

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional Ingeniería de Alimentos



*Una Institución Adventista*

**Cinética de la fermentación de bacterias ácido lácticas en col morada (*Brassica oleracea*)**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Alimentos

Por:

Jhon Adderly Carreon Sanchez

Asesor:

Ing. Alex Danny Chambi Rodriguez

Juliaca, diciembre del 2020

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Alex Danny Chambi Rodriguez, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, de la Universidad Peruana Unión.

### **DECLARO:**

Que el presente informe de investigación titulado: **“CINÉTICA DE LA FERMENTACIÓN DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS EN COL MORADA (BRASSICA OLERACEA)”** constituye la memoria que presenta el Bachiller **Jhon Adderly Carreon Sanchez** para obtener el título de Profesional de Ingeniero de Alimentos, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 16 días del mes de febrero del año 2021



---

Ing. Alex Danny Chambi Rodriguez  
Asesor



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 18 día(s) del mes de diciembre del año 2020 siendo las 13:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: MSC. Carmen Rosa Apaza Herrera, el secretario: Ing. Enrique Mamani Buela y los demás miembros: Ing. Edgar Mayta Pinto y el asesor Ing. Alex Danny Chambi Rodriguez

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Cinética de la fermentación de bacterias ácido lácticas en Col morada (Brassica oleracea)" de el(los)/a(las) bachiller/es: a) Jhon Adderly Carmon Sanchez b) conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero de Alimentos (Nombre del Título Profesional)

con mención en... El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Jhon Adderly Carmon Sanchez

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	16	B	Bueno	Muy bueno

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Asesor

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)

### Dedicatoria

Este proyecto lo dedico principalmente a mis hijos que se encuentran en el cielo y a mi madre.

### Agradecimiento

Agradezco principalmente a Dios por permitirme estar en esta vida, así también a mi madre, a mi asesor y a mi familia, que en todo momento me apoyaron a la realización y culminación de este proyecto

## Índice

Capítulo 1. El problema.....	13
1.1. Identificación del Problema.....	13
1.2. Objetivos.....	13
1.2.1. Objetivo General.....	13
1.3. Justificación. ....	14
1.4. Antecedentes.....	14
Capitulo II. Revisión de Literatura.....	16
2.1. Col <i>Brassica oleracea L</i> .....	16
2.1.1. Beneficios para la salud del repollo.....	17
2.2. Fermentación de Vegetales.....	18
2.2.3. Fermentación aeróbica.....	21
2.2.4. Fermentación anaeróbica.....	21
2.2.5. Chucrut.....	21
2.2.5.1. Fermentación del chucrut. ....	22
2.3. Crecimiento microbiano.....	23
2.3.1. Crecimiento microbiano en medio liquido.....	24
2.3.1.1. Fase de adaptación.....	25
2.3.1.2. Fase de crecimiento exponencial.....	25
2.3.1.3. Fase estacionaria.....	25

2.4. Crecimiento microbiano en medio sólido.....	26
2.5. Modelos predictivos del crecimiento microbiano .....	26
2.5.1. Modelos Primarios.....	27
2.5.2. Modelos Secundarios.....	28
2.5.3. Modelos Terciarios .....	28
2.6. Cinética Microbiana .....	29
2.6.1. Cinética de crecimiento de un cultivo discontinuo.....	30
Capitulo III. Materiales y Métodos.....	32
3.1. Lugar de Ejecución.....	32
3.2. Materia Prima .....	32
3.3.1. Materiales .....	32
3.4. Preparación de Chucrut .....	33
3.5. Determinación de curva de crecimiento microbiano.....	34
3.5.1. Modelo de Gompertz .....	34
3.5.2. Modelos de Bondad de Ajuste.....	35
3.6. Monitoreo de pH y Acidez .....	35
3.7. Análisis Sensorial .....	35
3.8. Análisis Proximal .....	36
3.8.1. Análisis de Grasa (AOAC, 985.15, 1990).....	36
3.8.2. Análisis de Fibra (AOAC, 978.10).....	37

3.8.3. Análisis de Ceniza (AACC 08-01 1995).....	37
3.8.4. Análisis de Humedad (AOAC, 925.10, 1990).....	38
Capitulo IV. Resultados y Discusión.....	39
4.1. Parámetros de crecimiento microbiano en la col morada.....	39
4.2. Monitoreo de pH y acidez .....	41
4.3. Análisis Sensorial .....	44
4.4. Análisis Microbiológico. ....	45
Capitulo V. Conclusiones y Recomendaciones .....	47
Referencias bibliográficas .....	48



## Índice de Tablas

Tabla 1.....	20
Tabla 2.....	221
Tabla 3.....	23
Tabla 4.....	36
Tabla 5.....	41
Tabla 6.....	43
Tabla 7.....	44
Tabla 8.....	45
Tabla 9.....	46

## Índice de Figuras

Figura 1. Coles de diferentes variedades y colores .....	16
Figura 2. Beneficios de col verde y morada .....	17
Figura 3. Vegetales en salmuera.....	18
Figura 4. Dinámica bacteria – solución salina en Chucrut.....	23
Figura 5. Division Celular .....	24
Figura 6. Curva de crecimiento típica de una levadura .....	256
Figura 7. Proceso de elaboración de Chucrut .....	33
Figura 8. Curvas de crecimiento microbiano de bacterias lácticas en col morada .....	40
Figura 9. Monitoreo de pH.....	41
Figura 10. Monitoreo del Porcentaje de Acidez .....	43
Figura 11. Perfil de análisis sensorial de las muestras analizadas.....	44

## Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad determinar la cinética de la fermentación de bacterias ácido lácticas en col morada, para tal efecto se inocularon cepas de bacterias lácticas (*Lactobacillus vulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*), en frascos estériles, para tal efecto se realizó una mezcla de cloruro de sodio en diferentes concentraciones (2.5, 3.0, 3.5 y 4.0%) con tiras de 0.5 cm de col morada, dándonos un total de 4 tratamientos con tres repeticiones, para así luego ser llevada a fermentación; durante las primeras 7 horas se realizó un monitoreo de crecimiento de las cepas en estudio, para luego realizar el modelado y obtención de la curva cinética con sus respectivos parámetros cinéticos aplicando el modelo matemático de Gompertz, asimismo, se realizó un monitoreo de pH y % de Acidez hasta completar 7 días de fermentación, con los datos se realizó un análisis de regresión lineal simple y se obtuvo los criterios estadísticos propios de la regresión, luego se realizó un análisis sensorial en escala hedónica con nueve puntos, para luego realizar un análisis con una grafica radial para así tomar la decisión del mejor tratamiento y realizar el análisis de la composición proximal, los resultados obtenidos nos mostraron que el tratamiento con 2.5% de NaCl, presento un buen desarrollo en la cinética microbiana, alcanzando esta la mayor obtención de biomasa ( $C = 0.350$ ); con respecto a la acidez se obtuvo valores finales de 0.8 mg de ácido láctico y 4.0 en el pH, asimismo, en el análisis sensorial se encontró que la prueba con mayor aceptación fue la prueba con 2.5% de NaCl, prueba con la cual se realizó el análisis de composición proximal en la cual se halló un alimento bajo en calorías pero con mayor contenido de fibra. En conclusión, se logró evaluar el desarrollo de las bacterias lácticas en el chucrut obteniendo así un alimento bajo en calorías.

*Palabras Clave: Bacterias Lácticas, Chucruth, Cinética microbiana.*

## Abstract

The purpose of this research work was to determine the kinetics of the fermentation of lactic acid bacteria in purple cabbage, for this purpose, strains of lactic bacteria (*Lactobacillus vulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*) were inoculated in sterile flasks, for this purpose a mixture was made of sodium chloride in different concentrations (2.5, 3.0, 3.5 and 4.0%) with strips of 0.5 cm of purple cabbage, giving us a total of 4 treatments with three repetitions, to then be taken to fermentation; During the first 7 hours a growth monitoring of the strains under study was carried out, and then modeling and obtaining the kinetic curve with their respective kinetic parameters applying the Gompertz mathematical model was carried out, also, pH and% monitoring was carried out. of Acidity until completing 7 days of fermentation, a simple linear regression analysis was performed with the data and the statistical criteria of the regression were obtained, then a sensory analysis was carried out on a hedonic scale with nine points, and then an analysis with a radial graph in order to make the decision of the best treatment and perform the analysis of the proximal composition, the results obtained showed us that the treatment with 2.5% NaCl presented a good development in microbial kinetics, reaching the highest biomass yield ( $C = 0.350$ ); With regard to acidity, final values of 0.8 mg of lactic acid and 4.0 in pH were obtained, likewise, in the sensory analysis it was found that the test with the highest acceptance was the test with 2.5% of Na Cl, a test with which performed the proximal composition analysis in which a low calorie food but with a higher fiber content was found. In conclusion, it was possible to evaluate the development of lactic acid bacteria in sauerkraut, thus obtaining a low-calorie food

*Keywords: Lactic acid bacteria, Chucruth, Microbial kinetics.*

## **Capítulo 1. El problema**

### **1.1. Identificación del Problema**

El chucrut es un alimento fermentado tradicional popular en el noreste de China, esta se da por fermentación espontánea y se basa naturalmente en la acción de bacterias de ácido lácticas presentes en coles frescas, asimismo, este tiene una preferencia muy marcada entre los lugareños (Xiong, Li, Guan, Peng, & Xie, 2014). Estos microorganismos generan fermentación láctica viniendo a ser, una herramienta antigua y tradicional de procesamiento y conservación de alimentos, como parte de la reacción bioquímica producida se cuentan muchos beneficios entre las cuales se puede destacar la ampliación de la vida útil, la formación de metabolitos primarios (ácidos orgánicos) y secundarios (alcoholes) del alimento siendo está considerado como biotecnología simple y valiosa para mejorar la seguridad, nutrición, calidad sensorial y vida útil de las materias primas (Cagno, Coda, Angelis, & Gobbetti, 2013). Este alimento proporciona abundantes vitaminas, ácidos orgánicos, aminoácidos y otros nutrientes. Sin embargo, en la actualidad esta industria presenta dificultades en el manejo ya que surgen varias dificultades, estas debido a la fermentación espontánea, entre los cuales se destaca: el largo período de fermentación, inestabilidad microbiológica ya que las materias primas pueden no contener solamente bacterias lácticas sino otras que dificultan el buen desarrollo de los microorganismos de interés, entre otros.

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo General**

- a) Determinar la cinética de la fermentación de bacterias ácido lácticas en col morada (Brassica oleracea).

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros de crecimiento microbiano en la col morada
- Evaluar la composición proximal, sensorial y microbiológicos del chucrut

### **1.3. Justificación.**

Los niveles de nutrición en nuestro país han decaído en los últimos años debido al encarecimiento de la canasta familiar; alimentos básicos como la leche y sus derivados, fuentes de proteína y vitaminas han dejado de ser parte de la dieta diaria de la familia peruana. En el mundo actual la nutrición ha sido descuidada, debido al ritmo de vida, los consumidores prefieren adquirir alimentos precocidos o fáciles de preparar, sin tomar en cuenta su valor nutricional. En la última década, la problemática de la nutrición ha hecho que las industrias alimenticias traten de incrementar el valor nutricional de los alimentos de consumo básico, generando así productos probióticos tal es el caso del chucrut que va ganando espacio. Sin embargo, en la actualidad se están realizando investigaciones para añadir a otros alimentos estas propiedades, entre ellos se ha considerado la col morada. Los pocos estudios realizados para añadir probióticos a los vegetales son motivo a realizar esta investigación, tomando en cuenta que se trata de un producto de fácil elaboración, de bajo costo y según estudios, un excelente vehículo de bacterias probióticas. Es importante destacar que a nivel mundial se comercializan muy pocos productos probióticos.

### **1.4. Antecedentes.**

El hombre ha aprovechado la acidificación de alimentos vegetales, que se inicia espontáneamente en ausencia de aire, para su transformación y conservación. La aplicación más extendida y conocida de dichos procesos es la obtención de chucrut (Jagnow y Dawid, 1991).

El chucrut es un producto estable y de sabor típico obtenido mediante un complejo fenómeno químico-microbiológico. Durante la fermentación la multiplicación de las bacterias lácticas, presentes naturalmente en las hojas del vegetal, da como resultado la disminución de la proliferación de microorganismos perjudiciales y el retraso o la inhibición de la alteración normal. Además, la acumulación de ácidos orgánicos y otros metabolitos provocan cambios sensoriales y nutricionales. Generalmente, la fermentación se realiza en forma espontánea, pudiéndose detectar una sucesión de microorganismos específicos en cada una de las fases del proceso, como resultado de cambios en las condiciones ecológicas (Hammes, 1991). Asimismo, Existen algunos estudios de la influencia de la concentración de sal en la fermentación láctica del chucrut, estudio en la cual se mostró que las bacterias halo tolerantes pueden generar metabolitos que dan cierto rechazo de parte del consumidor y también el bajo desarrollo bacteriano (Xiong et al., 2016). Por otro lado, hay estudios que muestran el impacto de las bacterias lácticas como cultivos iniciadores en la elaboración de chucrut como es el caso de *Leuconostoc mesenteroides* que pueden generar cambios en pH y otros cambio significativos (Xiong, Li, Guan, Peng, & Xie, 2014).

## Capítulo II. Revisión de Literatura

### 2.1. Col *Brassica oleracea* L

Col, también conocida como *Brassica oleracea* L. var. capitata, es una verdura crucífera Brassica procedente de la Familia de plantas cruciferae o familia de la mostaza. El prefijo "Brassica" descende del latín que significa cabbage mientras que el nombre crucifer se refiere a "cruz" que se le da a esta familia de plantas debido al hecho de que poseen cuatro pétalos que tienen la misma forma y tamaño. Aparte del repollo, el género Brassica se compone de varios otros cultivares de hortalizas de hoja como brócoli, coles de Bruselas, berro de jardín, coliflor, berza, nabos y bok choy, por nombrar algunos. El repollo es de origen mediterráneo y se cree que fue el primero domesticado en Europa Occidental y desde entonces se ha convertido en una gran parte de las cocinas de todo el mundo. La porción comestible de esta verdura es la cabeza, compuesta de capas compactas de hojas que vienen en muchas formas, tamaños, colores y texturas (Figura 1). Las principales variedades de cultivares de col incluyen coles rojas, blancas y col rizada que pueden ser preparado de varias formas para comer, es decir, guisado, desmenuzado, al vapor, en escabeche, fermentado, hervido, salteado, o se come crudo (Moreb, Murphy, Jaiswal, & Jaiswal, 2020).



*Figura 1.* Coles de diferentes variedades y colores  
Fuente: (Moreb et al., 2020)



### 2.1.1. Beneficios para la salud del repollo

Debido al rico perfil nutricional de la col, varios estudios epidemiológicos han declarado que una ingesta elevada de estos vegetales crucíferos puede beneficiar nuestra salud al reducir el riesgo general de desarrollar una serie de enfermedades crónicas, como cáncer, enfermedades cardíacas, diabetes, Alzheimer, etc. La acción protectora de esta verdura es principalmente debido a la presencia de fitoquímicos antioxidantes, por ejemplo, vitaminas C y E, flavonoides y carotenos. Sin una ingesta suficiente de vegetales crucíferos como el repollo, el metabolismo del oxígeno puede verse afectado en el estrés oxidativo, que en sí mismo es un factor de riesgo para la aparición de cáncer y el otro anteriormente mencionado enfermedades crónicas. El consumo de repollo finalmente aumenta el nivel de antioxidantes en la sangre, las células y tejidos. Estos antioxidantes tienen la capacidad de eliminar los radicales libres para prevenir el inicio de la cadena o alternativamente interrumpir la propagación de la cadena para terminar las reacciones de radicales libres y así proteger tales estructuras corporales contra la oxidación daño positivo mientras se reduce en general el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas.



*Figura 2.* Beneficios de col verde y morada  
Fuente:(Daoub, Elmubarak, Misran, Hassan, & Osman, 2016)

## 2.2. Fermentación de Vegetales.

La fermentación es una de las formas más antiguas de elaboración y conservación de alimentos en el mundo. La etapa de fermentación es la operación más importante en todo el proceso de fabricación de vegetales fermentados y consiste en colocar las especies hortícolas en solución salina (salmuera, Figura 1) y dejar que la flora microbiana realice la fermentación natural. Los vegetales deben mantenerse dentro del líquido para prevenir que entren en contacto con el aire y se descompongan por acción de los hongos y levaduras, por lo que en muchos casos puede requerir del uso de un peso (Goldoni, 2004).



*Figura 3. Vegetales en salmuera*

Fuente: Lirola (2017)

La fermentación ácido-láctica se consigue mediante la combinación de dos factores: la concentración de sal y el descenso del pH de la salmuera debido a la producción de ácido láctico por las bacterias fermentativas. En la preparación de la salmuera se utiliza agua potable, que esté exenta de materia orgánica en suspensión. La sal empleada debe contener menos del 1 %

de carbonatos o bicarbonatos de sodio, calcio y magnesio, debido a que estas sales pueden neutralizar el ácido producido por las bacterias que realizan la fermentación. Además, las altas concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) impiden el desarrollo de microorganismos perjudiciales y permite la disminución del pH.

El incremento de la acidez en la salmuera se debe a la acción de las bacterias ácido-lácticas, principalmente de la familia Lactobacillaceae. Estas transforman por homo fermentación la glucosa, las hexosas aldehídicas similares, los carbohidratos que producen estos azúcares simples y los alcoholes polihidroxílicos en ácido láctico. También se obtiene ácido láctico por heterofermentación, conjuntamente a otros productos finales adicionales como ácido acético, etanol, dióxido de carbono, ácido fórmico y ácido succínico (Malajovich, 2012).

En la segunda variante el ácido láctico constituye el 50 % de los productos finales. Las principales vías de fermentación para las hexosas son: la de Embden Meyerhof, donde se convierte 1 mol de hexosa en 2 moles de ácido láctico por fermentación homoláctica y la vía del 6-fosfogluconato, cuyo resultado es 1 mol de CO<sub>2</sub>, 1 mol de etanol (o de ácido acético) y 1 mol de ácido láctico, por fermentación heteroláctica.

El desarrollo de la fermentación de los vegetales se lleva a cabo en cuatro etapas: inicio de la fermentación, fermentación primaria, fermentación secundaria y post-fermentación. A nivel industrial sólo son deseables las dos primeras donde intervienen directamente bacterias lácticas y en menor medida levaduras (Tabla 1). Las bacterias que predominan en estas fases por orden creciente de tolerancia al ácido son: *Streptococcus faecalis*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus brevis* y *Lactobacillus plantarum*.

Tabla 1.

*Selección de algunos microorganismos en algunos alimentos*

<b>Alimento</b>	<b>Microorganismos que forman parte de la fermentación</b>
Chucrut	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Lactobacillus BREVIS</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , and <i>Pediococcus pentosaceus</i> , <i>Coliform spp.</i>
Kimchi	<i>L. mesenteroides</i> , <i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i> , <i>Leuconostoc lactis</i> , <i>L. BREVIS</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>Streptococcus faecalis</i> , and <i>Pfediococcus pentosaceus</i>
Cereales	Bacterias ácido lácticas
Carne fermentada	<i>Lactobacilli spp.</i> , <i>Pediococci spp.</i> , <i>S. carnosus</i> , and <i>Micrococcus varians</i>

Fuente: Kwon et al (2014)

Las dos primeras especies no soportan bien la sal, ni la acidificación y tienen poca importancia en salmueras con más de un 5 % de NaCl. Sin embargo, el *Lactobacillus plantarum* es el más ácido tolerante y es el que finaliza la mayor parte de las fermentaciones en los vegetales (Ogunbanwo, Sanni y Onilude,

### **2.2.1. Bacterias Acido – lácticas.**

La acidificación de las BAL elimina los microorganismos responsables de alteraciones en los vegetales (principalmente bacterias gram negativas y bacterias esporuladas) y a sus enzimas pectinolíticas responsables de las putrefacciones blandas. La evolución de la microbiota está controlada por numerosos factores físicos y químicos y la puesta en salmuera inicial de los vegetales es un elemento muy importante (Goldoni, 2004).

### **2.2.2. Fermentación.**

Transformación enzimática de compuestos orgánicos complejos en otros orgánicos más simples, con la liberación de energía y generalmente asociado con desprendimiento de gas

carbónico (CO<sub>2</sub>) (Cayre , Castro, & Garro, 2003). Asimismo, esta puede generar cambios fisicoquímicos como es el caso de los taninos e inhibidores de tripsina (Tabla 2)

Tabla 2.

Efecto de la fermentación en el contenido de a-galactósidos, taninos e inhibidores de tripsina

	Granos crudos	Harina de granos fermentados (1:4) <sup>a</sup>	Harina de granos fermentados (1:6) <sup>a</sup>
a-galactósidos (% b.s)	3,63±0,06 <sup>b</sup>	0,02±0,00 <sup>c</sup>	0,01±0,00 <sup>c</sup>
Taninos (mg/100 g b.s.)	63,18±0,44 <sup>d</sup>	24,92±0,30 <sup>e</sup>	40,48±0,11 <sup>d</sup>
Inhibidores de tripsina (UIT/mg b.s.)	10,30±0,95 <sup>f</sup>	4,30±0,12 <sup>g</sup>	3,14±0,17 <sup>h</sup>

Nota: b.s: base seca; a: Relación harina: agua; Letras iguales en la misma columna indican no diferencia significativa (p≤0,05) (Davila, Sangronis, Granito, 2003)

### 2.2.3. Fermentación aeróbica

El oxígeno del aire. Es una oxidación completa realizada por bacterias aeróbicas y es la que mayor energía liberada.

### 2.2.4. Fermentación anaeróbica

En este caso las bacterias son del tipo anaeróbicas. Usan el oxígeno combinado para realizar la oxidación. La E liberada es mucho menor que en el proceso aeróbico.

### 2.2.5. Chucrut

El chucrut es un producto fermentado elaborado a partir de repollo y tiene sus raíces en Europa central. Los alemanes y los alsacianos preparan chucrut como plato nacional. El chucrut también se ha utilizado en Alemania con fines medicinales; Tradicionalmente, en muchas partes

del sur de Alemania, algunas familias alimentaban a sus hijos con chucrut crudo dos veces por semana; se creía que esto apoyaba y fortalecía los intestinos de los niños enfermos. El chucrut también se produce tradicionalmente en los Balcanes utilizando cabezas enteras de repollo en lugar de repollo rallado. En la fermentación espontánea de chucrut, *Leuconostoc mesenteroides* inicia el proceso de fermentación, seguido del crecimiento de otras bacterias del ácido láctico (BAL), principalmente *Lactobacillus brevis*, *Pediococcus pentosaceus* y *Lactobacillus plantarum* especies, entre las cuales *L. plantarum* es responsable de la segunda fase. de fermentación y alta acidez del chucrut producido. Las especies dominantes, presentes en la fermentación, cambian en 1 semana de especies de BAL de fermentación homoláctica menos tolerantes a los ácidos a más tolerantes a los ácidos. Asimismo, el este producto es muy valioso puesto que en su composición nutricional tiene innumerables ventajas (Tabla 3)

Tabla 3

*Composición de minerales*

<b>Nutriente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Contenido (peso cada 100 g en peso seco)</b>
Vitamina B6	mg	0.130
Ácido fólico	µg	20
Vitamina A	µg	1
Beta caroteno	µg	8
Alpha caroteno	µg	5
Vitamina E	µg	0.14
Vitamina K	µg	13.0

Fuente: (Peñas, 2017)

### **2.2.5.1. Fermentación del chucrut.**

El proceso de elaboración de repollo fermentado, consiste en mezclar tiras finas de repollo con sal y dejar fermentar dentro de un recipiente cerrado y a temperatura ambiente durante 14

días aproximadamente (Figura 4). El producto se escurre y empaca en bolsas o frascos de vidrio y se consume como acompañante de carnes y embutido, especialmente salchichas.

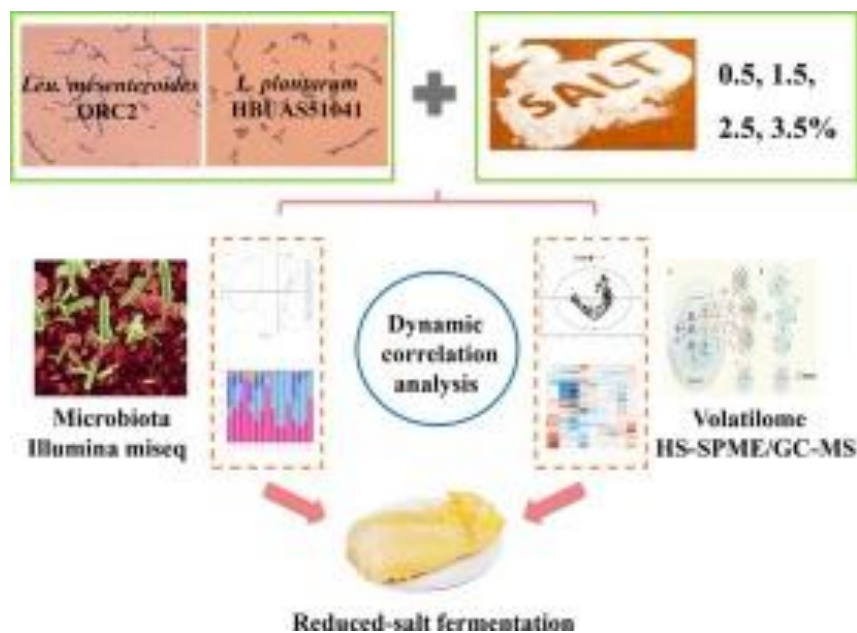


Figura 4. Dinámica bacteria – solución salina en Chucrut  
Fuente: Yang et al. (2020)

### 2.3. Crecimiento microbiano

En un sistema biológico se define al crecimiento como el aumento ordenado de las estructuras y los constituyentes celulares de un organismo (Figura 5). Según ello, el aumento de la masa celular producido por acumulación de productos de reserva (glucógeno, poli  $\beta$ -hidroxibutirato) no constituyen crecimiento. Se puede considerar como crecimiento al incremento de células individuales, por un lado, y por otro lado se puede considerar al crecimiento del número de células: proliferación de la población. En lo que se refiere al crecimiento de células individuales, este consiste en el aumento del tamaño y peso de las células que precede a la división celular. Esta división trae aparejada un aumento en el número de células (Cátedra Microbiología Agrícola).

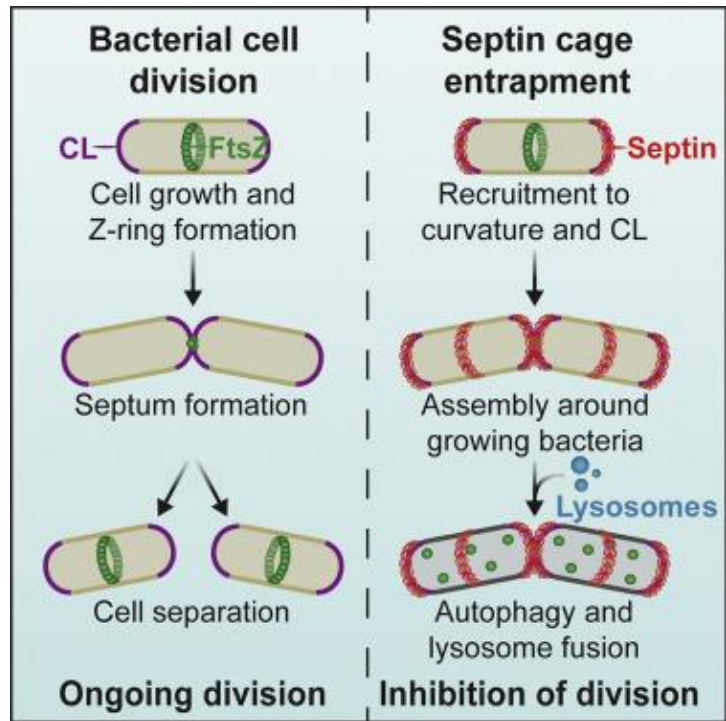


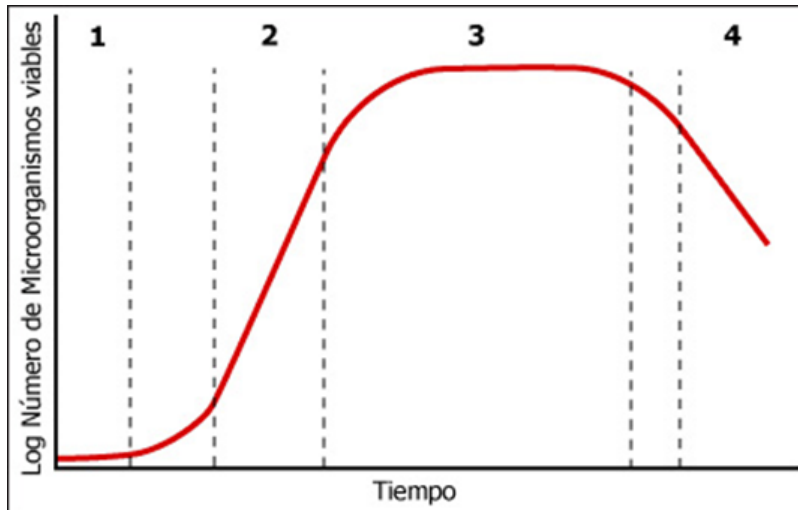
Figura 5. Division Celular  
Fuente: Krokowski et al (2018)

### 2.3.1. Crecimiento microbiano en medio líquido

Si la bacteria crece en un medio líquido, en la mayoría de los casos las células que se producen en cada división continúan su vida independientemente formándose una suspensión de células libres. (Puerta, C. J., & Ureña, C. P. 2005).

Esta puede ser evidenciada en un medio de cultivo que proporcione todos los requerimientos nutricionales para el microorganismo, además de poseer las condiciones óptimas de temperatura, pH, aireación y agitación (Buitrago y Escobar, 2009 p. 75). A su vez esta es expresada en función a crecimiento logarítmico en función al tiempo (Figura 6).





*Figura 6. Curva de crecimiento típica de una levadura*

Fuente: Buitrago y Escobar 2009. Aplicación de levadura *Cándida* spp como una alternativa viable para la retardación en la pudrición del banano (*Musa acuminata*).

#### **2.3.1.1. Fase**

#### **de adaptación**

Esta fase es generalmente considerada como el periodo que precede al estado de crecimiento exponencial, que en la mayoría de los casos presenta una duración corta y a la vez la fase de adaptación se considera en 2 partes. Buitrago y Escobar, (2009).

#### **2.3.1.2. Fase de crecimiento exponencial.**

Las células se incrementan exponencialmente, debido a que una de las células se encuentra en un estado interno de división celular. Buitrago y Escobar, (2009).

#### **2.3.1.3. Fase estacionaria.**

En este periodo el porcentaje de crecimiento comienza a decrecer y eventualmente el número de células comienza a ser constante. El número de células que mueren es comparativamente igual, al número de células que se forman, habiendo un estado de equilibrio (Cook, por Buitrago y Escobar, 2009).

## **2.4. Crecimiento microbiano en medio sólido**

Las fases, parámetros y cinética de crecimiento discutidas para el caso de los cultivos líquidos se presentan también en cultivos sólidos. La cinética de crecimiento, en este caso, se puede estudiar siguiendo la evolución del número de células viables por unidad de superficie o por unidad de masa.

Cuando una célula aislada e inmóvil comienza a crecer sobre un sustrato sólido, el resultado del crecimiento al cabo del tiempo es una colonia, por consiguiente, se denomina unidades formadoras de colonia (UFC) a una célula bacteriana viva y aislada que se encuentra en condiciones de sustrato y ambientales adecuadas da lugar a la producción de una colonia en un breve lapso de tiempo. Si en número inicial de bacterias por unidad de superficie de las colonias da lugar a lo que se llama un césped cuando se realizan los cultivos en placas de laboratorios.

En el caso de microorganismos móviles (deslizantes) o en el de los hongos filamentosos que tienen un crecimiento trófico no se producen colonias aisladas sino formaciones más difusas o miceliarias. (Puerta, C. J., & Ureña, C. P. 2005).

## **2.5. Modelos predictivos del crecimiento microbiano**

Según McMeekiny y otros (1993), La aplicación de modelos matemáticos para describir el crecimiento de los microorganismos en alimentos ha tenido un notable desarrollo en los últimos años. Los principales factores que han contribuido a incrementar el interés por los modelos predictivos en microbiología de alimentos han sido dos. El primero de ellos ha sido el marcado aumento de las intoxicaciones provocadas por alimentos durante los años 80, lo que llevó a un mayor conocimiento, por parte de la opinión pública, de los requerimientos para una

alimentación sana y segura. El segundo ha sido la comprensión de que los métodos microbiológicos tradicionales y muchos métodos "rápidos", que se utilizaban para determinar la calidad y la seguridad de los alimentos, estaban limitados por las necesidades de tiempo para obtener resultados y tenían muy poco valor predictivo. (Buchanan y Garza, 1996).

Los modelos microbianos constituyen valiosas herramientas, en la industria alimentaria, para predecir el crecimiento o supervivencia de los microorganismos. Los modelos pueden, de esta forma, aportar información muy útil para tomar decisiones acerca de la higiene y la vida útil de un producto, pudiéndose estimar los riesgos potenciales debidos al crecimiento de patógenos en un alimento tras un período de almacenamiento en determinadas condiciones, o establecer una fecha de caducidad para un producto mediante la estimación del tiempo necesario para alcanzar un nivel especificado de alteración del producto o de población microbiana. (Garza, 1996).

### **2.5.1. Modelos Primarios.**

Los modelos primarios se ocupan de la descripción de los cambios del número microbiano en función del tiempo (crecimiento, supervivencia, inactivación). Cualitativamente pueden incluir unidades formadoras de colonias (ufc), biomasa, medidas de absorbancia, además de niveles de substratos o de productos metabólicos producidos (Geeraerd y col, 2004).

Muchos de los modelos primarios desarrollados hasta ahora son modelos deterministas de población. En estos modelos, la evolución del número total de células de una población es descrita a través de un sencillo conjunto de parámetros (máxima densidad poblacional, velocidad de crecimiento específica, fase de latencia) (Sswinnen y col, 2004).

Entre los modelos de existencia de poblaciones se pueden citar el modelo de (Buchanan y col, 1997), un modelo lineal trifásico que describe la curva clásica de crecimiento en tres partes (fase de latencia, fase exponencial y fase estacionaria).

### **2.5.2. Modelos Secundarios**

Los modelos secundarios caracterizan los parámetros que pueden aparecer en los modelos primarios en función de las condiciones del medio (temperatura, pH, actividad de agua, etc.). Permiten considerar como dos o más factores interactúan sobre el crecimiento microbiano.

En el pasado los modelos secundarios para el tiempo de latencia solamente incorporaban el efecto del ambiente de incubación. Hoy en día han surgido muchos más modelos que incluyen otros factores relevantes como las condiciones de pre incubación. Estos modelos podríamos agruparlos en dos secciones:

- Modelos que calculan la duración de la fase de latencia en función de las condiciones de incubación.
- Modelos que calculan la duración de la fase de latencia en función de las condiciones de pre-incubación y de incubación. (Buchanan & Col, 1997).

### **2.5.3. Modelos Terciarios.**

Los modelos terciarios pueden tener varias formas, comenzando por combinar los dos primeros niveles de modelos basados en experimentos laboratorios ( por ejemplo, el “Pathogen Modeling Program”, creado y puesto a disposición de la comunidad científica gratuitamente por la USDA); versiones más extendida que incluyen la posibilidad de importar una historia de temperatura para predecir la vida útil restante con respecto a un organismo deteriorador

especifico, como es el caso del “SeafoodSpoilage predictor” (Dalgaard y col., 2002); o llegando hasta la incorporación de modelos predictivos en una red de evaluación de riesgos microbiológicos, como por ejemplo, el SERA (“Samonella Enteritidis Risk Assessment”) del USDA (Geeraerd & Col., 2004).

## **2.6. Cinética Microbiana**

La microbiología predictiva se basa en el desarrollo de modelos matemáticos que permiten predecir la velocidad de crecimiento de los microorganismos bajo determinadas condiciones ambientales (Fornaris & Cárdenas, 2001). Algunos de los factores principales que afectan el crecimiento microbiano en los alimentos son la temperatura y el pH, por lo cual deben tenerse en cuenta para lograr una determinada predicción. La aplicación de modelos matemáticos se realiza en dos etapas principales:

- Modelado de la curva de crecimiento del microorganismo
- Descripción de la variación de los distintos parámetros que afectan a dicha curva.

Estas curvas se ajustan y sus parámetros se derivan usando programas computacionales (Buchanan, 1991).

El empleo de modelos matemáticos permite así, cuantificar y predecir el desarrollo microbiano con el objeto de asegurar la calidad de un alimento.

### **2.6.1. Cinética de crecimiento de un cultivo discontinuo**

Según Puerta & Ureña (2005) el estudio de la cinética del crecimiento de microorganismos que crecen aislados que no forman ningún tipo de estructura. Esta es la forma de crecimiento de la levadura (hongo unicelular) y de las bacterias. Es importante conocer la cinética de crecimiento de los cultivos microbianos para predecir cómo va a evolucionar un cultivo, cómo va a ir consumiéndose el substrato y cómo se van a ir acumulando los productos del cultivo. Sin conocer estos factores es muy imprudente iniciar el cultivo en un fermentador de 10.000 litros, por ejemplo, con el coste que ello supone, puesto que no podemos predecir qué va a pasar, cuándo va a completarse el crecimiento, cómo se va a acumular el producto, etc. Las células aisladas cultivadas en un volumen finito de medio de cultivo apropiado van utilizando los nutrientes que tienen disponibles con la mayor eficiencia y rapidez que pueden, sintetizando sus propios componentes celulares y dividiéndose en cuanto han podido duplicar su masa y su material genético. El tiempo que tarda una célula en hacer todo lo anterior es lo que conocemos como tiempo de generación ( $\tau$ ) y puede variar desde unos 20 minutos en condiciones óptimas hasta varios meses en condiciones del suelo. Cada vez que transcurre un tiempo de generación, el número de células se duplica, siguiendo, por tanto, un incremento exponencial.

### **2.6.2. Cinética de crecimiento en un cultivo continuo**

Según Puerta & Ureña (2005) en un cultivo continuo se mantienen los microorganismos en crecimiento constante porque se añade de forma constante medio de cultivo fresco (que aporta nuevos nutrientes) y se elimina cultivo (medio usado con sus microorganismos correspondientes) a la misma velocidad con objeto de mantener el volumen total del cultivo constante. Los cultivos continuos son importantes para trabajar con microorganismos que estén creciendo constantemente de manera que sean capaces de producir constantemente productos

de interés (biomasa, metabolitos secundarios, etc.). Este tipo de cultivo es también importante en los estudios de fisiología y de ecología microbiana. En la naturaleza un ejemplo de cultivo continuo lo constituye el rumen de ciertos animales y el conjunto de procesos microbianos intestinales de todos los animales. En un cultivo continuo se pretende mantener un ambiente constante durante todo el tiempo de cultivo. Esto es imposible en un cultivo estanco en el que los nutrientes se van consumiendo progresivamente y el medio se va cargando de productos de desecho.

## Capítulo III. Materiales y Métodos

### 3.1. Lugar de Ejecución.

El presente trabajo de investigación fue desarrollado a 3820 msnm en el centro de investigación de ciencia de los alimentos (CICAL) de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Peruana Unión – Campus Juliaca

### 3.2. Materia Prima

La col morada, la sal sin yodo fueron adquiridos en el mercado de la localidad y como criterios de selección se consideraron los de tipo sensorial (color, dureza y frescura), asimismo, las cepas usadas fueron bacterias lácticas (*Latobacillus vulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*), usados en la fermentación de la leche.

### 3.3. Materiales, Equipos y Reactivos

#### 3.3.1. Materiales

- Frascos de 1000 ml
- Pipetas de 5 y 10 ml
- Vasos precipitados
- Matraces de Erlenmeyer de 50, 100 y 500 ml
- Bureta automática
- Placas de Petri
- Tubos de ensayo
- Crisoles

#### 3.3.2. Equipos

- Estufa
- Autoclave
- Incubadora
- Equipo Soxlet
- Mufla
- pHmeter



### 3.3.3. Reactivos

- Hidróxido de sodio (NaOH, 0.1N)
- Acido Clorhídrico (HCl 0.1N y 0.01N)
- Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1N y 0.01N)
- Agar Müller Hinton
- Agar Bilis Rojo Violeta
- Agar Baird Parker
- Caldo Peptonado.

### 3.4. Preparación de Chucrut

El proceso de elaboración de Chucrut se muestra en la figura 7.

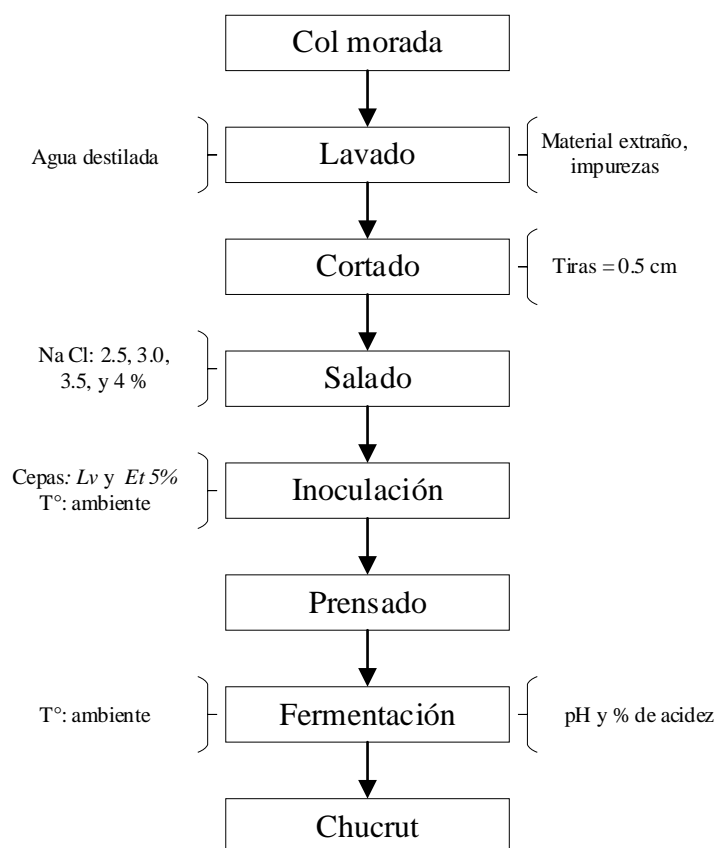


Figura 7. Proceso de elaboración de Chucrut

Se pesó la col morado en una balanza digital para luego realizar la limpieza con agua destilada y así eliminar cualquier suciedad de nuestra materia prima luego se procedió a cortar tiras finas de 0.5 cm con un cuchillo de acero inoxidable, enseguida se pesó cloruro de sodio equivalente a 2.5, 3.0, 3.5, y 4% de la col morada, la inoculación de las cepas se realizó a temperatura ambiente y luego se prensó la mezcla en frascos estériles de 100 ml y se dejó fermentando a temperatura ambiente.

### **3.5. Determinación de curva de crecimiento microbiano**

Para las lecturas del incremento de biomasa se realizó sembrado en placa invertido, para lo cual se realizaron diluciones seriadas en tubos de ensayo con caldo peptonado y sembrados en placas Petri con agar Müller Hinton, para luego llevarlos a incubación a 37°C por 24 horas para luego expresar los resultados en unidades formadora de colonias por gramo (UFC/g) asimismo, estos datos fueron convertidos a logaritmo natural así y ser modelados con la respectiva fórmula sigmoideal (Castro et al., 2008):

#### **3.5.1. Modelo de Gompertz**

$$N = N_0 + C * \exp(-\exp(-B * (t - M))) \quad (1)$$

Donde N es el número de microorganismos a un tiempo t,  $N_0 > 0$  es el número de microorganismos en momento inicial, el parámetro, C: logaritmo común de la diferencia entre la población inicial y final en la fase estacionaria, B representa la pendiente de la curva y describe la tasa de crecimiento y M el tiempo en el cual la tasa de crecimiento es de mayor magnitud.

Asimismo, se calculó la velocidad específica de crecimiento ( $\mu_{\text{máx}}$ ), duración de la fase de latencia ( $\lambda$ ) y el tiempo de generación (G); según Cayré, Vignolo, & Garro (2007).

$$\mu = \frac{A * B}{e} \quad (2)$$

$$\lambda = M - \frac{1}{B} \quad (3)$$

La comparación de los diferentes tratamientos, se realizó tomando la factibilidad de los mismos para alcanzar el ajuste, determinando los parámetros de crecimiento correspondientes a cada modelo matemático (Castro et al., 2008).

### **3.5.2. Modelos de Bondad de Ajuste**

Para realizar el ajuste del modelo para cada tratamiento se aplicó los análisis estadísticos sugeridos por Torres et al. (2012) De: interacciones, suma final de los cuadrados del error, cuadrado medio del error, la desviación estándar, el coeficiente de variabilidad.

### **3.6. Monitoreo de pH y Acidez**

El potencial de hidrógeno (pH) fue medido con un potenciómetro de mesa SI Analytics modelo Lab 850; y del porcentaje de acidez titulable con hidróxido de sodio 0,1 N como titulante y como indicador solución alcohólica de fenolftaleína al 1%

### **3.7. Análisis Sensorial**

Para el análisis sensorial se realizó la prueba de aceptación en escala hedónica, debido a que permite conocer el grado de aceptación o grado de satisfacción del producto durante un

tiempo determinado, para tal efecto 15 jueces calificaron las muestras a primera impresión respondieron el agrado o desagrado del producto, esto lo informado de acuerdo a una escala verbal - numérica que va en la ficha. La escala tuvo 9 puntos, con los datos obtenidos se elaboro un grafico radial para decidir la prueba con mayor aceptación.

Tabla 4

*Escala empleada en la evaluación sensorial*

<b>Escala</b>	<b>Puntaje</b>
Me gusta muchísimo	9
Me gusta mucho	8
Me gusta moderadamente	7
Me gusta poco	6
No me gusta, ni me disgusta	5
Me disgusta poco	4
Me disgusta moderadamente	3
Me disgusta mucho	2
Me disgusta muchísimo	1

**Fuente:** Tenesaca y Quintong. (2013).

### **3.8. Análisis Proximal**

#### **3.8.1. Análisis de Grasa (AOAC, 985.15, 1990)**

La preparación de la muestra: en muestras con mucha humedad se homogeniza y seca a  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  en estufa de aire considerando el tipo de muestra. Luego se pasó a moler y pasar por tamiz de malla de 1 mm, pesando 2 a 5 gramos de muestra preparada en papel filtro previamente

pesado y tapado con algodón desgrasado. Luego se registra la masa, enseguida se pasó a secar el matraz de extracción por 30 min a  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

### **3.8.2. Análisis de Fibra (AOAC, 978.10)**

Para dicho análisis se realizó en triplicado, Pesar a 0.1 mg alrededor de 2 g de muestra preparada y transferir en al matraz del aparato de calentamiento a reflujo. Agregar 1.5 a 2.0 g de fibra cerámica preparada, agregar 200 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.255 N, hirviente, gotas de antiespumante y perlas de vidrio, conectar el aparato de calentamiento a reflujo y hervir exactamente durante 30 minutos rotando el matraz periódicamente. Desmontar el equipo y filtrar a través del embudo Büchner tipo California o sus alternativas. Lavar con 50 a 75 ml de agua hirviente, repetir el lavado con 3 porciones de 50 ml de agua o hasta que cese la reacción ácida retornar el residuo al aparato de calentamiento a reflujo y hervir exactamente durante 30 minutos, rotando el matraz periódicamente. Lavar con 25 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.255 N, hirviente, con 3 porciones de 50 ml de agua hirviente y con 25 ml de etanol al 95%, remover el residuo y transferir al crisol secar en estufa a  $130 + 2^{\circ}\text{C}$  por 2 horas, enfriar en desecador y pesar. Incinerar 30 minutos a  $600 + 15^{\circ}\text{C}$ , enfriar en desecador y pesar.

### **3.8.3. Análisis de Ceniza (AACC 08-01 1995)**

Para dicho análisis se empleó el método, el procedimiento consistió en poner un crisol a masa constante en el cual se pesaron 2 gr. De muestra; se colocó el crisol se llevó el crisol a la mufla, y se transfirió al desecador para su completo enfriamiento se determinó la diferencia de masa del crisol.

#### **3.8.4. Análisis de Humedad (AOAC, 925.10, 1990)**

El contenido en agua de un producto se define convencionalmente como la pérdida de masa que experimenta en condiciones determinadas. El producto se seca a 130°C bajo presión atmosférica normal, durante una hora y media. Este método de desecación a 130°C se aplica a los granos, harinas y otros productos derivados de los cereales, reducidos a partículas de dimensiones inferiores o iguales a 1.700  $\mu$ , de las cuales, menos del 10% serán superiores a 1.000  $\mu$  y más del 50% inferiores a 500

## Capítulo IV. Resultados y Discusión

### 4.1. Parámetros de crecimiento microbiano en la col morada

En la figura 8 se puede observar cada una de las curvas de crecimiento bacteriano de *Saccharomyces boulardii* en col morada en ella se puede apreciar que a medida que se incrementa la concentración de sal la curva se aplana, en tal sentido se muestra que la concentración de 2.5% presenta un mejor comportamiento a los demás

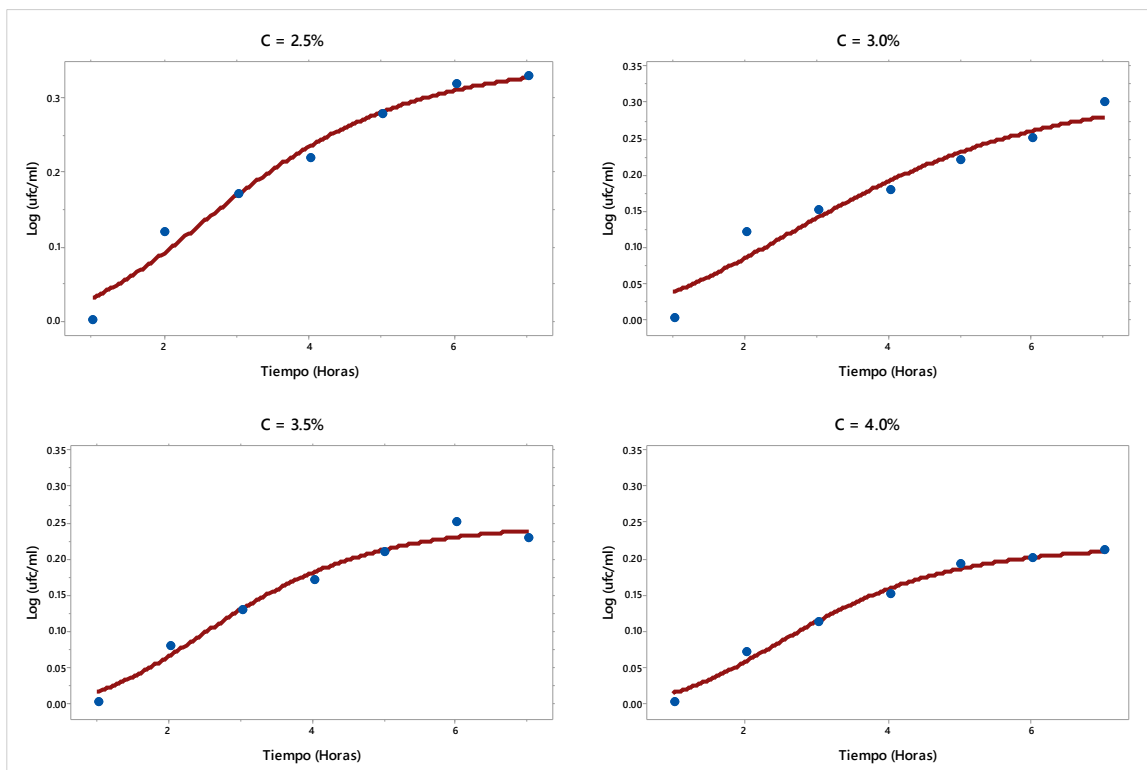


Figura 8. Curvas de crecimiento microbiano de bacterias lácticas en col morada

según Castro et al., (2008), en su investigación de modelos cinéticos aplicados al crecimiento de *Lactococcus lactis subsp. lactis* en productos como la leche, demuestra que, a diferencia de los modelos de regresión lineal simples, los modelos de regresión no lineal son

mejores ya que estos pueden presentar gráficos como los obtenidos en los cuales se pueden determinar las fases de crecimiento de los microorganismos, Vanegas & Ramírez, (2016) en su estudio del crecimiento de *Pseudomonas* aplicando el modelo de Gompertz, Logístico y Baranyi, describe que el modelo de Gompertz es óptima en la construcción de las curvas de crecimiento microbiano de modo que los resultados obtenidos corroboran lo demostrado en el presente trabajo.

En la tabla 5 se muestra lo parámetros de la cinética de crecimiento, en ellos se aprecia similitud; siendo superior el tratamiento de concentración de 2.0% superior a los demás con respecto a los parámetros C y M, asimismo con respecto a B la concentración de 3.5% fue superior a los demás, con respecto a la tasa de crecimiento ( $\mu_{\text{máx}}$ ) la concentración 2.0% fue la mejor, con respecto al tiempo de generación la concentración al 3.0% fue más veloz que las demás seguido de 2.5% y finalmente sobre G el mayor valor fue de la concentración de 3.0%

Tabla 5

*Parámetros cinéticos de crecimiento de Bacterias lácticas*

Concentración de NaCl (%)	Parámetros cinéticos					
	C	B	M	$\mu_{\text{máx}}$	$\lambda$	G
2.5	0.350	1.512	0.610	0.214	0.839	3.247
3.0	0.317	1.235	0.479	0.152	0.491	4.565
3.5	0.248	1.721	0.718	0.178	1.004	3.893
4.0	0.216	1.717	0.713	0.154	1.006	4.501

Según Gualtieri (2007) menciona que el desarrollo de los microorganismos se debe a la variación del sustrato viniendo a ser esta indispensable en obtención de biomasa, de modo que, esto explica el fenómeno mostrado en las curvas de crecimiento, que a mayor crecimiento de microorganismos el sustrato disminuye en tiempos menores, por otro lado, si la concentración de microorganismos es baja esta podrá tener un buen desarrollo y el incremento de células será



viable, para Ortiz et al. (2008) el contenido de biomasa depende de la concentración de sustrato hasta cierto punto ya que en su estudio mostro que en concentración de melaza de 20 y 30 % no existe diferencia estadística de la cantidad de biomasa obtenida.

#### 4.2. Monitoreo de pH y acidez

La figura 9 muestra el comportamiento del pH de cada una de las muestras el valor más bajo fue dado por la concentración de 3.5% con un valor final de 2.09 indicando que esta es más acida en comparación a las demás con pHs próximos a 4.0.

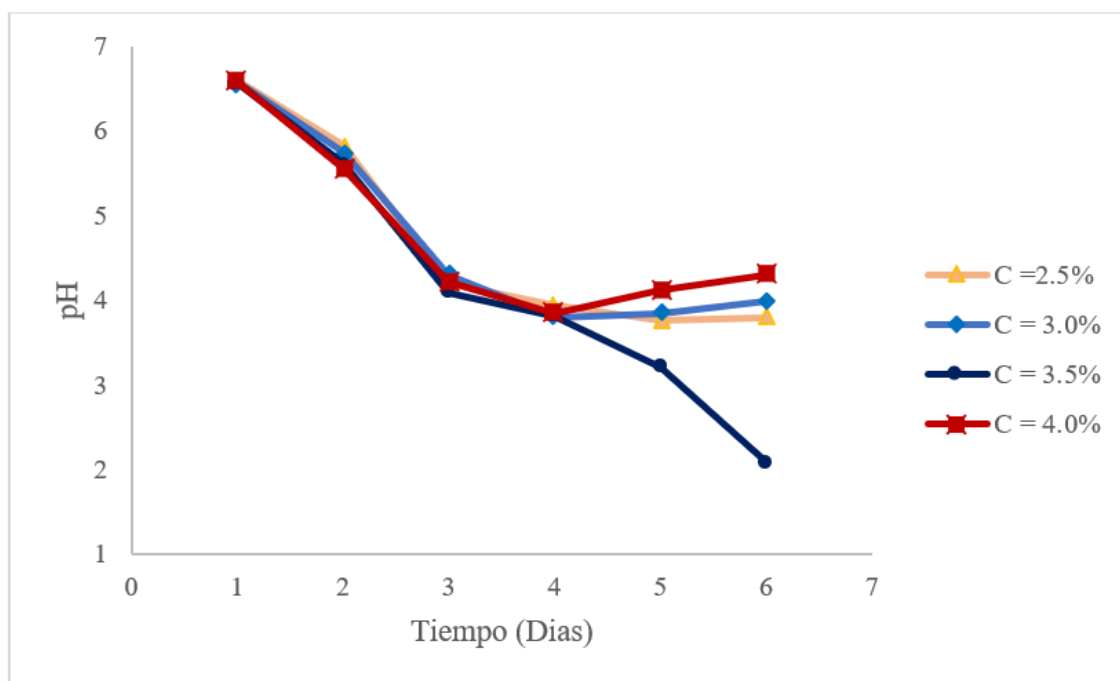


Figura 9. Monitoreo de pH

Según Cayre, Castro y Garro (2002) el pH del chucrut se encuentra próximos 5.67 a 3.38 concordando con lo hallado por nuestro estudio; asimismo Vanegas (2019), menciona que el pH es muy importante puesto que este debe ser próximo a 3.7 de modo que las bacterias ácido

lácticas puedan crecer mejor. El pH del medio es importante debido a que de esta depende el desarrollo bacteriano de los encurtidos (Sayago, & López,1986).

En la tabla 6 se muestra las estadísticas de regresión del ajuste de cada uno de los tratamientos, en ella se puede apreciar que la concentración de 3.5% tiene menor desviación estándar (S) con un valor de 0.33 con respecto a los demás, asimismo, con respecto al valor de R – cuadrado se puede apreciar nuevamente que la concentración de 3.5% tiene un mejor ajuste con un 0.96 lo mismo que el R - cuadrado ajustado con 0.95, por otro lado, en la significancia se puede apreciar que todos tienen valores menores a 0.05 a excepción de la concentración de 4.0%, con respecto a la pendiente todos los valores con negativos

Tabla 6

*Criterios estadísticos de las regresiones de pH*

Estadísticos	Concentración de Cloruro de sodio			
	2.5%	3%	3.5%	4%
<b>S</b>	0.59	0.63	0.33	0.71
<b>R- cuadrado</b>	0.80	0.76	0.96	0.64
<b>R - Cuadrado ajustado</b>	0.76	0.70	0.95	0.55
<b>Valor P</b>	0.01	0.02	0.00	0.05
<b>valor F</b>	16.90	12.97	115.12	7.35
<b>Pendiente</b>	-0.58	-0.54	-0.85	-0.46
<b>Constante b</b>	6.73	6.62	7.22	6.38

La figura 10 muestra el monitoreo del porcentaje de acidez, en ella se aprecia que los valores obtenidos fueron cercanos a 0.80 a 0.90%, sin embargo, la concentración de 3.0% presento el valor más bajo con 0.558% de acidez, asimismo en cada una de las curvas se puede apreciar que la pendiente es positiva.

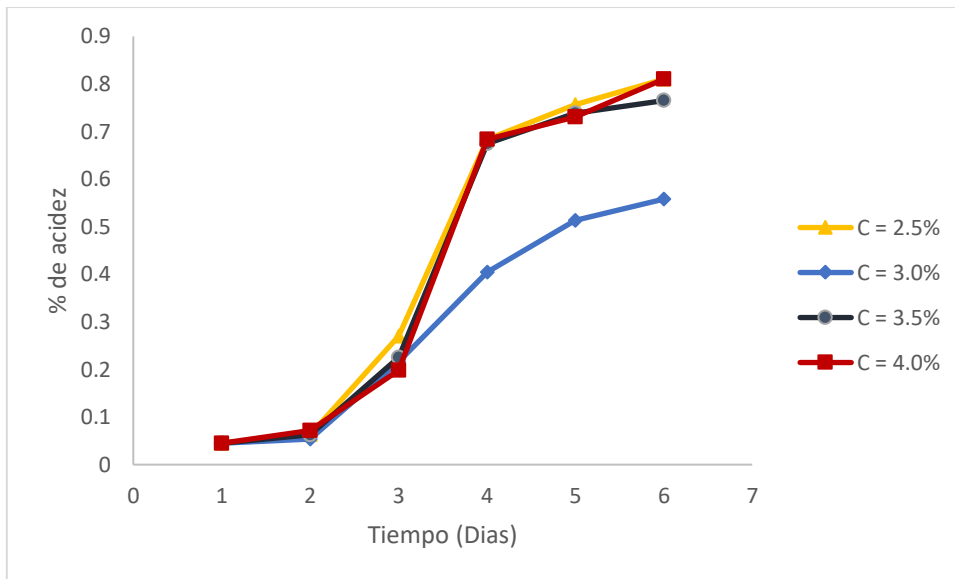


Figura 10. Monitoreo del Porcentaje de Acidez

Según Cayre, Castro y Garro (2002) la acidez del Chucrut se encuentra alrededor de 0.69% en contraste a lo que se halló en nuestro estudio con valores próximos a los de 0.8%; asimismo Kendall, & Schultz,(2011) mencionan que en los productos vegetales se incrementan los valores de la acidez. Asimismo, Vanegas (2019), menciona que este fenómeno se debe a que las bacterias presenten incremental la acidez del medio

En la tabla se muestra las estadísticas de regresión del ajuste de cada uno de los tratamientos, en ella se puede apreciar que la concentración de 3.5% tiene menor desviación estándar (S) con un valor de 0.43 con respecto a los demás, asimismo, con respecto al valor de R – cuadrado se puede apreciar nuevamente que la concentración de 3.5% tiene un mejor ajuste con un 0.94 lo mismo que el R - cuadrado ajustado con 0.93, por otro lado, en la significancia se puede apreciar que todos tienen valores menores a 0.05 , con respecto a la pendiente todos los valores con positivos

Tabla 7

*Criterios estadísticos de las regresiones de la acidez*

Estadísticos	Concentración de Cloruro de sodio			
	2.5%	3%	3.5%	4%
<b>S</b>	0.60	0.61	0.43	0.70
<b>R- cuadrado</b>	0.80	0.76	0.94	0.64
<b>R - Cuadrado ajustado</b>	0.76	0.70	0.93	0.55
<b>Valor P</b>	0.01	0.02	0.00	0.00
<b>valor F</b>	16.90	12.97	115.12	7.35
<b>Pendiente</b>	0.48	0.44	0.75	0.76
<b>Constante b</b>	6.73	6.62	7.22	6.38

### 4.3. Análisis Sensorial

En la figura 11 se muestra se puede apreciar que el tratamiento con mayor aceptación fue el de 2.5% seguido de 3.0%, asimismo, lo mismo ocurre con los demás atributos estudiados.

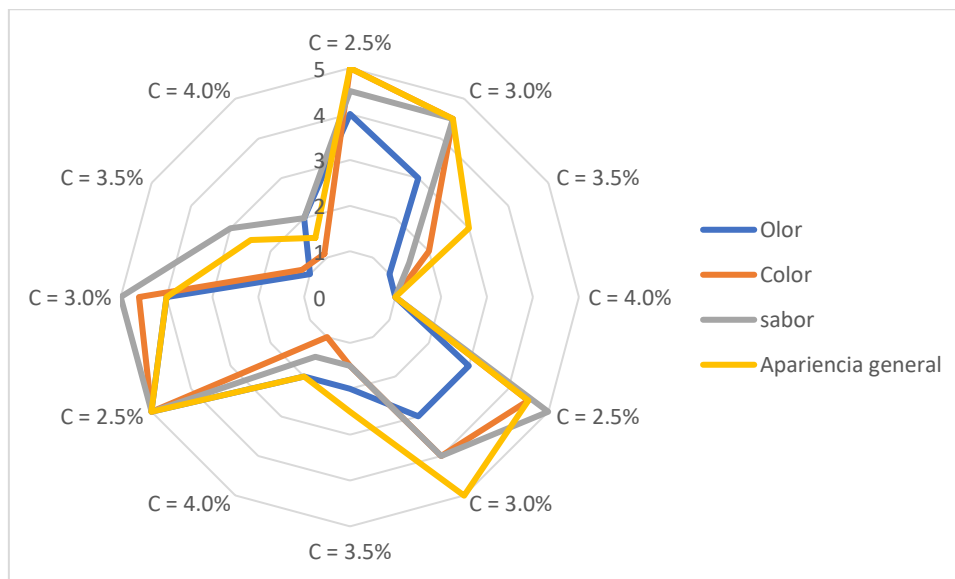


Figura 11. Perfil de análisis sensorial de las muestras analizadas

#### 4.4. Análisis Microbiológico.

En la tabla se puede observar los resultados de los análisis microbiológicos de cada una de las muestras en cada una de ellas se puede observar un análisis considerable para ambos microorganismos.

Tabla 8

*Análisis Microbiológico de Chucrut antes y después de la fermentación*

Concentración de NaCL (%)	Coliformes totales (ufc/g)		Staphiloccocus (ufc/g)	
	Pre	post	Pre	post
2.5	244 X 10 <sup>3</sup>	126 X 10 <sup>3</sup>	212 X 10 <sup>3</sup>	76 X 10 <sup>3</sup>
3.0	158 X 10 <sup>3</sup>	63 X 10 <sup>3</sup>	258 X 10 <sup>3</sup>	120 X 10 <sup>3</sup>
3.5	134 X 10 <sup>3</sup>	56 X 10 <sup>3</sup>	180 X 10 <sup>3</sup>	62 X 10 <sup>3</sup>
4.0	97 X 10 <sup>3</sup>	51 X 10 <sup>3</sup>	120 X 10 <sup>3</sup>	57 X 10 <sup>3</sup>

Según Bravo et al., (2008), este fenómeno se debe a que *Saccharomyces boulardii* genera ciertos metabolitos que pueden inhibir el crecimiento de bacterias patógenas, concordando con lo hallado en el presente estudio, asimismo, Suárez, Mogollón, Rojas, Ortiz, & Zapata (2017), mencionan que bacterias lácticas pueden ejercer la acción antimicrobiana, puesto que estas generan péptidos para inhibir bacterias patógenas.

#### 4.5. Análisis Proximal.

La tabla 9, muestra los valores de composición proximal en ella se puede apreciar un bajo contenido calórico, puesto que, las proteínas, grasas, carbohidratos presentan valores bajos, sin embargo, se puede apreciar un valor considerable de fibra.

Tabla 9

*Composición proximal de chucrut*

Composición	Valor
Calorías	19 Kcal
Proteínas	0.9 g
Grasas Totales	0 g
Carbohidratos	4.3 g
Azúcares Simples	1.8 g
Fibra	2.9 g

## **Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones**

En primer lugar, en la presente investigación se encontró los parámetros cinéticos de crecimiento de las bacterias lácticas, en ella se pudo observar que el chucrut a una concentración de NaCl al 2.5% presentó un mejor desempeño en comparación a los demás.

En segundo lugar, se pudo apreciar en caso del pH, que en cada uno de los tratamientos hubo disminuciones hasta valores de alrededor de 4.0; asimismo, con respecto al porcentaje de acidez, se encontró un incremento de hasta una acidez aproximada de 0.8.

En tercer lugar, sobre el análisis sensorial se encontró que el grupo de panelistas tuvieron una mayor preferencia por la prueba con NaCl al 2.5%.

En cuarto lugar, con respecto al análisis microbiológico, en cada una de las pruebas se mostró que las bacterias lácticas ejercieron actividad antimicrobiana y microcida puesto que hubo reducciones considerables a las bacterias patógenas encontradas al inicio de los tratamientos.

Finalmente, se realizó el análisis proximal que el aporte calórico es bajo, siendo este un buen alimento para el cuidado de la salud

## Referencias bibliográficas

- Bravo, V., Bunout, D., Leiva, L., Maza, M., Barrera, G., Maza, J., & Hirsch, S. (2008). Efecto del probiótico *Saccharomyces boulardii* en la prevención de la diarrea asociada con antibióticos en adultos ambulatorios en tratamiento con amoxicilina. *Revista Médica de Chile*, *136*, 981–988.
- Castro, G., Valbuena, E., Sánchez, E., Briñez, W., Vera, H., & Leal, M. (2008). Comparación de modelos sigmoidales aplicados al crecimiento de *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*. *Revista Científica FCV-LUZ*, *XVIII*, 582–588.
- Cayré, M., Vignolo, G., & Garro, A. (2007). Selección de un modelo primario para describir la curva de crecimiento de bacterias lácticas y *Brochothrix thermosphacta* sobre emulsiones cárnicas cocidas. *Información Tecnológica*, *18*(3), 23–29.
- Daoub, R. M. A., Elmubarak, A. H., Misran, M., Hassan, E. A., & Osman, M. E. (2016). Characterization and functional properties of some natural Acacia gums. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.05.002>
- Moreb, N., Murphy, A., Jaiswal, S., & Jaiswal, A. K. (2020). Cabbage. In *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 33–54). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00003-9>
- Ortiz, Á., Reuto, J., Fajardo, E., Sarmiento, S., Aguirre, A., Arbeláez, G., ... Quevedo-Hidalgo, B. (2008). Evaluación de la capacidad probiótica “in vitro” de una cepa nativa de *Saccharomyces cerevisiae*. *Redalyc*, *13*(2), 138–148.
- Suárez, H. S., Mogollón, G. O., Rojas, C., Ortiz, T. P., & Zapata, A. O. (2017). Aislamiento de



- péptidos inhibidores de bacterias a partir de bacterias ácido lácticas del tracto digestivo del lechón e identificación mediante prueba proteómica. *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 437–443. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.15>
- Torres, V., Barbosa, I., Meyer, R., Noda, A., & Sarduy, L. (2012). Criterios de bondad de ajuste en la selección de modelos no lineales en la descripción de comportamientos biológicos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(4), 345–350. <https://doi.org/10.1097/MOG.0b013e32835a3500>
- Vanegas, D., & Ramírez, M. (2016). Correlación del crecimiento de *Pseudomonas fluorescens* en la producción de polihidroxicanoatos de cadena media (PHAMCL) mediante modelos primarios de Gompertz, logístico y baranyi. *Información Tecnológica*, 27(2), 87–96. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000200011>
- Xiong, T., Li, J., Liang, F., Wang, Y., Guan, Q., & Xie, M. (2016). Effects of salt concentration on Chinese sauerkraut fermentation. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.057>
- Xiong, T., Li, X., Guan, Q., Peng, F., & Xie, M. (2014). Starter culture fermentation of Chinese sauerkraut: Growth, acidification and metabolic analyses. *Food Control*, 41(1), 122–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.12.033>
- Bravo, V., Bunout, D., Leiva, L., Maza, M., Barrera, G., Maza, J., & Hirsch, S. (2008). Efecto del probiótico *Saccharomyces boulardii* en la prevención de la diarrea asociada con antibióticos en adultos ambulatorios en tratamiento con amoxicilina. *Revista Médica de Chile*, 136, 981–988.

- Castro, G., Valbuena, E., Sánchez, E., Briñez, W., Vera, H., & Leal, M. (2008). Comparación de modelos sigmoidales aplicados al crecimiento de *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*. *Revista Científica FCV-LUZ*, XVIII, 582–588.
- Cayré, M., Vignolo, G., & Garro, A. (2007). Selección de un modelo primario para describir la curva de crecimiento de bacterias lácticas y *brochothrix thermosphacta* sobre emulsiones cárnicas cocidas. *Información Tecnológica*, 18(3), 23–29.
- Daoub, R. M. A., Elmubarak, A. H., Misran, M., Hassan, E. A., & Osman, M. E. (2016). Characterization and functional properties of some natural Acacia gums. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.05.002>
- Moreb, N., Murphy, A., Jaiswal, S., & Jaiswal, A. K. (2020). Cabbage. In *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 33–54). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00003-9>
- Ortiz, Á., Reuto, J., Fajardo, E., Sarmiento, S., Aguirre, A., Arbeláez, G., ... Quevedo-Hidalgo, B. (2008). Evaluación de la capacidad probiótica “in vitro” de una cepa nativa de *Saccharomyces cerevisiae*. *Redalyc*, 13(2), 138–148.
- Suárez, H. S., Mogollón, G. O., Rojas, C., Ortiz, T. P., & Zapata, A. O. (2017). Aislamiento de péptidos inhibidores de bacterias a partir de bacterias ácido lácticas del tracto digestivo del lechón e identificación mediante prueba proteómica. *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 437–443. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.15>
- Torres, V., Barbosa, I., Meyer, R., Noda, A., & Sarduy, L. (2012). Criterios de bondad de ajuste en la selección de modelos no lineales en la descripción de comportamientos biológicos.

*Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(4), 345–350.  
<https://doi.org/10.1097/MOG.0b013e32835a3500>

Vanegas, D., & Ramírez, M. (2016). Correlación del crecimiento de *Pseudomonas fluorescens* en la producción de polihidroxicanoatos de cadena media (PHAMCL) mediante modelos primarios de Gompertz, logístico y baranyi. *Información Tecnológica*, 27(2), 87–96.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000200011>

Xiong, T., Li, J., Liang, F., Wang, Y., Guan, Q., & Xie, M. (2016). Effects of salt concentration on Chinese sauerkraut fermentation. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 169–174.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.057>

Xiong, T., Li, X., Guan, Q., Peng, F., & Xie, M. (2014). Starter culture fermentation of Chinese sauerkraut: Growth, acidification and metabolic analyses. *Food Control*, 41(1), 122–127.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.12.033>

## Anexos

### Crecimiento Microbiano

Tiempo (Horas)	Concentración (% de NaCl)			
	2.5	3	3.5	4
1	0	0	0	0
2	0.12	0.12	0.08	0.07
3	0.17	0.15	0.13	0.11
4	0.22	0.18	0.17	0.15
5	0.28	0.22	0.21	0.19
6	0.32	0.25	0.25	0.2
7	0.33	0.3	0.23	0.21

Concentración de NaCl (%)	Parámetros cinéticos					
	C	B	M	$\mu_{\text{máx}}$	$\lambda$	G
2.5	0.35	1.512	0.61	0.214	0.839	3.247
3	0.317	1.235	0.479	0.152	0.491	4.565
3.5	0.248	1.721	0.718	0.178	1.004	3.893
4	0.216	1.717	0.713	0.154	1.006	4.501

### Acidez

Tiempo	Concentración (% de NaCl)			
	2.5	3	3.5	4
1	0.045	0.045	0.045	0.045
2	0.063	0.054	0.063	0.072
3	0.27	0.216	0.225	0.198
4	0.684	0.405	0.675	0.684
5	0.756	0.513	0.738	0.73
6	0.81	0.558	0.765	0.81

Estadísticos	Concentración de Cloruro de sodio			
	2.50%	3%	3.50%	4%
S	0.6	0.61	0.43	0.7
R- cuadrado	0.8	0.76	0.94	0.64

<b>R - Cuadrado ajustado</b>	0.76	0.7	0.93	0.55
<b>Valor P</b>	0.01	0.02	0	0
<b>valor F</b>	16.9	12.97	115.12	7.35
<b>Pendiente</b>	0.48	0.44	0.75	0.76
<b>Constante b</b>	6.73	6.62	7.22	6.38

#### Microbiológico

Concentración de NaCL (%)	Coliformes totales (ufc/g)		Staphiloccocus (ufc/g)	
	Pre	post	Pre	post
2.5	244 X 10 <sup>3</sup>	126 X 10 <sup>3</sup>	212 X 10 <sup>3</sup>	76 X 10 <sup>3</sup>
3	158 X 10 <sup>3</sup>	63 X 10 <sup>3</sup>	258 X 10 <sup>3</sup>	120 X 10 <sup>3</sup>
3.5	134 X 10 <sup>3</sup>	56 X 10 <sup>3</sup>	180 X 10 <sup>3</sup>	62 X 10 <sup>3</sup>
4	97 X 10 <sup>3</sup>	51 X 10 <sup>3</sup>	120 X 10 <sup>3</sup>	57 X 10 <sup>3</sup>

#### Composición Proximal

Composición	Valor
Calorías	19 Kcal
Proteínas	0.9 g
Grasas Totales	0 g
Carbohidratos	4.3 g
Azucares Simples	1.8 g
Fibra	2.9 g

#### Análisis Sensorial

Juez	Concentración de NaCL (%)	Atributos Sensoriales			
		Olor	Color	Sabor	Apacriencia General
1	2.5	5	5	5	5
	3	4	4.6	5	4
	3.5	1	1.2	3	2.5
	4	2	1.1	2	1.5
2	2.5	3	4.5	5	4.5
	3	3	4	4	5
	3.5	2	1.5	1.5	2.5

	4	2	1	1.5	2
3	2.5	4	4.5	4.5	5
	3	3	4.5	4.5	4.5
	3.5	1	2	1.5	3
	4	1	1	1	1
4	2.5	5	5	5	5
	3	4	4.6	5	4
	3.5	1	1.2	3	2.5
	4	2	1.1	2	1.5
5	2.5	3	4.5	5	4.5
	3	3	4	4	5
	3.5	2	1.5	1.5	2.5
	4	2	1	1.5	2
6	2.5	4	4.5	4.5	5
	3	3	4.5	4.5	4.5
	3.5	1	2	1.5	3
	4	1	1	1	1
7	2.5	5	5	5	5
	3	4	4.6	5	4
	3.5	1	1.2	3	2.5
	4	2	1.1	2	1.5
8	2.5	3	4.5	5	4.5
	3	3	4	4	5
	3.5	2	1.5	1.5	2.5
	4	2	1	1.5	2
9	2.5	4	4.5	4.5	5
	3	3	4.5	4.5	4.5
	3.5	1	2	1.5	3
	4	1	1	1	1
10	2.5	5	5	5	5
	3	4	4.6	5	4
	3.5	1	1.2	3	2.5
	4	2	1.1	2	1.5
11	2.5	3	4.5	5	4.5
	3	3	4	4	5
	3.5	2	1.5	1.5	2.5
	4	2	1	1.5	2
12	2.5	4	4.5	4.5	5
	3	3	4.5	4.5	4.5

	3.5	1	2	1.5	3
	4	1	1	1	1
13	2.5	5	5	5	5
	3	4	4.6	5	4
	3.5	1	1.2	3	2.5
	4	2	1.1	2	1.5
14	2.5	3	4.5	5	4.5
	3	3	4	4	5
	3.5	2	1.5	1.5	2.5
	4	2	1	1.5	2
15	2.5	4	4.5	4.5	5
	3	3	4.5	4.5	4.5
	3.5	1	2	1.5	3
	4	1	1	1	1
16	2.5	5	5	5	5
	3	4	4.6	5	4
	3.5	1	1.2	3	2.5
	4	2	1.1	2	1.5
17	2.5	3	4.5	5	4.5
	3	3	4	4	5
	3.5	2	1.5	1.5	2.5
	4	2	1	1.5	2
18	2.5	4	4.5	4.5	5
	3	3	4.5	4.5	4.5
	3.5	1	2	1.5	3
	4	1	1	1	1
19	2.5	3	4.5	5	4.5
	3	3	4	4	5
	3.5	2	1.5	1.5	2.5
	4	2	1	1.5	2
20	2.5	4	4.5	4.5	5
	3	3	4.5	4.5	4.5
	3.5	1	2	1.5	3
	4	1	1	1	1