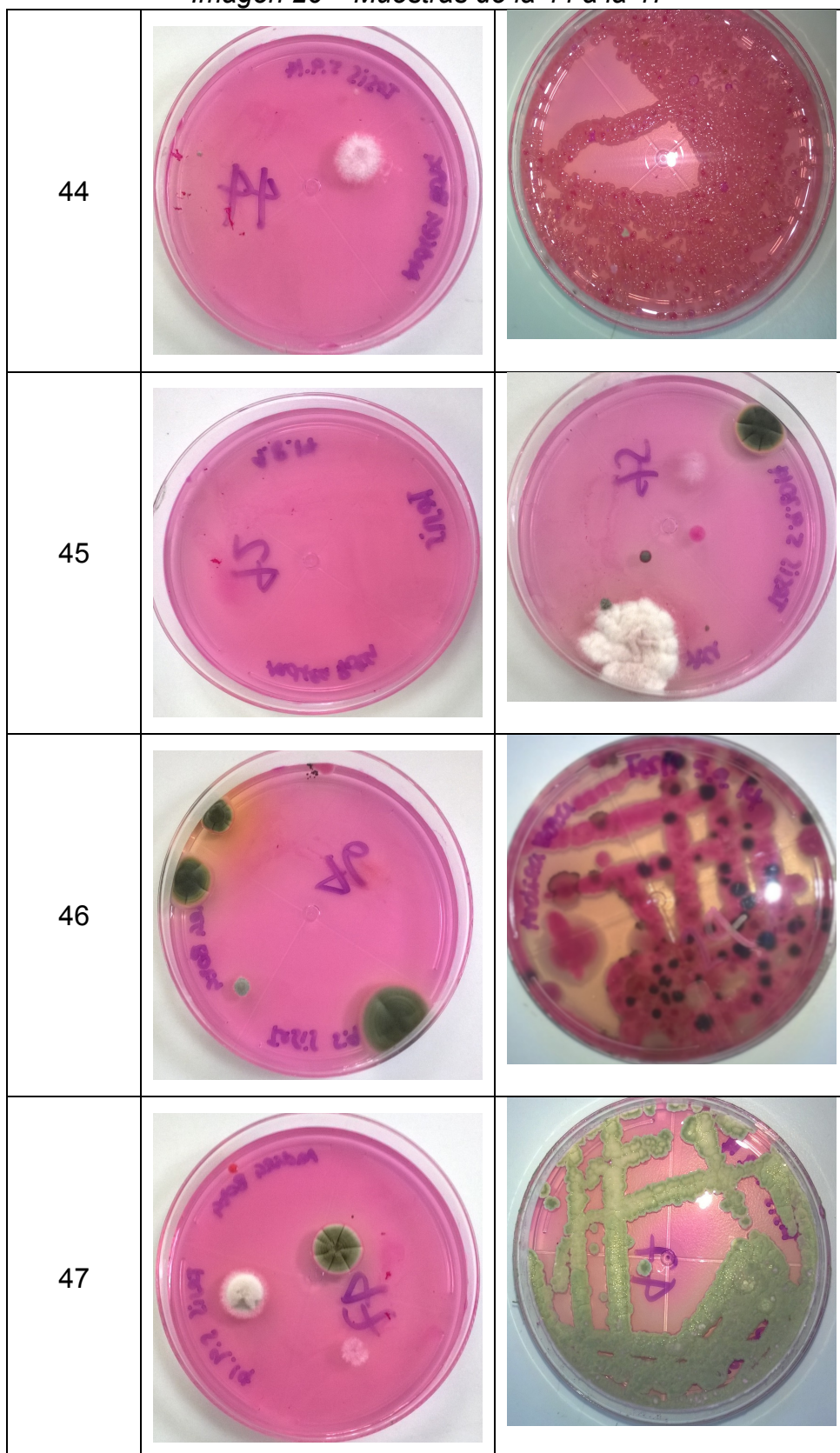
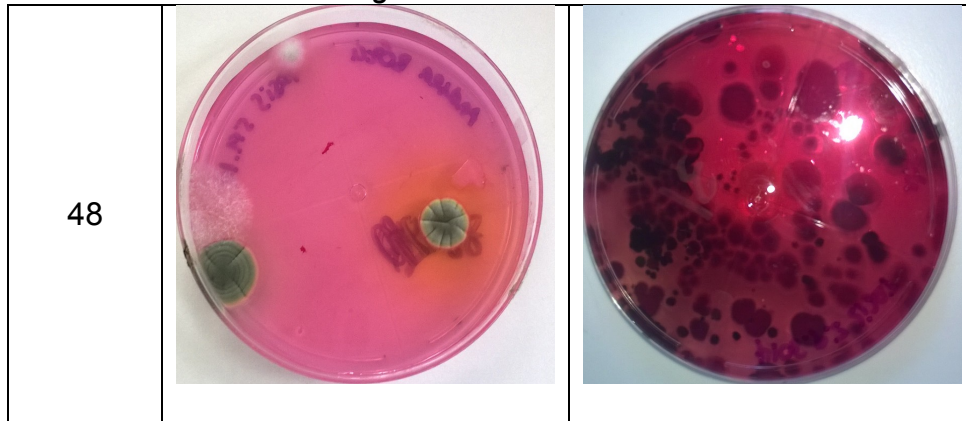


Imagen 27 – Muestra 48



Anexo 7: Análisis de error de los resultados obtenidos

Tabla 35 – Análisis de error de la diferencia de los días promedio de la vida de anaquel comparado con el control

Variable	Resultado
Media	6.05
Moda	7.50
Desviación estándar	2.14
Varianza de la muestra	4.58

Tabla 36 – Análisis de error del porcentaje de aumento de la vida de anaquel calculado en días

Variable	Resultado
Media	74.90
Moda	88.00
Desviación estándar	26.88
Varianza de la muestra	722.54

Tabla 37 – Análisis de error de la vida de anaquel promedio calculada en días

Variable	Resultado
Media	11.18
Moda	8.00
Desviación estándar	3.46
Varianza de la muestra	11.98

Tabla 38 – Análisis de error de los costos de las cinco variables estando a 0.075%

Variable	Resultado
Media	106.30
Moda	N/A
Desviación estándar	2.67
Varianza de la muestra	7.12

Tabla 39 – Análisis de error de los costos de las cinco variables estando a 0.10%

Variable	Resultado
Media	106.31
Moda	N/A
Desviación estándar	2.67
Varianza de la muestra	7.10

Anexo 8: Resultados estadísticos con ANOVA en Excel

Tabla 40 – Resultado estadístico de la vida promedio de las muestras según los antifúngicos utilizados a diferentes porcentajes

Grupos	Corridas	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	2	0.175	0.0875	0.0003125
Columna 2	2	27.5	13.75	10.125
Columna 3	2	24.5	12.25	3.125
Columna 4	2	27	13.5	4.5
Columna 4	2	33	16.5	0.5

Tabla 41 – Resultado estadístico de la vida promedio de las muestras según los antifúngicos utilizados a diferentes porcentajes y el valor de P

Fuente de variación	SS Suma de cuadrados	df Grados de libertad	MS Media cuadrática	F	P-valor	F-crítico
Inter Grupos	352.79	5	70.56	20.91	0.00098	4.39
Intra Grupos	20.25	6	3.38			
Total	373.04	11				

Tabla 42 – Resultado estadístico del porcentaje de vida de anaquel de las muestras según los antifúngicos utilizados a diferentes porcentajes

Grupos	Corridas	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	2	0.175	0.0875	0.0003125
Columna 2	2	116	58	1800
Columna 3	2	107	53.5	24.5
Columna 4	2	138	69	722
Columna 4	2	201	100.5	312.5

Tabla 43 – Resultado estadístico del porcentaje de vida de anaquel de las muestras según los antifúngicos utilizados a diferentes porcentajes y el valor de P

Fuente de variación	SS Suma de cuadrados	df Grados de libertad	MS Media cuadrática	F	P-valor	F-crítico
Inter Grupos	12887.58	5	2577.52	5.25	0.034	4.39
Intra Grupos	2943.50	6	490.58			
Total	15831.08	11				

Tabla 44 – Resultado estadístico de los costos obtenidos

Grupos	Corridas	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	2	216.15	108.075	5E-05
Columna 2	2	216.19	108.095	5E-05
Columna 3	2	216.22	108.11	0.0002
Columna 4	2	210.24	105.12	0.0002
Columna 4	2	204.26	102.13	0.0002

Tabla 45 – Resultado estadístico de los costos obtenidos y el valor de P

Fuente de variación	SS Suma de cuadrados	df Grados de libertad	MS Media cuadrática	F	P-valor	F-crítico
Inter Grupos	56.86	4	14.21	101535.2	1.86E-12	5.19
Intra Grupos	0.0007	5	0.00014			
Total	56.86	9				