

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGROINDUSTRIAL**



**TESIS**

**“APLICACIÓN DE AIREACIÓN EN LA FERMENTACIÓN DE LA  
ACEITUNA NEGRA DE MESA, EN LA YARADA TACNA, 2023”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. CARLO GABRIEL VALDIVIA YACILA**

**TACNA – PERÚ**

**2025**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS**

**“APLICACIÓN DE AIREACIÓN EN LA FERMENTACIÓN DE LA  
ACEITUNA NEGRA DE MESA, EN LA YARADA TACNA, 2023”**

Tesis sustentada y aprobada el 18 de noviembre de 2025; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE : Mtra. MARTHA DANIELA RUBIRA OTÁROLA**

**SECRETARIO : M Sc. JOSE OSWALDO CAZORLA GALDOS**

**VOCAL : Dra. MARILÚ HILDA MANCHEGO COLQUE**

**ASESOR : Mtra. ELIZABETH ANABEL AYCA LLANOS**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Carlo Gabriel Valdivia Yacila, egresado, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70236229, así como Elizabeth Anabel Ayca Llanos con DNI 46412808; declaramos en calidad de autor y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulado: *Aplicación de aireación en la fermentación de la aceituna negra de mesa, en la Yarada Tacna, 2023*, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Agroindustrial*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 18 de noviembre de 2025



Carlo Gabriel Valdivia Yacila  
DNI: 70236229



Elizabeth Anabel Ayca Llanos  
DNI: 46412808

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, quien estuvo conmigo en todo momento. A mi padre, Carlos, y a mi madre, Patricia, por creer en mí, brindarme su apoyo incondicional y darme la oportunidad de seguir adelante; gracias infinitas.

Asimismo, lo dedico a mi familia, en especial a mis abuelos, tanto a los que hoy me acompañan como a aquellos que descansan en paz; a mi pequeño sobrino Iker; y a Cleo, mi fiel compañera de cuatro patas, cuyo apoyo y compañía me han acompañado a lo largo de sus 19 años.

Carlo Gabriel Valdivia Yacila

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios por concederme el don de la vida y la oportunidad de alcanzar esta meta tan significativa en mi desarrollo profesional. Expreso mi sincero agradecimiento a la Ingeniera Martha Gallegos por haberme inculcado la pasión por el mundo olivícola.

Asimismo, agradezco a la Universidad Privada de Tacna, mi casa de estudios, y a todos los docentes que se cruzaron en mi camino, quienes contribuyeron de manera valiosa a mi formación. Agradezco también a William Pacco y Yenny García por brindarme la oportunidad de trabajar con ellos.

Finalmente, agradezco cada uno de los trabajos que realicé para llegar hasta este punto y a la vida misma, por los momentos difíciles y por aquellos llenos de aprendizaje y belleza.

Carlo Gabriel Valdivia Yacila

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADO .....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problemas específicos .....	3
1.3. Justificación e importancia .....	3
1.3.1. Justificación.....	3
1.3.2. Importancia.....	3
1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis.....	4
1.5.1. Hipótesis general.....	4
1.5.2. Hipótesis específicas.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	5
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	10
2.1.3. Antecedentes locales.....	12
2.2. Bases teóricas.....	14
2.2.1. Aceituna negra .....	14
2.2.1.1. Variedad de aceituna Criolla o Sevillana .....	14
2.2.1.2. Cosecha .....	16
2.2.1.3. Transporte .....	16
2.2.1.4. Fermentación anaerobia.....	16
2.2.1.5. Fermentación aeróbica.....	16

2.2.1.6.	Aplicación de aireación.....	17
2.2.1.7.	Selección .....	17
2.2.1.8.	Clasificación .....	18
2.2.1.9.	Definición de los defectos.....	18
2.2.1.10.	Etapas de transferencia difusional de O <sub>2</sub> .....	19
2.2.1.11.	Expresiones de velocidad de transferencia de O <sub>2</sub> .....	20
2.2.1.12.	Factores que afectan a la transferencia de O <sub>2</sub> .....	21
2.2.2.	Tiempo del ciclo de una aireación .....	21
2.2.2.1.	Burbujeo .....	22
2.2.2.2.	Embalaje.....	22
2.2.2.3.	Preparaciones comerciales .....	23
2.3.	Definición de términos.....	24
2.3.1.	Aceituna mesa .....	24
2.3.2.	Bacterias ácido lácticas .....	25
2.3.3.	Cloruros de Sodio.....	25
2.3.4.	Dióxido de Carbono.....	25
2.3.5.	Enterobacterias .....	25
2.3.6.	Fermentación.....	25
2.3.7.	Sal común.....	26
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....		27
3.1.	Diseño de la investigación.....	27
3.2.	Acciones y actividades .....	27
3.2.1.	Proceso de fermentación de las aceitunas .....	27
3.2.2.	Análisis fisicoquímicos de la salmuera .....	27
3.2.3.	Análisis microbiológico de las salmueras .....	28
3.2.4.	Evaluación sensorial de la aceituna .....	29
3.2.5.	Análisis multivariante de las puntuaciones asignadas por los expertos....	30
3.3.	Materiales e Instrumentos .....	30
3.4.	Población y muestra de estudio .....	30
3.5.	Operacionalización de variables .....	30
3.6.	Procesamiento y análisis de datos .....	32
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....		33
4.1.	Fluctuación del pH.....	33
4.2.	Fluctuación de la acidez.....	33
4.3.	Fluctuación de los cloruros.....	34
4.4.	Fluctuación de CO <sub>2</sub> .....	35
4.5.	Fluctuación de Bacterias Ácido-Lácticas.....	36

4.6. Fluctuación de levaduras y mohos.....	37
4.7. Fluctuación de enterobacterias .....	38
4.8. Efecto de la fermentación aeróbica en la calidad sensorial .....	38
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	42
CONCLUSIONES.....	44
RECOMENDACIONES .....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46
ANEXOS .....	51

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Aceituna Negra.....	15
Figura 2. Recipiente de fermentación equipado con columna de aireación.....	17
Figura 3. Esquema de transporte de oxígeno.....	20
Figura 4. Factores que afectan a la transferencia de O <sub>2</sub> .....	21
Figura 5. Variables de estudio.....	27
Figura 6. Fluctuación del pH en la salmuera.....	33
Figura 7. Fluctuación de la acidez en la salmuera.....	34
Figura 8. Fluctuación de cloruros en la salmuera.....	35
Figura 9. Fluctuación de levaduras y mohos en la salmuera.....	38
Figura 10. Diagrama de análisis de componentes principales.....	40

## RESUMEN

La presente investigación evalúa el impacto de la aplicación de aireación en la fermentación de la aceituna negra variedad Sevillana, una tecnología orientada a mejorar la calidad y reducir la merma en la producción olivarera de La Yarada, Tacna. El objetivo principal fue determinar la influencia de la aireación sobre los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales, comparando el proceso aerobio con el método tradicional anaerobio. Se implementó un diseño experimental en dos fundos de La Yarada, utilizando tanques de 500 litros. Se establecieron tres tratamientos: un control tradicional (sin aireación), un tratamiento con aireación sin ácido inicial, y otro con aireación y ajuste de ácido inicial. Durante el proceso fermentativo se monitorearon periódicamente el pH, la acidez, los cloruros, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y se realizaron recuentos de bacterias ácido-lácticas (BAL), levaduras, mohos y enterobacterias. Los resultados indicaron que, si bien los valores finales de pH (~3,6) y acidez (~1,2 %) fueron similares en todos los tratamientos, la aireación influyó significativamente en otros parámetros. Notablemente, los tratamientos con aireación redujeron drásticamente la concentración de CO<sub>2</sub> disuelto en la salmuera en comparación con el control tradicional. En el aspecto microbiológico, todos los tratamientos permitieron el desarrollo de BAL y levaduras, aunque se observaron diferencias en las dinámicas de crecimiento y en la presencia esporádica de enterobacterias entre los tratamientos con y sin aireación. Se concluye que la aplicación de aireación es una alternativa tecnológica viable que modifica las condiciones del proceso fermentativo de la aceituna negra Sevillana. Su principal influencia radica en el control de la producción de gases y en la alteración del comportamiento microbiano, lo que repercute en las características fisicoquímicas y sensoriales del producto final.

**Palabras clave:** Acidez; fermentación aerobia; merma; textura.

## ABSTRACT

This research evaluates the impact of applying aeration to the fermentation of Sevillana variety black olives, a technology aimed at improving quality and reducing product loss in the olive production of La Yarada, Tacna. The main objective was to determine the influence of aeration on physicochemical, microbiological, and sensory parameters by comparing the aerobic process with the traditional anaerobic method. An experimental design was implemented on two farms in La Yarada, using 500-liter tanks. Three treatments were established: a traditional control (without aeration), a treatment with aeration without initial acid, and another with aeration and initial acid adjustment. During the fermentation process, pH, acidity, chlorides, and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) were periodically monitored, and counts of lactic acid bacteria (LAB), yeasts, molds, and enterobacteria were performed. The results indicated that while the final pH (~3.6) and acidity (~1.2%) values were similar across all treatments, aeration significantly influenced other parameters. Notably, the aerated treatments drastically reduced the concentration of dissolved CO<sub>2</sub> in the brine compared to the traditional control. Microbiologically, all treatments supported the growth of LAB and yeasts, although differences were observed in the growth dynamics and the sporadic presence of enterobacteria between the aerated and non-aerated treatments. It is concluded that the application of aeration is a viable technological alternative that modifies the conditions of the fermentative process for Sevillana black olives. Its main influence lies in controlling gas production and altering microbial behavior, which in turn impacts the physicochemical and sensory characteristics of the final product.

**Keywords:** Acidity; aerobic fermentation; product loss; texture.

## INTRODUCCIÓN

El olivo (*Olea europaea* L.) constituye uno de los pilares económicos y agrícolas de la región de Tacna, la cual concentra más del 81 % de la superficie cultivada en el Perú y lidera la producción nacional. Dentro de este sector, la aceituna negra de la variedad Sevillana (o Criolla) es fundamental no solo por su volumen, sino también por su profundo arraigo en la gastronomía y cultura local, siendo un producto clave en el Valor Agregado Bruto de la producción agrícola regional. Sin embargo, los métodos tradicionales de fermentación anaerobia para la elaboración de aceituna negra al natural, si bien están consolidados, enfrentan desafíos significativos como largos periodos de proceso y una considerable merma por defectos de textura y formación de gas ("alambrado"). Como respuesta a esta problemática, ha surgido la fermentación aerobia, una alternativa tecnológica que, mediante la inyección controlada de aire, promete optimizar el proceso, mejorar la textura y reducir las pérdidas, tal como lo demuestran experiencias de innovación exitosas en la región.

A pesar de sus ventajas potenciales, la adopción de esta tecnología en la zona de La Yarada-Los Palos aún es limitada, en parte por la falta de data sistematizada que compare sus efectos frente al proceso tradicional. Existe la interrogante de cómo la aireación modifica la evolución fisicoquímica y microbiológica y, crucialmente, si el producto final se alinea con la aceptabilidad sensorial del mercado local. Por ello, la presente investigación se enfoca en determinar la influencia de la aplicación de aireación en la fermentación de la aceituna negra Sevillana, evaluando y comparando las diferencias en los parámetros fisicoquímicos (pH, acidez, cloruros, CO<sub>2</sub>), microbiológicos (bacterias ácido-lácticas, levaduras y enterobacterias) y sensoriales entre ambos métodos.

El trabajo de investigación se organiza en capítulos. En el primer capítulo se aborda el planteamiento del problema, la formulación de los objetivos y la justificación que sustenta la relevancia de la investigación. El segundo capítulo presenta el marco teórico, integrando los antecedentes, las bases conceptuales, la definición de términos fundamentales y el sistema de hipótesis con sus respectivas variables. En el tercer capítulo se describe la metodología empleada, considerando el enfoque y diseño de la investigación, la población y muestra, así como las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección y el procesamiento de los datos. El cuarto capítulo expone los resultados obtenidos, su análisis estadístico y la discusión correspondiente en función de la contrastación de las hipótesis planteadas. Finalmente, se formulan las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Descripción del problema

En el contexto actual de mercados altamente competitivos y globalizados, los consumidores demandan productos que garanticen estándares elevados de calidad y procesos productivos cada vez más eficientes. Bajo este escenario, en el año 2010 la empresa Biondi y Cía., ubicada en la región Tacna y dedicada al cultivo, procesamiento y comercialización de aceitunas verdes y negras, identificó la necesidad de optimizar sus procesos productivos. Como respuesta, ejecutó un proyecto de innovación tecnológica financiado por Fidecom, con un presupuesto de S/ 274 301, cuyo objetivo principal fue desarrollar una metodología orientada a la reducción de la merma por defectos en la aceituna negra natural. La implementación de este proyecto permitió disminuir la merma en la etapa de fermentación en 4,7 % y en la etapa de conservación en 13 %, mediante la aplicación del método de fermentación aerobia. Posteriormente, la empresa participó en un proyecto financiado por Innóvate Perú, modalidad Start Up, con un presupuesto de S/ 150 000, el cual hizo posible el escalamiento del método de fermentación aerobia a nivel industrial, obteniéndose un producto con mejores características de textura y menor acidez, atributos valorados en mercados internacionales (Bioincuba, 2015).

A nivel nacional, la producción de aceituna se concentra predominantemente en el sur del Perú. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura (2021), la región Tacna posee aproximadamente 35 000 hectáreas destinadas al cultivo de olivo, lo que representa el 81,4 % de las 43 000 hectáreas registradas en el país, destacando el distrito de La Yarada Los Palos como la principal zona productora. Asimismo, según el Banco Central de Reserva del Perú (2023), la aceituna constituye el principal producto en el aporte al Valor Agregado Bruto de la producción agrícola regional, con una participación de 56,2 % en el periodo 2013–2022. En este contexto, Tacna se posiciona como la primera región productora de aceituna a nivel nacional, alcanzando una participación de 77,7 % en el año 2022. A pesar de los beneficios de la fermentación aerobia en la elaboración de aceituna negra al natural, su aplicación sigue siendo limitada debido a los posibles cambios en el perfil sensorial del producto, particularmente en el contenido de ácido, lo que podría afectar su aceptabilidad en el mercado local. En este contexto, la investigación compara el proceso tradicional con el proceso que incorpora fermentación aerobia, mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales, con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas que influyan en la aceptación del producto final.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo la aplicación de aireación influye en la fermentación de la aceituna negra de mesa, en la Yarada Tacna, 2023?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Como es la evolución de los parámetros fisicoquímicos (pH, acidez, contenido de Dióxido de Carbono), con la aplicación de aireación de la aceituna negra de mesa, en la Yarada Tacna?
- b. ¿Como es el comportamiento microbiológico durante la fermentación con la aplicación de aireación en la aceituna negra de mesa, de la Yarada Tacna?
- c. ¿Cómo afecta sensorialmente la aplicación de aire en la aceituna ya fermentada de la aceituna negra de mesa, en la Yarada Tacna?

## **1.3. Justificación e importancia**

### **1.3.1. Justificación**

Una de las tendencias en el proceso de la aceituna negra al natural en la aplicación de aire es la inyección de aire en la etapa de fermentación, la presente investigación contribuye a la adaptación de esta tecnología a la realidad del productor de la región (tecnológico).

La inyección de aire disminuye el porcentaje de frutos defectuosos los cuales se venden a un precio menor en más de un 70 % correlación de un precio de venta promedio, además no se ven afectados los parámetros fisicoquímicos y sensoriales característicos de la aceituna de mesa aseguran al productor una mayor rentabilidad (económicamente)

La inyección de aire implica el uso de equipos y accesorios favoreciendo la actividad económica de los agentes vinculados a la cadena productiva del sector olivícola (social).

### **1.3.2. Importancia**

La presente investigación, es importante para todos aquellos productores que buscan tener mejores rendimientos en la fermentación de las aceitunas de mesa negra al natural, incorporando tecnología, manteniendo la calidad sensorial y los parámetros

fisicoquímicos en el producto. Incorpora además el uso de maquinaria favoreciendo la dinamización de la cadena productiva mejorando la rentabilidad del productor

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar si la aplicación de aireación influye en la fermentación de la aceituna negra de mesa, en la Yarada Tacna, 2023

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar si hay diferencias en la evolución de los parámetros fisicoquímicos, con aplicación de aire y el proceso tradicional de la aceituna negra de mesa, en la Yarada Tacna.
- b. Determinar si hay diferencias en el comportamiento microbiano, con aplicación de aire y el proceso tradicional de la aceituna negra de mesa, en la Yarada Tacna.
- c. Determinar si hay diferencias sensoriales entre el proceso tradicional y con aplicación de aire de la aceituna negra de mesa, en la Yarada Tacna.

#### **1.5. Hipótesis**

##### **1.5.1. Hipótesis general**

La aplicación de aireación influye en la fermentación de la aceituna negra de mesa, en la Yarada Tacna, 2023.

##### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- a. La aplicación de aireación influye en la evolución de los parámetros fisicoquímicos de la aceituna negra de mesa, en la Yarada Tacna.
- b. La aplicación de aireación influye en el comportamiento microbiano, con aplicación de aire y el proceso tradicional de la aceituna negra de mesa, en la Yarada Tacna.
- c. La aplicación de aireación influye en la aceptabilidad sensorial de la aceituna negra de mesa, en la Yarada Tacna.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

La aireación en la fermentación de la aceituna negra ha sido abordada en otras localidades como España, Medina et al. (2020) investigaron el proceso de fermentación industrial de aceitunas negras naturales en condiciones aerobias. Utilizaron aceitunas de la variedad Empeltre, recolectadas entre diciembre y enero de las campañas 2016/2017 y 2017/2018. El estado de maduración de las aceitunas era negro (tres cuartas partes de la pulpa eran negras). Los procesos de fermentación se realizaron en dos lugares: la cooperativa de agricultores de Calaceite y Alcañiz. En Calaceite, se monitorearon cinco tanques que contenían 16 000 kg de frutos y 8 000 L de salmuera cada temporada. En Alcañiz, otros cinco tanques contenían 5 000 kg de aceitunas y 3 000 L de salmuera. La solución de salmuera tenía una concentración del 6 % (p/v), que se mantuvo mediante la adición regular de sal. Las condiciones aerobias consistieron en una columna de aireación instalada dentro de los tanques, donde se burbujeó aire desde el fondo a una tasa de 0,3 L por hora y kg de aceitunas, durante 8 h al día y cinco días a la semana. La fermentación duró 250 días. Se realizó un análisis microbiológico de las salmueras, contando las bacterias ácido lácticas (BAL), levaduras y mohos, utilizando las salmueras y sus diluciones en solución de NaCl. El análisis químico incluyó la determinación de la concentración de NaCl mediante titulación con nitrato de plata (0,1 N). La acidez y el pH de la salmuera se midieron con un procesador Metrohm 670. Además, desarrollaron un procedimiento para mejorar el color de la aceituna. Este consistió en exponer las aceitunas de 40 días de fermentación a un proceso de oxidación, seguido de su cobertura con salmuera de fermentación con ácido acético (0,6 %) durante 160 días. Se determinó el color de la superficie de los frutos con un espectrofotómetro BYK-Gardner Model 9000 Colour View a 700 nm, y se analizaron los compuestos fenólicos de la pulpa de la aceituna mediante cromatografía. Los resultados mostraron que, en cuanto a la población microbiológica, las levaduras se encontraron en todas las salmueras (4,4 – 6.2 Log UFC/mL), mientras que las BAL solo se registraron en algunos tanques, especialmente en Alcañiz durante la temporada 2017/2018; en Calaceite, se detectaron en un solo tanque de la misma temporada (4,8 — 6,8 Log UFC/mL). Respecto al pH y la acidez, destacaron los tanques de Calaceite de la temporada 2017/2018: en los tanques donde solo había levaduras, el pH descendió de 6 a 4,5 y la acidez evolucionó de 0 a 0,4 g por 100 ml; en el tanque donde había BAL, el pH bajó

de 6 a 4 y la acidez aumentó de 0 a casi 1 g por 100 ml. En cuanto al contenido fenólico, el ácido descarboximetil elenólico ligado al hidroxitirosol (HyEDA) se encontró en alta concentración en la pulpa desde el inicio de la fermentación (2 500 mg/kg), pero disminuyó a lo largo del proceso, tanto en la aceituna como en la salmuera. En contraste, el hidroxitirosol aumentó durante la fermentación, tanto en la pulpa (500 – 1 500 mg/kg) como en la salmuera (500 – 1 800 mg/kg). Finalmente, respecto al tratamiento para mejorar el color, después de la oxidación, se obtuvo un color negro más homogéneo, reduciendo la reflectancia de 16,02 a 12,06. Tras 160 días, las aceitunas tratadas aumentaron su reflectancia a 15,04, mientras que las de control alcanzaron 19.18, lo que demuestra la efectividad del proceso de oxidación.

Por otro lado, en Argentina Juárez-Romero et al. (2015) investigaron la inyección alterna de aire en la fermentación de aceitunas negras naturales de la variedad Arauco, enfocándose en el color y el alambrado. Las condiciones de fermentación se llevaron a cabo en tanques de 100 L, llenos de aceitunas (índice de madurez 4) y salmuera, durante 150 días. El sistema de aireación consistió en una columna de aire instalada en el interior del tanque, asegurando una tasa de aireación de 0,3 L/h por cada litro de capacidad del tanque, aplicada durante 8 horas diarias. El pH de la salmuera se ajustó a 4,5 con ácido acético. Se emplearon cuatro tratamientos diferentes: el primero con NaCl al 2 % y aireación sin "extendido"; el segundo, con NaCl al 2 % sin aireación y "extendido" a los 7, 14 y 21 días; el tercero, con NaCl al 9 % sin aireación y "extendido" a los 7, 14 y 21 días; y el cuarto, con NaCl al 9 % con aireación y "extendido" a los 7 días. El "extendido" consistió en retirar las aceitunas de los tanques y colocarlas en bandejas de manera que evitaran el contacto entre sí durante 24 horas a temperatura ambiente, para luego devolverlas a los tanques y continuar con la fermentación. Se monitoreó el pH con un pHmetro modelo Hi 9321. La concentración de sal se midió en grados Baume (% p/v). La proporción de "alambrado" se determinó visualmente, tomando como muestra 200 aceitunas de cada tanque. El análisis de textura se realizó con un texturómetro equipado con una celda Kramer, la fuerza se expresó en N/100 g. Se midió el color (escala CIE LAB\*) utilizando un colorímetro Konica Minolta CR-400, evaluando 50 aceitunas de cada tratamiento, las cuales habían estado en salmuera nueva (NaCl al 8 % y pH 4) durante 30 días después de la fermentación. Como resultados, se observó que el pH de los tratamientos con 9% de NaCl descendió más lentamente que en aquellos con 2 % de NaCl, lo que se atribuye a que una menor concentración de sal favorece la proliferación de bacterias lácticas. El porcentaje de "alambrado" en los tratamientos fue aproximadamente del 2 %, 14 %, 27 % y 7 % para el primero, segundo, tercero y

cuarto tratamiento respectivamente. En cuanto a la textura, las fermentaciones que no incluyeron el "extendido" mostraron altos valores de resistencia, siendo de 1827,0 y 1880,1 N/100 g para el primer y cuarto tratamiento, respectivamente. Respecto al color, los tratamientos que iniciaron con un 9 % de NaCl y "extendido" produjeron colores marrones más oscuros.

De manera similar, Álvarez et al. (2014) evaluaron la influencia de la aireación en la fermentación de aceitunas negras naturales de las variedades Manzanilla y Arauco, además de estudiar la suplementación con  $\text{CaCl}_2$ . El estudio se realizó en Córdoba, Argentina. Los frutos presentaban un índice de madurez (IM) de 2.5 para la variedad Manzanilla y de 6.1 para la variedad Arauco. Las fermentaciones se llevaron a cabo en depósitos industriales de hormigón con una capacidad de 5000 L, utilizando una relación aceituna/salmuera de 1.85. La salmuera contenía una concentración de NaCl del 8 %. Las condiciones de aireación se lograron mediante la instalación de dispositivos en el interior de los depósitos, manteniendo una tasa de aireación de 0,25 L por hora por L de salmuera. El experimento duró 6 meses. Los parámetros fisicoquímicos medidos en la salmuera incluyeron pH,  $\text{CO}_2$ , oxígeno disuelto, acidez libre, concentración de NaCl y contenido de azúcares reductores. Durante el proceso se extrajeron polifenoles tanto de la salmuera como de los frutos al principio y al final de la fermentación. También se determinó el contenido fenólico total en ambos. El análisis microbiológico de la salmuera incluyó la cuantificación de aerobios mesófilos, bacterias gramnegativas, BAL y levaduras. El análisis del producto final incluyó la determinación de materia seca, contenido total de aceite, cenizas, hidratos de carbono, color (escala CIE LAB\*) y firmeza, medida mediante una celda de compresión de cizalla mini Kramer. Los resultados fueron los siguientes: el pH mostró una evolución similar en todos los tratamientos, terminando alrededor de 4. La acidez libre (% ácido láctico) en los tratamientos con la variedad Manzanilla fue más alta en el tratamiento control con  $\text{CaCl}_2$ , mientras que la más baja se observó en el tratamiento con aireación sin  $\text{CaCl}_2$ . En los tratamientos con la variedad Arauco, la acidez libre fue mayor en el tratamiento con aireación sin  $\text{CaCl}_2$  y más baja en el tratamiento control sin  $\text{CaCl}_2$ . Las concentraciones de NaCl se redujeron a valores entre 5,8 % y 6,1 %. El oxígeno disuelto fue mayor en los tratamientos con aireación, mientras que la concentración de  $\text{CO}_2$  fue menor en estos. La concentración de azúcares varió a lo largo de la fermentación, finalizando con valores entre 0,01 – 0,08 g de glucosa/100 mL. Al inicio de la fermentación, predominaron BAL, bacterias gramnegativas y levaduras. Sin embargo, tanto las BAL como las bacterias gramnegativas disminuyeron a partir de los 36 y 66 días, respectivamente. El

contenido fenólico total en la variedad Manzanilla aumentó en la salmuera durante toda la fermentación, mientras que en los frutos disminuyó, especialmente en el tratamiento con aireación sin  $\text{CaCl}_2$ . En la variedad Arauco, la evolución del contenido fenólico en la salmuera fue similar, pero en los frutos disminuyó más notablemente en el tratamiento control con  $\text{CaCl}_2$ . Respecto al color, las aceitunas más oscuras fueron las del tratamiento con la variedad Manzanilla, aireación y suplementación con  $\text{CaCl}_2$  ( $L^*$  26.53,  $a^*$  3.99,  $b^*$  1.93). La firmeza fue alta en todos los tratamientos de la variedad Manzanilla (16–41 kg/100g), mientras que en la variedad Arauco solo fue alta en los tratamientos con aireación y suplementación con  $\text{CaCl}_2$ . En cuanto a la composición y los valores calóricos iniciales y finales, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, a excepción del contenido de cenizas, que fue mayor en los tratamientos con la variedad Arauco.

En otro estudio realizado en España, De Castro et al. (2007) investigaron las condiciones aeróbicas en la fermentación de aceitunas, sin la adición de NaCl. Utilizaron la variedad Hojiblanca, recolectada entre octubre y noviembre. La fermentación se llevó a cabo en tanques enterrados con 10 000 kg de frutos y 5 000 L de solución de cobertura. Algunos tanques contaban con una columna de aireación a un ritmo de 0,3 L de aire por hora por kilo de aceituna, aplicada durante 5 días a la semana y 8 horas diarias. Se evaluaron cuatro tratamientos: el primero, con 3 % de NaCl (p/v) y 1,2 % de ácido acético (p/v) con aireación; el segundo, con 1,6 % de ácido acético (p/v) con aireación; el tercero, con 2,4 % de ácido acético (p/v) sin aireación; y el cuarto, con 2,4 % de ácido acético (p/v) y 0,45 % de benzoato sódico (p/v) sin aireación. Después de 9 meses de fermentación, las aceitunas pasaron por un proceso de oscurecimiento en el Instituto de la Grasa. Posteriormente, fueron tratadas con soluciones alcalinas de NaOH y, en intervalos, se suspendieron en agua con un sistema de aireación. Finalmente, se enlataron en gluconato ferroso y fueron esterilizadas a 121 °C. Tras dos meses, se realizaron análisis químicos y físicos tanto de las soluciones como de las aceitunas. El pH se midió con un pHmetro Beckman; la glucosa, fructosa y manitol se determinaron mediante HPLC; y el ácido láctico, acético y etanol se analizaron con una columna Spherisorb ODS-2 mediante HPLC. La acidez libre se determinó por titulación con NaOH (0.2 M), la concentración de NaCl mediante titulación con nitrato de plata (0,1 N), y el calcio en la pulpa se cuantificó por espectrometría de absorción atómica. El color de la pulpa se midió con un espectrofotómetro BYK- Gardner y la firmeza de las aceitunas con una celda de compresión de corte Kramer. También realizaron análisis microbiológicos de las soluciones de almacenamiento, evaluando la presencia de levaduras, bacterias del

ácido acético (BAA), BAL y bacterias de la familia *Acetobacter*. Los resultados indicaron que la glucosa se mantuvo en las fermentaciones sin aireación. La cantidad de levaduras fue similar en la mayoría de los tratamientos, aunque el tratamiento con benzoato sódico presentó valores inferiores a  $10^9$  ufc/mL. Las BAA solo se detectaron en las soluciones ácidas, mientras que las BAL se encontraron en todos los tratamientos, especialmente en los últimos meses de fermentación. El ácido láctico estuvo presente en todos los tratamientos, en mayor cantidad en los tratamientos con aireación. El etanol se mantuvo alrededor del 0,5 % en todos los casos, y el nivel de ácido acético solo aumentó ligeramente respecto a las condiciones iniciales. La firmeza de las aceitunas enlatadas disminuyó después de dos meses en todos los tratamientos, con una mayor reducción en los tratamientos aeróbicos. En cuanto al color, el tratamiento aeróbico con salmuera produjo las aceitunas más oscuras, seguido por el tratamiento aeróbico con agua y el tratamiento anaeróbico con ácido.

López (2020), en su tesis desarrollada para optar el grado en Biotecnología en la Universidad de Cádiz, investigó el aprovechamiento de la poda de olivo como biomasa lignocelulósica para la obtención de bioetanol de segunda generación. El autor señala que este residuo agrícola presenta un alto potencial como materia prima, siempre que se aplique una ruta biotecnológica adecuada que incluya etapas de pretratamiento, hidrólisis y fermentación. En su estudio se evaluaron diversas alternativas de pretratamiento orientadas a incrementar la accesibilidad de la celulosa, así como distintas estrategias de fermentación, incorporando la inmovilización de las células fermentativas con el propósito de protegerlas frente a condiciones desfavorables del proceso. Asimismo, a partir de una revisión bibliográfica centrada en la poda de olivo como recurso abundante en la región de Andalucía, se identificó que los esquemas de pretratamiento secuencial, seguidos de hidrólisis enzimática y fermentación simultánea con células inmovilizadas, presentan mayores rendimientos de bioetanol en comparación con procesos desarrollados por etapas separadas. No obstante, el autor concluye que es necesario profundizar la investigación mediante estudios experimentales a diferentes niveles de escalado, a fin de validar la viabilidad técnica de estas alternativas.

Díaz et al. (2020), en una investigación desarrollada en la Universidad Autónoma Metropolitana de México, analizaron la influencia de la aireación forzada y la densidad de empaque en la producción de elagitanasa mediante fermentación en estado sólido. El estudio se fundamenta en que la formación de ácido elágico es catalizada por la enzima elagitanasa, producida por *Aspergillus niger*, cuya síntesis puede verse condicionada por diversos factores operativos del proceso fermentativo.

En este contexto, los autores evaluaron el efecto de distintos niveles de aireación forzada y densidad de empaque en reactores de columna, considerando como variables de respuesta la producción enzimática y la liberación de ácido elálgico, con el fin de determinar las condiciones que maximicen la producción de enzima, la generación del producto, el consumo de sustrato y el crecimiento de la biomasa. Para ello, se emplearon elagitaninos extraídos de cáscara de granada como fuente de carbono. Los resultados evidenciaron que la aireación ejerce una influencia más significativa que la densidad de empaque sobre el desempeño del proceso, alcanzándose los valores máximos de producción de enzima y ácido elálgico (170,06 U/L y 10,9 mg/L respectivamente) a las 30 horas de fermentación. Estos hallazgos confirman la relevancia del suministro de oxígeno en el crecimiento microbiano y en la biosíntesis de la enzima necesaria para la obtención del compuesto bioactivo de interés.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Poquis (2023), en su tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, evaluó el efecto de dos sistemas de aireación en distintas densidades de siembra durante la etapa de crecimiento del cultivo de gamitana (*Colossoma macropomum*). La investigación se desarrolló en el Centro Piscícola de Michina, ubicado en la provincia de Rodríguez de Mendoza, región Amazonas, durante un periodo experimental de 60 días. El estudio consideró la aplicación de dos tipos de aireadores, tipo paleta y tipo splash, combinados con tres densidades de siembra, con el propósito de analizar su influencia sobre la calidad del agua, el desempeño productivo de los peces y la eficiencia de aireación. Entre los indicadores evaluados se incluyeron parámetros fisicoquímicos del agua, tales como oxígeno disuelto, temperatura, pH y transparencia, así como índices de crecimiento relacionados con ganancia de peso, longitud, biomasa, tasa de conversión alimenticia, tasa de crecimiento específico y supervivencia. Se trabajó con tres densidades de siembra (4, 8 y 12 peces/m<sup>2</sup>), utilizando 144 juveniles distribuidos en jaulas prefabricadas. Los resultados evidenciaron una mayor ganancia de peso en los tratamientos que incorporaron aireador tipo paleta a una densidad de siembra de 4 peces/m<sup>2</sup>, mientras que la transparencia del agua fue superior en los sistemas con aireador tipo splash. No obstante, para los demás tratamientos evaluados, así como para la eficiencia de aireación estándar, no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos tipos de aireadores.

Robles (2021), en su tesis para optar el grado de magíster en Ingeniería Química en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, desarrolló un estudio orientado a la optimización del proceso de fermentación alcohólica del jugo de cabuya azul (*Agave americana*), utilizando cepas de *Saccharomyces cerevisiae*. El autor indica que esta especie vegetal se desarrolla de manera natural en amplias zonas rurales de los valles interandinos del Perú, favorecida por las condiciones climáticas y las características del suelo; sin embargo, pese a su abundante disponibilidad, su aprovechamiento a nivel industrial es limitado debido a la ausencia de tradición productiva y de experiencia tecnológica para su procesamiento. La investigación se estructuró en dos etapas. En la primera, se evaluó la influencia de las variables temperatura, pH y tiempo sobre el rendimiento de azúcares reductores durante la hidrólisis de los polisacáridos presentes en el jugo de cabuya. En la segunda etapa, se analizaron los efectos de la temperatura, el pH y la concentración del nutriente fosfato diamónico, con el propósito de maximizar la producción de alcohol etílico mediante la fermentación alcohólica del jugo de cabuya azul, empleando la cepa *Saccharomyces cerevisiae D47* (Lalvin, Canadá). Los ensayos experimentales se llevaron a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Biológicas y de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, utilizándose como materia prima jugo de cabuya proveniente del distrito de La Merced, provincia de Churcampa, departamento de Huancavelica. Los resultados obtenidos evidenciaron un rendimiento de azúcares reductores de 91,06 % durante el proceso de hidrólisis, bajo condiciones de 110 °C, pH 2,5 y un tiempo de 10 horas. En cuanto a la fermentación alcohólica, se alcanzó un rendimiento de etanol de 47,96 % empleando una concentración de sustrato de 90 g/L, a una temperatura de 28 °C, pH 3,5 y con la adición de 2 g/L de fosfato diamónico, registrándose un tiempo de fermentación de 26 horas.

Serna (2021), en su tesis para optar el grado de Maestro en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos en la Universidad Politécnica de Valencia, desarrolló un estudio orientado a evaluar la fermentación como estrategia de pretratamiento para mejorar las propiedades antioxidantes de polvos obtenidos a partir de tallos de brócoli. La autora señala que la pérdida y el desperdicio de alimentos, especialmente en la industria alimentaria y hortofrutícola, constituyen un problema relevante de impacto ambiental a nivel global. En este contexto, los tallos de brócoli representan un subproducto de alto valor potencial, debido a su contenido de compuestos bioactivos, tales como antioxidantes, vitaminas, fibra, carotenoides, compuestos fenólicos y glucosinolatos. A partir de esta premisa, la investigación analizó el uso de la

fermentación como pretratamiento para la obtención de polvos de tallo de brócoli con propiedades funcionales, empleando tres cepas de bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus salivarius*, *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus reuteri*), así como dos niveles de desestructuración del material vegetal, correspondientes a triturado y troceado. Los resultados evidenciaron que *Lactobacillus reuteri* presentó el mayor incremento en la población microbiana después de 24 horas de fermentación. Asimismo, la intensidad del desestructurado previo no mostró una influencia significativa sobre el crecimiento de ninguna de las cepas evaluadas. En relación con la actividad antioxidante, la fermentación generó un aumento significativo en el contenido de fenoles totales, incluidos los flavonoides, aunque el incremento fue menos pronunciado en la capacidad de las muestras para neutralizar los radicales DPPH y ABTS. Finalmente, se observó que el contenido total de antioxidantes se incrementó en un 72 % tras las etapas de fermentación, liofilización y molienda, concluyéndose que la fermentación con bacterias ácido lácticas constituye un pretratamiento eficaz para mejorar las propiedades funcionales del tallo de brócoli, contribuyendo a la reducción del desperdicio de este subproducto y a su potencial aplicación como ingrediente en el desarrollo de nuevos alimentos funcionales.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

En el ámbito local, Clavijo et al. (2013) analizaron la influencia de la aireación sobre el desarrollo del proceso fermentativo y sobre las características finales de la aceituna negra natural de la variedad Sevillana. Para ello, se emplearon frutos con un índice de madurez de 4,5, recolectados en junio de 2012. El proceso de fermentación se llevó a cabo en tanques con una capacidad de 1 000 L, equipados con sistemas de aireación, los cuales contenían aproximadamente 700 kg de aceitunas inmersas en salmuera con distintas concentraciones de cloruro de sodio. El pH inicial de la salmuera fue ajustado a valores menores de 4 mediante la adición de ácido acético. La aireación se aplicó bajo tres niveles experimentales: 0,0; 0,1 y 0,2 L/h/Lc (litros de aire por hora por litro de capacidad del tanque), durante un periodo diario de 8 horas. Asimismo, se evaluaron tres concentraciones de cloruro de sodio: 6, 9 y 12 % (p/v). Durante el proceso se realizaron determinaciones fisicoquímicas de pH, acidez total, acidez fija, azúcares reductores, concentración de cloruro de sodio y dióxido de carbono disuelto en la salmuera. De igual manera, se efectuaron análisis microbiológicos para cuantificar enterobacterias y bacterias ácido lácticas (BAL). El seguimiento de los parámetros se realizó de manera semanal a lo largo de 90 días de fermentación. Los resultados indicaron que la acidez fija, expresada como porcentaje de ácido láctico,

presentó un incremento progresivo, alcanzando valores finales entre 1,2 y 1,5 % en todos los tratamientos, observándose menores niveles de acidez en aquellos con concentraciones más elevadas de cloruro de sodio. En relación con el pH, se registró un aumento durante los primeros 30 días a partir de valores iniciales cercanos a 3,5, seguido de una disminución final hasta valores comprendidos entre 3,3 y 3,4. Respecto al contenido de azúcares reductores en la aceituna a los 30 días de fermentación, los tratamientos sin aireación y con distintas concentraciones de sal presentaron valores entre 0,9 y 1,5 %, mientras que en los tratamientos con aireación estos oscilaron entre 0,53 y 0,66 %. Las concentraciones finales de cloruro de sodio se estabilizaron en 4,23 %, 5,42 % y 6,33 % para los tratamientos iniciales de 6, 9 y 12 %, respectivamente. El contenido de CO<sub>2</sub> disuelto fue inferior en los tratamientos con aireación, en contraste con el tratamiento sin aireación, donde se registraron valores de hasta 140 mg/100 mL. Desde el punto de vista microbiológico, la población de enterobacterias fue más elevada en los tratamientos con aireación, alcanzando valores de  $1,8 \times 10^3$  ufc/mL en el nivel de 0,2 L/h. Las levaduras aerobias mostraron un mayor desarrollo en los tratamientos aireados, mientras que las levaduras anaerobias facultativas presentaron un mejor crecimiento en condiciones de alta concentración de sal. Las bacterias ácido lácticas se desarrollaron de forma adecuada en todos los tratamientos, destacando el tratamiento con aireación de 0,1 L/h como el más favorable.

Miranda (2019) en su tesis para obtener el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo sostenible de la Universidad Jorge Basadre Grohmann Tacna, desarrolló una investigación cuantitativa de tipo básico, con diseño no experimental y transaccional, orientada a identificar los factores asociados a las aguas residuales del proceso de fermentación de aceitunas verdes estilo sevillano que inciden en la contaminación del suelo agrícola en el distrito de La Yarada Los Palos, región de Tacna. El estudio se basó en el análisis documental de registros correspondientes a las distintas fases del proceso fermentativo y de muestras de suelo. Los resultados evidenciaron que los principales factores que influyen en la contaminación del suelo son el potencial de hidrogeniones (pH) y la presencia de hidróxido de sodio (NaOH), los cuales alteran las condiciones fisicoquímicas del suelo y representan un riesgo ambiental asociado a la gestión inadecuada de las aguas residuales del proceso fermentativo.

Chata y Mamani (2022) realizaron un estudio orientado a evaluar la sustitución parcial del cloruro de sodio (NaCl) por cloruro de potasio (KCl) y su efecto sobre las características sensoriales de aceitunas negras al natural envasadas. La investigación partió del reconocimiento de que las aceitunas de mesa presentan un elevado

contenido de sodio debido a su procesamiento, lo cual se asocia a riesgos de hipertensión arterial y enfermedades cardiovasculares. Para ello, se establecieron seis tratamientos con diferentes proporciones de NaCl y KCl, además de una muestra comercial como referencia. Los tratamientos fueron envasados en salmueras con distintas concentraciones de cloruros y evaluados mediante análisis fisicoquímicos (pH, grados Baumé y acidez libre), microbiológicos (hongos y levaduras) y sensoriales, aplicando la metodología del Consejo Oleícola Internacional (COI), a los 30, 90 y 180 días de conservación. A los 180 días, los valores de pH se situaron entre 2,9 y 3,1, mientras que la acidez libre fluctuó entre 1,1 % y 1,2 % de ácido láctico. Los análisis microbiológicos evidenciaron recuentos de mohos inferiores a 1 UFC/g y de levaduras menores a  $10^3$  UFC/g en todos los tratamientos, lo que, conforme a la normativa vigente, indica un producto inocuo y aceptable. La evaluación sensorial fue realizada por un panel de 10 jueces entrenados, quienes analizaron atributos negativos, gustativos y cinestésicos en una escala de intensidad de 0 a 10. Los resultados mostraron que el tratamiento con mayor aceptación sensorial correspondió a aquel con mayor proporción de KCl, destacando valores cercanos a los ideales establecidos por el método COI. En términos de aceptación global, los tratamientos no presentaron diferencias significativas entre sí, lo que sugiere que la sustitución parcial de NaCl por KCl es técnicamente viable sin afectar de manera negativa la calidad sensorial de las aceitunas negras al natural.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Aceituna negra**

Para preparar este tipo de aceitunas el fruto debe estar completamente maduro, pero no demasiado, ya que las aceitunas recogidas al final de la temporada conservan un excelente color después del procesamiento, pero su textura no es firme, según la norma del CODEX (1981).

#### **2.2.1.1. Variedad de aceituna Criolla o Sevillana**

La aceituna Criolla o Sevillana constituye la variedad de mayor importancia en el Perú, concentrando aproximadamente el 85 % de la producción nacional. También es conocida con las denominaciones de “Yauquina”, “Ilo” o “Tacneña”, y presenta similitudes morfológicas y tecnológicas con las variedades Azapa de Chile y Arauco de Argentina. Su introducción y establecimiento en el territorio peruano se remonta a la época de la conquista española (Asqui, 2016).

Esta variedad es considerada la más antigua del país y se cultiva principalmente en las zonas de Huaral, Ica, Pisco, Bella Unión, Yauca, La Ensenada, Mejía, Mollendo, Ilo y Tacna. El árbol se caracteriza por alcanzar un tamaño considerable, mientras que el fruto adquiere una coloración negro-morada intensa al alcanzar la madurez. Desde el punto de vista tecnológico, la aceituna Criolla o Sevillana es especialmente apreciada para la elaboración de aceitunas botija, machacadas y secas, mediante métodos tradicionales o criollos. Estos productos derivados presentan una elevada aceptación y demanda en el mercado nacional, motivo por el cual esta variedad se destina principalmente a la producción de aceitunas de mesa. Las principales características del fruto se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
*Características de la aceituna*

Características	Descripción
Peso	Elevado
Forma	Ovoidal
Simetría	Ligeramente asimétrico
Posición del diámetro transversal máximo	Centrado
Ápice	Apuntado
Base	Truncada
Pezón	Ausente
Lenticelas	Pequeñas y abundantes

La aceituna negra (*Olea Europea*) con índice de madurez de 4,5 a 6, así mismo podemos apreciar la estructura de esta fruta en la figura 1.

**Figura 1**  
*Aceituna Negra*



#### **2.2.1.2. Cosecha**

La cosecha de la aceituna se realiza de manera manual mediante el método conocido como ordeño, que consiste en desprender cuidadosamente los frutos del árbol y colocarlos en cestas especiales acolchadas, las cuales se sujetan al cuello del operario con el fin de evitar daños mecánicos. La recolección se efectúa cuando el fruto alcanza un índice de madurez comprendido entre 4,5 y 6, el cual se determina en función de la intensidad del color, que varía desde tonalidades verdes hasta un color violáceo oscuro (Clavijo, 2021).

#### **2.2.1.3. Transporte**

El transporte de la aceituna se realiza en contenedores de plástico perforados con una capacidad aproximada de 25 kg o en contenedores con una capacidad máxima de 500 kg. Estos contenedores tienen como paredes redes plásticas (sostenidas por una estructura de hierro). Las paredes perforadas permiten la aireación de los frutos y el peso reducido también contribuye a minimizar el daño del fruto (Rejano y Sánchez, 1996).

#### **2.2.1.4. Fermentación anaerobia**

Tradicionalmente las aceitunas se colocan en salmuera con una concentración de sal de entre el 8 y el 10 % (p/v). El proceso de fermentación anaerobia consiste en la difusión de los compuestos fermentables a través de la piel sin presencia de oxígeno. En este proceso, la eliminación del amargor de las aceitunas se consigue únicamente mediante la solubilización de la oleuropeína en la salmuera y el equilibrio se alcanza en 8-12 meses.

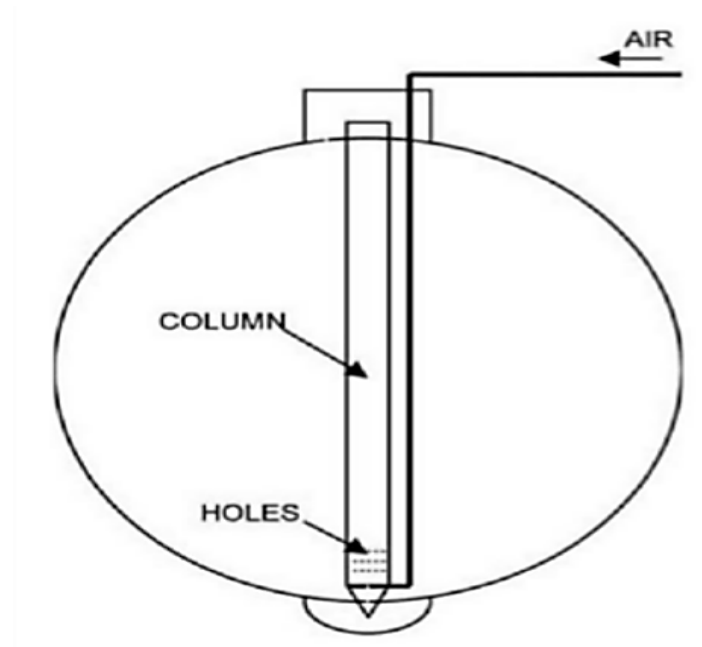
#### **2.2.1.5. Fermentación aeróbica**

Consiste en agregar aire mediante la modificación del fermentador introduciendo una columna central a través de la cual se burbujea aire. Para evitar la aparición de deterioro por "bolsas de gas", se realiza la fermentación en condiciones aeróbicas. Garrido et al. (1985), indica que el aire elimina el CO<sub>2</sub> producido por la respiración de la fruta y el metabolismo microbiano. La velocidad de inyección de aire depende del diseño técnico de la fábrica y de la columna, pero puede oscilar entre 0,1-0,3 volúmenes por volumen de fermentador por hora. El burbujeo de aire mantiene un cierto porcentaje de oxígeno disuelto en la salmuera que induce el crecimiento de

microorganismos facultativos en lugar de fermentativos, así como en la figura 2.

### Figura 2

*Recipiente de fermentación equipado con columna de aireación*



#### 2.2.1.6. Aplicación de aireación

En los procesos de fermentación aeróbicos es necesario un suministro adecuado de oxígeno que satisfaga los requerimientos metabólicos de los microorganismos empleados. Por ello, debemos destacar la importancia de la aireación y el mezclado del biorreactor, siendo los principales factores para satisfacer la demanda de oxígeno. Además, es necesario conocer los requerimientos de oxígeno del cultivo para asegurar que el suministro sea suficiente. Para ello es necesario calcular las resistencias a la transferencia que encuentra el oxígeno antes de llegar a la célula, siendo la baja solubilidad del oxígeno en el caldo de cultivo (<10 mg/l en condiciones de saturación) el principal problema (Universidad de Castilla la Mancha, 2021).

#### 2.2.1.7. Selección

La etapa de selección comprende la clasificación de la materia prima con el fin de retirar los frutos que evidencien deterioro, daños físicos, ataque de insectos o defectos de conformación. Este proceso se lleva a cabo sobre mesas de selección o mediante fajas transportadoras, lo que permite asegurar la calidad del fruto destinado a las etapas posteriores del procesamiento.

### **2.2.1.8. Clasificación**

La clasificación se realiza de acuerdo con el tamaño del fruto, pudiendo efectuarse mediante máquinas clasificadoras diseñadas para agrupar las aceitunas en diferentes calibres, o a través de equipos que utilizan sistemas de graduación por cables recubiertos de goma. En el caso de pequeños productores, este procedimiento suele llevarse a cabo de manera manual. Para la aceituna negra variedad sevillana, el calibre se establece según el número de unidades por kilogramo, considerándose:

- Tamaño grande 70 – 90 unidades/kg
- Tamaño mediano 130 -150 unidades/kg
- Tamaños menores 210 - 240 unidades/kg

### **2.2.1.9. Definición de los defectos**

De acuerdo con la norma del CODEX para aceitunas de mesa, los defectos se definen y clasifican de la siguiente manera:

- Materias extrañas inocuas: comprenden materiales de origen vegetal, como hojas o pedúnculos sueltos, que no representan riesgo para la salud ni resultan estéticamente inaceptables, excluyéndose aquellas sustancias cuya incorporación está permitida por la norma.
- Defectos que no afectan a la pulpa: corresponden a alteraciones superficiales que comprometen únicamente el epicarpio, tales como magulladuras, golpes o daños por rameado, siempre que no penetren en el mesocarpio ni estén asociados a enfermedades.
- Defectos que afectan a la pulpa: incluyen daños o imperfecciones en el mesocarpio, los cuales pueden presentarse con o sin marcas externas. En el caso de aceitunas enteras deshuesadas, se consideran defectuosas aquellas con desgarraduras que dejan expuesta la cavidad del hueso o una porción significativa del mesocarpio.
- Frutos arrugados: son aceitunas enteras, rellenas, deshuesadas, en mitades o en cuartos que presentan un grado de arrugamiento tal que altera de manera notable su apariencia, excepto en aquellos tipos cuya característica comercial es precisamente el arrugado.
- Frutos blandos o fibrosos: se refiere a aceitunas que presentan una textura excesivamente blanda o fibrosa en relación con el tipo comercial.

- Coloración anormal: incluye aceitunas cuya tonalidad se aparta claramente del color característico del tipo comercial y de la coloración promedio de los frutos contenidos en el envase.
- Daños producidos por criptogamas y hongos: corresponden a frutos con aspecto mate o con manchas de tonalidad variable, originadas por el desarrollo de micelio de hongos como *Macrophoma* o *Gloeosporium*, ya sea en el interior del fruto, provocando deshidratación del tejido, o de forma superficial, afectando su color.
- Daños producidos por insectos (distintos del *Dacus oleae*), con orificio de salida: incluyen frutos deformados, con manchas anormales o alteraciones visibles en el mesocarpio.
- Daños producidos por cuidados anormales: se refiere a aceitunas que presentan quemaduras accidentales en el epicarpio.
- Daños causados por *Dacus oleae*: comprende frutos afectados por este insecto, identificables por la presencia del orificio de salida.
- Pedúnculo|s: se considera defecto la presencia de un pedúnculo adherido que supere los 3 mm de longitud, medidos desde la parte más saliente del fruto, excepto en las aceitunas enteras comercializadas intencionalmente con pedúnculo.

#### **2.2.1.10. Etapas de transferencia difusional de O<sub>2</sub>**

De acuerdo a la Universidad de Castilla la Mancha (2021), El suministro de oxígeno al biorreactor se realiza mediante la inyección de una corriente de aire, la cual está compuesta aproximadamente por 21 % de O<sub>2</sub>, 78 % de N<sub>2</sub> y 1 % de Ar. El proceso mediante el cual el oxígeno es transferido desde las burbujas de aire hasta las células implica una secuencia de fenómenos de transferencia difusional que pueden dividirse en varias etapas sucesivas:

- a. Paso del oxígeno desde el interior de la burbuja de aire hacia la interfase gas-líquido.
- b. Transferencia a través de la interfase gas-líquido.
- c. Difusión a través de la película líquida relativamente inmóvil que rodea la burbuja.
- d. Transporte del oxígeno a través del seno del fluido.

- e. Difusión a través de la película líquida relativamente inmóvil que rodea a las células.
- f. Transferencia a través de la interfase líquido-célula.
- g. En caso de que las células se encuentren formando flóculos, agregados o asociadas a partículas sólidas, difusión a través del sólido hasta alcanzar cada célula individual.
- h. Transporte del oxígeno a través del citoplasma hasta el sitio donde ocurre la reacción metabólica.

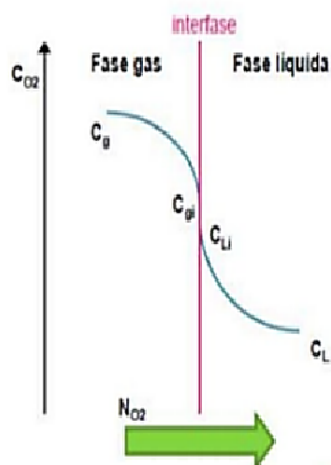
Se ha evidenciado que la principal resistencia a la transferencia de oxígeno se localiza en la película líquida que rodea a la burbuja de aire, correspondiente a la etapa de difusión a través de dicha película. En consecuencia, esta fase constituye el paso limitante del proceso y determina la velocidad global de transferencia de materia en el sistema

### 2.2.1.11. Expresiones de velocidad de transferencia de O<sub>2</sub>

En definitiva, la aireación es una cuestión de transferencia de materia: la transferencia de oxígeno entre las fases gas y líquido. Como se ha explicado anteriormente en los fenómenos de transporte, la fuerza impulsora del transporte de materia es la diferencia de concentración de materia en las dos fases: De esta forma, podemos definir la expresión que determina el flujo de O<sub>2</sub> (n) entre fases (Universidad de Castilla la Mancha, 2021).

**Figura 3**

Esquema de transporte de oxígeno desde la fase gas a la fase líquida



$$n_{O_2} = k_L \cdot (C_i - C_L)$$

Donde:

$n_{O_2}$ : flujo de O<sub>2</sub> (moles O<sub>2</sub> / s m<sup>2</sup>)

$C_i$ : concentración de O<sub>2</sub> en la interfase (mol/m<sup>3</sup>)

$C_L$ : concentración de O<sub>2</sub> en la fase líquida (mol/m<sup>3</sup>)

$k_L$ : coeficiente individual de transferencia de materia entre fases (m/s)

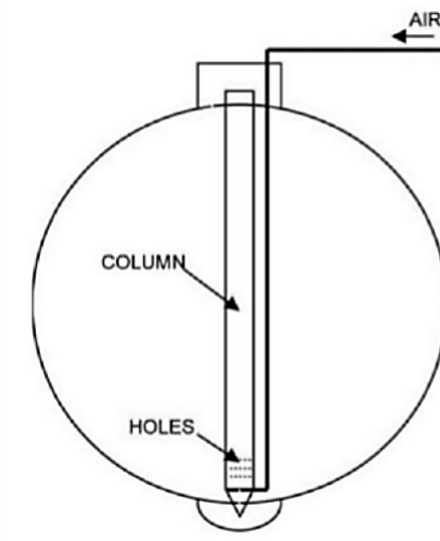
Esquema de transporte de oxígeno desde la fase gas (burbuja de aire) a la fase líquida (disolución en el medio de cultivo)

### 2.2.1.12. Factores que afectan a la transferencia de O<sub>2</sub>

En los fermentadores con sistema aero-elevado o (air-lift) de elevación de aire, la agitación y aireación se logran mediante la inyección de aire por la parte inferior de la base del fermentador, la entrada de aire produce una convección que se canaliza por un tubo vertical interior en tanque. No emplea agitación mecánica. El recipiente queda dividido en dos zonas, de las cuales sólo se dispersa aire en una (figura 4).

**Figura 4**

Factores que afectan a la transferencia de O<sub>2</sub>



Esto provoca que la retención de gas, (y por tanto, su densidad) en las dos zonas sea diferente, lo que causa la circulación del fluido, las burbujas de air van aumentando de tamaño conforme ascienden por el tubo interior por lo que su relación superficie/volumen disminuye y la transferencia de oxígeno al cultivo es menor. Cuando se emplean las columnas de burbujas, agitación se realiza mediante la introducción de aire a sobrepresión en su parte inferior. A pesar de su estructura simple, las columnas de burbujeo requieren una especificación de diseño detallada para una operación óptima (Universidad de Castilla la Mancha, 2021)

### 2.2.2. Tiempo del ciclo de una aireación

De acuerdo con Silos Mengo (2023), el tiempo de un ciclo de aireación corresponde al período necesario para que un frente de enfriamiento atravesase completamente la masa de granos y logre enfriar todo el granel. Este tiempo está influenciado por diversos factores, entre los que se incluyen: el caudal de aire aplicado, las horas de operación del ventilador, la cantidad y distribución de materias extrañas, el peso hectolítrico del

grano, el sistema de distribución del flujo de aire, la temperatura inicial del grano y su distribución, así como las condiciones climáticas y la época del año.

#### **2.2.2.1. Burbujeo**

Ordoñez (2021), expresa que El método de burbujeo de aire consiste en regular el ingreso de aire al fermentador mediante un rotámetro instalado en la línea de entrada. No obstante, en la práctica, el caudal de aire suele establecerse principalmente a partir de la experiencia operativa de los técnicos. Una vez concluida la fase activa de la fermentación, la aireación solo resulta necesaria cuando se produce un incremento en la concentración de CO<sub>2</sub>. Con la finalidad de prevenir la aparición del defecto conocido como “alambrado”, la fermentación puede llevarse a cabo bajo condiciones aerobias. Para ello, el fermentador debe ser adaptado mediante la incorporación de una columna central a través de la cual se inyecta aire, permitiendo la eliminación del CO<sub>2</sub> disuelto en la salmuera. El caudal de aire requerido depende del diseño del fermentador y de la columna de aireación, situándose generalmente entre 0,1 y 0,3 litros de aire por litro de capacidad del fermentador por hora. El burbujeo de aire contribuye a mantener una determinada concentración de oxígeno disuelto en la salmuera, lo que favorece el desarrollo de microorganismos de carácter oxidativo y/o facultativo en lugar de estrictamente fermentativos

Entre las principales ventajas de este sistema, en comparación con la fermentación anaerobia, se encuentran: (i) una baja incidencia en la aparición del defecto de “alambrado”; (ii) la eliminación del arrugamiento superficial de los frutos; (iii) la reducción del tiempo total del proceso, ya que el burbujeo de aire genera una recirculación continua de la salmuera, facilitando una rápida difusión de los azúcares y de los compuestos amargos hacia el medio líquido, lo que acorta el periodo de fermentación activa a aproximadamente 2–3 meses y permite que las aceitunas sean aptas para el consumo en un plazo cercano a tres meses; y (iv) la obtención de un producto final con mejores características de color, sabor y textura

#### **2.2.2.2. Embalaje**

García et al. (1986), indica que hasta hace algunos años estas aceitunas no se envasaban, sino que se vendían a granel. Para este producto rara vez se utilizan tarros o latas de vidrio, aunque hoy en día existe una demanda cada vez mayor. Habitualmente existen dos formas de presentación: aceitunas negras naturales en salmuera (estilo griego) y estilo Kalamata. En el primero, los valores más frecuentes

para productos comerciales son: pH entre 4,0-4,2 y concentración de sal entre 6-8%. Para el estilo Kalamata los valores de pH son menores porque se debe añadir vinagre de vino y además aceite de oliva. Para asegurar una buena conservación del producto envasado se puede emplear la pasteurización (en condiciones similares a las aceitunas verdes) o la adición de sorbato de sodio hasta alcanzar un nivel del 0,05 % (como ácido sórbico) en el equilibrio

### **2.2.2.3. Preparaciones comerciales**

De acuerdo con la norma comercial para aceitunas de mesa, la eliminación del amargor natural del fruto puede realizarse mediante diferentes métodos, tales como el tratamiento alcalino, la inmersión en líquidos que permitan la dilución del compuesto amargo o a través de procesos biológicos. El producto resultante puede conservarse en salmuera, sal seca o atmósfera modificada, así como mediante tratamiento térmico, o el uso de conservantes y/o acidificantes, según las características propias de cada preparación. En cuanto a la coloración, las aceitunas verdes pueden presentar tonalidades que van del verde al amarillo paja; las aceitunas de color cambiante pueden variar del rosa al rosa vinoso o castaño; mientras que las aceitunas negras pueden mostrar colores que oscilan entre el negro rojizo y el castaño oscuro, incluyendo tonalidades como negro violáceo, violeta oscuro o negro verdoso (Consejo Oleícola Internacional, 2004). Las aceitunas pueden someterse a las siguientes preparaciones comerciales:

- a. Aceitunas aderezadas: corresponden a aceitunas verdes, de color cambiante o negras que han sido sometidas a un tratamiento alcalino y posteriormente acondicionadas en salmuera, donde experimentan una fermentación total o parcial, conservándose con o sin la adición de acidificantes.
  - a-1) Aceitunas verdes aderezadas en salmuera.
  - a-2) Aceitunas de color cambiante aderezadas en salmuera.
  - a-3) Aceitunas negras aderezadas.
- b. Aceitunas al natural: incluyen aceitunas verdes, de color cambiante o negras que son tratadas directamente en salmuera, en la cual se desarrolla una fermentación total o parcial, pudiendo conservarse con o sin acidificantes.

- b-1) Aceitunas verdes al natural.
  - b-2) Aceitunas de color cambiante al natural.
  - b-3) Aceitunas negras al natural.
- c. Aceitunas deshidratadas y/o arrugadas: comprenden aceitunas verdes, de color cambiante o negras que pueden haber sido sometidas o no a un tratamiento alcalino ligero y que se conservan en salmuera o mediante deshidratación parcial utilizando sal seca, aplicación de calor u otros procesos tecnológicos.
- c-1) Aceitunas verdes deshidratadas y/o arrugadas.
  - c-2) Aceitunas de color cambiante deshidratadas y/o arrugadas.
  - c-3) Aceitunas negras deshidratadas y/o arrugadas.
- d. Aceitunas ennegrecidas por oxidación: corresponden a aceitunas verdes o de color cambiante conservadas en salmuera, fermentadas o no, que adquieren su color negro mediante un proceso de oxidación en medio alcalino y se conservan en envases herméticos mediante esterilización térmica. Estas presentan una coloración negra uniforme. d-1) Aceitunas negras.

Finalmente, existen especialidades, las cuales incluyen preparaciones distintas o complementarias a las previamente descritas. Estas conservan la denominación de “aceitunas” siempre que los frutos empleados cumplan con las definiciones generales establecidas en la norma. Las denominaciones asignadas a estas especialidades deben ser claras y precisas, de modo que no generen confusión en el consumidor respecto al origen y la naturaleza del producto, especialmente en relación con las denominaciones oficialmente reconocidas

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Aceituna mesa**

Se denomina aceituna de mesa al producto elaborado a partir de frutos sanos del olivo cultivado (*Olea europaea* L.), cosechados en un estado de madurez adecuado para su transformación industrial. Estos frutos son seleccionados por presentar características favorables para su procesamiento, tales como tamaño y forma apropiados, adecuada relación pulpa–hueso, textura delicada de la pulpa, sabor agradable, firmeza y facilidad de separación del hueso. Para su elaboración, las

aceitunas son sometidas a distintos tratamientos destinados a eliminar el amargor natural y posteriormente conservadas mediante fermentación natural y/o tratamientos térmicos, u otros métodos tecnológicos que permitan prevenir su deterioro y garantizar la estabilidad del producto durante su almacenamiento a temperatura ambiente, con o sin el uso de conservantes (CODEX, 1981).

### **2.3.2. Bacterias ácido lácticas**

Las bacterias ácido lácticas se caracterizan por ser microorganismos Gram positivos, no formadores de esporas, carentes de motilidad, con morfología generalmente cocácea y ausencia de actividad catalasa (Parra, 2010).

### **2.3.3. Cloruros de sodio**

Conocido comúnmente como sal de mesa, el cloruro de sodio es un compuesto indispensable para la vida, que se encuentra de forma natural en yacimientos minerales. En la industria alimentaria se emplea como aditivo, generalmente en concentraciones cercanas al 2 %, y cumple un papel fundamental en los procesos de fermentación de diversos alimentos (Feldman, 2005).

### **2.3.4. Dióxido de carbono**

También denominado anhídrido carbónico, es un gas que se genera como resultado de los procesos de fermentación o respiración de los organismos, así como de la combustión de compuestos orgánicos (Feldman, 2005).

### **2.3.5. Enterobacterias**

Son microorganismos Gram negativos, no formadores de esporas, que tienen su origen principalmente en el tracto intestinal de animales y seres humanos. Se caracterizan por ser anaerobios facultativos, capaces de fermentar glucosa, y pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae* (Frazier y Westhoff, 1993).

### **2.3.6. Fermentación**

Proceso metabólico de carácter catabólico en el cual un compuesto orgánico actúa simultáneamente como donador y aceptor de electrones, y en el que la energía en forma de ATP se genera mediante fosforilación a nivel de sustrato (Madigan et al., 2003).

### **2.3.7. Sal común**

La sal de mesa, también denominada sal común, es un producto alimenticio constituido principalmente por cloruro de sodio (NaCl), obtenido por evaporación de agua de mar, salmueras naturales o mediante extracción minera de yacimientos salinos. Se utiliza ampliamente como condimento y agente conservador en alimentos, y puede contener aditivos permitidos, como agentes antiaglomerantes y yodo, con fines nutricionales y tecnológicos (CODEX, 1981).

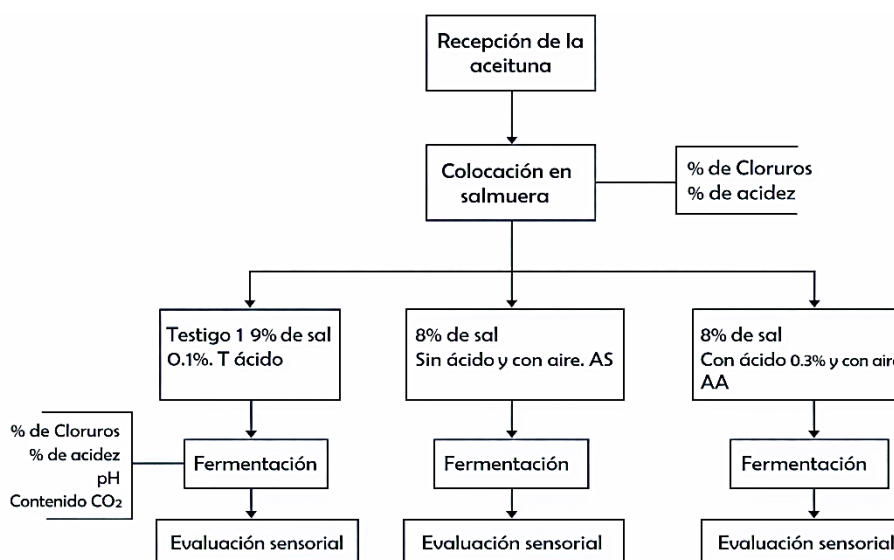
## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación fue de tipo experimental, donde se manipularon variables de estudio, se planteó identificar las características de control, con la finalidad de observar los resultados a través del tiempo. Para determinar las combinaciones se utilizaron 2 procedencias (fundos), de la Sra. Jenny García Vellano (YG) y del Sr. Williams Paco Abrigo (WP), siendo la parte experimental del estudio y 3 tratamientos como se muestra en la figura 5.

**Figura 5**

*Variables de estudio*



### 3.2. Acciones y actividades

#### 3.2.1. Proceso de fermentación de las aceitunas

Se realizaron en función de los objetivos, los siguientes análisis.

#### 3.2.2. Análisis fisicoquímicos de la salmuera

##### a. pH y acidez libre

Se empleó un pH-metro, donde se sumergió el electrodo, previamente calibrado, en el líquido de gobierno (salmuera) que está en un vaso de precipitado y se lee directamente el pH. La acidez libre se determinó con una valoración volumétrica de NaOH y se expresa como porcentaje de ácido oleico. Se precedió a tomar la muestra

de salmuera 9 mL en un Erlenmeyer, luego se agregó de 2 a 3 gotas de azul de bromotimol como indicador. En la bureta se coloca NaOH 0,1N y se añade gota a gota hasta cambio de color a azul intenso que persista durante 30 segundos. Se registra el gasto y se calcula el porcentaje de ácido láctico presente en la salmuera.

#### **b. Análisis del contenido Cloruro Sódico**

Se realizó mediante una valoración volumétrica empleando nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ). Para ello, se colocaron 0,5 mL del líquido de gobierno en un matraz Erlenmeyer, se adicionaron aproximadamente 10 mL de agua destilada y 2 a 3 gotas de cromato de potasio al 5 % como indicador. La titulación se efectuó con una solución de  $\text{AgNO}_3$  0,1 N, añadida lentamente desde una bureta hasta observar el cambio de color de amarillo a rojo asalmonado. Los equivalentes de nitrato de plata consumidos se consideraron equivalentes a los de cloruro de sodio presentes en la muestra. A partir de estos valores se calculó la masa de NaCl y el porcentaje de sal contenido en la salmuera. La concentración de cloruros se obtuvo mediante el método volumétrico, utilizando nitrato de plata como reactivo titulante y cromato de potasio como indicador, expresándose el resultado como porcentaje (p/v), es decir, gramos de NaCl por cada 100 mL de solución (Garrido-Fernández et al., 1997).

#### **c. Análisis de $\text{CO}_2$**

Dióxido de carbono se determinó utilizando frascos de vidrio con tapa y colocando un matraz dentro de él y añade 5 mL de salmuera a analizar.

### **3.2.3. Análisis microbiológico de las salmueras**

El recuento de microorganismos se llevó a cabo mediante técnicas de microbiología clásica, utilizando el método de siembra en placa en distintos medios de cultivo selectivos: MRS para bacterias ácido lácticas, YM para levaduras y VRBD para enterobacterias. Los resultados obtenidos se expresaron como unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/mL) o por gramo (UFC/g), según correspondiera. Asimismo, el análisis de bacterias ácido lácticas se realizó mediante el recuento en placas 3M® Petrifilm®, sistema que consiste en un medio de cultivo listo para su uso, el cual contiene nutrientes, agentes selectivos, un agente gelificante soluble en agua fría y un indicador de tetrazolio (TTC) que facilita la visualización y el conteo de las colonias (Anexo 2).

### **3.2.4. Evaluación sensorial de la aceituna**

Este análisis se realizó basada en el “Método para el Análisis Sensorial de Aceitunas de Mesa” establecido por el Consejo Oleícola Internacional (IOC, 2021), con ligeras modificaciones adaptadas a las condiciones del estudio. Este enfoque permitió caracterizar de manera objetiva los atributos sensoriales del producto y analizar la influencia del proceso de fermentación aeróbica sobre su calidad sensorial, considerando simultáneamente atributos gustativos, cinestésicos, visuales y de aceptación global (Rodríguez-Gómez et al., 2025).

El panel sensorial estuvo conformado por seis jueces expertos seleccionados en función de su experiencia y conocimiento en el sector oleícola. El panel incluyó gerentes de calidad de plantas procesadoras que elaboran aceitunas negras naturales del cultivar Criolla y profesionales vinculados a la comercialización de aceitunas en el Perú. La conformación de un panel experto permitió garantizar una evaluación sensorial precisa y consistente, considerando la familiaridad de los jueces con las características propias del producto y con los criterios de calidad aplicables a las aceitunas de mesa. Las evaluaciones se llevaron a cabo en un ambiente de prueba estandarizado, conforme a las recomendaciones del Consejo Oleícola Internacional. Se controlaron las condiciones ambientales con el fin de evitar interferencias externas que pudieran afectar la percepción sensorial de los jueces. Las muestras de aceitunas fermentadas fueron presentadas en recipientes adecuados y codificadas mediante números aleatorios para asegurar la imparcialidad del proceso de evaluación. Cada tratamiento fue evaluado por duplicado, lo que permitió mejorar la confiabilidad y repetibilidad de los resultados obtenidos.

Los jueces evaluaron atributos gustativos, cinestésicos y visuales, específicamente acidez, salinidad y amargor, así como dureza, crujiente y fibrosidad, además del color del producto. De manera complementaria, se evaluó la puntuación general y la predisposición de compra, consideradas como indicadores integrales de la calidad sensorial global y del potencial de aceptación del producto por parte del consumidor. Para la evaluación de los atributos sensoriales se utilizó una escala continua no estructurada de 10 cm, cuyos extremos representaron una percepción negativa extrema y una percepción positiva extrema, respectivamente. Esta escala permitió obtener mediciones cuantitativas de la intensidad percibida de cada atributo. Los resultados se expresaron como la media aritmética de las puntuaciones individuales otorgadas por los panelistas para cada tratamiento evaluado.

### **3.2.5. Análisis multivariante de las puntuaciones asignadas por los expertos**

Los datos obtenidos fueron organizados y procesados mediante procedimientos estadísticos descriptivos y multivariados. En una primera etapa, se calcularon las medias de las puntuaciones sensoriales correspondientes a cada atributo y tratamiento, con el fin de resumir el comportamiento general de las muestras evaluadas. Posteriormente, se aplicó el Análisis de Componentes Principales como técnica estadística multivariada para reducir la dimensionalidad del conjunto de datos y explorar las relaciones existentes entre los atributos sensoriales evaluados. Adicionalmente, la comparación entre las medias de los atributos sensoriales de los distintos tratamientos se realizó mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan, considerando un nivel de significancia de  $p < 0,05$ .

### **3.3. Materiales e Instrumentos**

Para llevar a cabo los análisis fisicoquímicos, se requirió: Materiales volumétricos, balanza analítica, estufa, reactivos, mechero, bureta digital, reactivos e indicadores.

### **3.4. Población y muestra de estudio**

La experimentación se realizó en dos fundos de la empresa de la Sra. Jenny García Vellano (YG) y del Sr. Williams Paco Abrigo (WP), siendo la parte experimental del estudio, ubicados en el Sector de la 5 y 6 y los olivos respectivamente ubicados en la irrigación La Yarada del distrito la Yarada- Los Palos, asimismo se hicieron tres experimentos con dos réplicas por cada uno, haciendo un total de seis ensayos. Estos se llevan a cabo en tanques de resina poliéster reforzados con fibra de vidrio, con capacidad de 500 litros, con un promedio de peso neto por tanque de 300 kg y 200 L (aceituna/salmuera)

Se tomó como muestras aceitunas del fundo de la Sra. Jenny García Vellano (YG) y del Sr. Williams Paco Abrigo (WP), un balde de aceitunas por cada muestra.

### **3.5. Operacionalización de variables**

La Tabla 1 presenta la variable independiente y la variable dependiente, así como sus definiciones e indicadores utilizados para evaluar el proceso fermentativo.

**Tabla 1**  
*Operacionalización de variables de investigación*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
<b>Independiente</b> Aplicación de Aireación	La AER Aimogasta ha desarrollado una tecnología innovadora que busca sustituir la etapa de extendido en el proceso tradicional de elaboración de aceitunas negras naturales. Este equipo ofrece la posibilidad de llevar a cabo el proceso de fermentación y un proceso de insuflado de aire a través de burbujeo, en condiciones controladas, con el objetivo de reducir el amargor y el pardeamiento característico de las aceitunas. Los resultados obtenidos con esta tecnología son equivalentes a los del tratamiento de extendido, al tiempo que se reduce la necesidad de mano de obra y se aumenta la producción a escala de aceitunas negras orgánicas (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2021).	Cantidad de aire aplicado. Se aplica de manera constante y se realiza un ensayo con el proceso tradicional, en donde dos tanques se utilizarán para la experimentación, uno con la aplicación del aire y la otra sin la aplicación de aire. La aireación promueve el crecimiento celular, disminuye el rendimiento de etanol y provoca la toma de ácido acético y la síntesis de etil. Evitar un punto crítico de contaminación, y de reducción de calidad por ablandamiento por golpes, es necesario identificar una herramienta que permita lograr el proceso fermentativo y reducción del amargor en condiciones controladas (Ferreyra, 2012).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Procedencia (2 tanques, uno con la aplicación del aire y otro sin la aplicación del aire)</li> <li>2. La aplicación del ácido</li> </ol>
<b>Dependiente</b> Fermentación de la aceituna	Los factores conservantes son los efectos combinados de la sal, el pH bajo y acidez orgánica y el producto a menudo no requerirá un tratamiento térmico para asegurar la estabilidad. Esto también puede tener el efecto beneficioso de retener importantes propiedades nutricionales y físicas termolábiles, como el color y la textura. En general, la fermentación se lleva a cabo por homo y heterobacterias y/o levaduras ácido lácticas fermentativas. La materia prima y los cambios posteriores provocados por los microbios. Actividad dan lugar a una secuencia microbiana que finalmente conduce a la dominancia de estos organismos y a las características resultantes del producto. Por bacterias aerobias gramnegativas y anaerobias facultativas que generalmente constituyen un componente mucho mayor de la microflora natural de la materia prima. Por lo general, estos organismos Gram negativos son inhibidos por los niveles de sal empleados, pero su actividad temprana puede ayudar a preparar el camino para sus sucesores al producir sustancias anaeróbicas y un moderado. Disminución del pH inicial del medio (Garrido-Fernández y Adams, 1997).	Los parámetros de control de la fermentación, el pH, acidez total, cloruros y contenido de dióxido de carbono. Enumeración de bacterias ácido-lácticas, y levaduras y mohos (Koc, 2014).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Unidades de pH</li> <li>2. % de ácido láctico</li> <li>3. % de Cloruros</li> <li>4. MI de CO<sub>2</sub> en 100 ml de salmuera</li> <li>5. Ufc de Bacterias ácido lácticas</li> <li>6. Ufc de Levaduras y mohos</li> <li>7. Ufc de enterobacterias</li> <li>8. Aceptabilidad</li> </ol>

### **3.6. Procesamiento y análisis de datos**

Todos los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron por duplicado, por lo que los resultados se presentaron acompañados de su respectiva desviación estándar (SD). El procesamiento de los datos se efectuó de manera automatizada mediante el uso de herramientas informáticas. Para tal fin, se empleó el software estadístico SPSS versión 26.0 para Windows, el cual permitió realizar el análisis descriptivo de las variables estudiadas, así como Microsoft Office Excel 2021, aplicación que facilitó el ordenamiento, procesamiento y representación gráfica de los datos. Asimismo, para la contrastación de la hipótesis planteada en la presente investigación se aplicaron las pruebas estadísticas correspondientes.

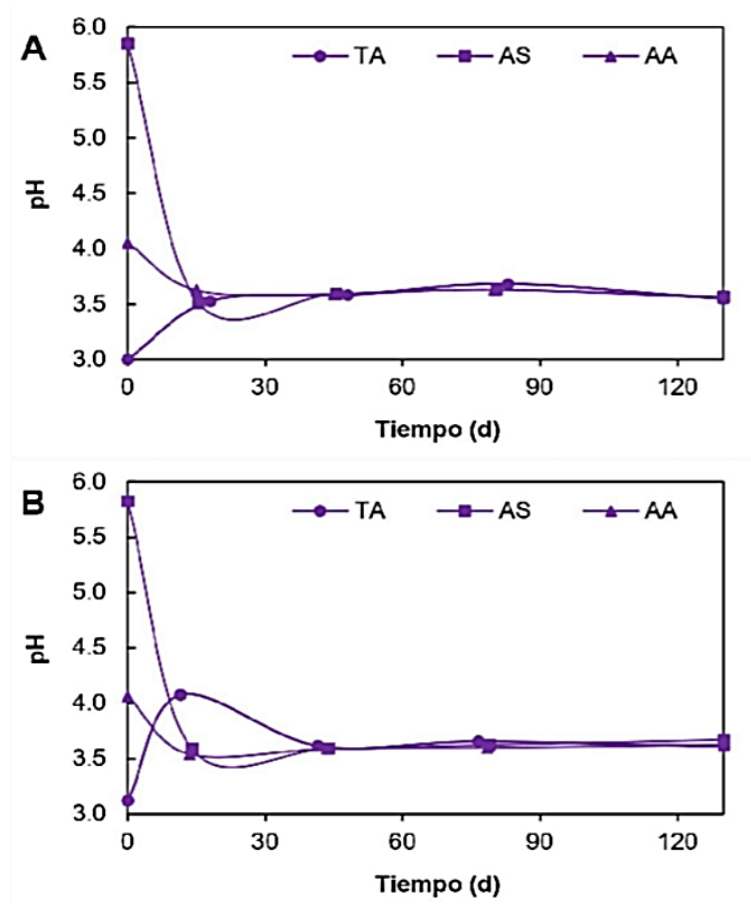
## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Fluctuación del pH

Las condiciones iniciales del pH en la salmuera fueron iguales en los fondos WP y YG. En las salmueras testigo (TA) fue alrededor de 3, en las salmueras sin ácido con aireación (AS) fue de 5,8 y en las salmueras con ácido y aireación (AA) fue de 4 (Figura 6). En los primeros 15 días prácticamente todos se estabilizan a alrededor de 3,5, con excepción de la salmuera testigo del fondo YG la cual se incrementó a valores superiores a 4. A partir de los 40 días todas las salmueras se estabilizan a valores similares, al final de la fermentación todas tienen un valor alrededor de 3,6.

**Figura 6**

Fluctuación del pH en la salmuera



Nota. (A) corresponde al Fondo WP y (B) al Fondo YG.

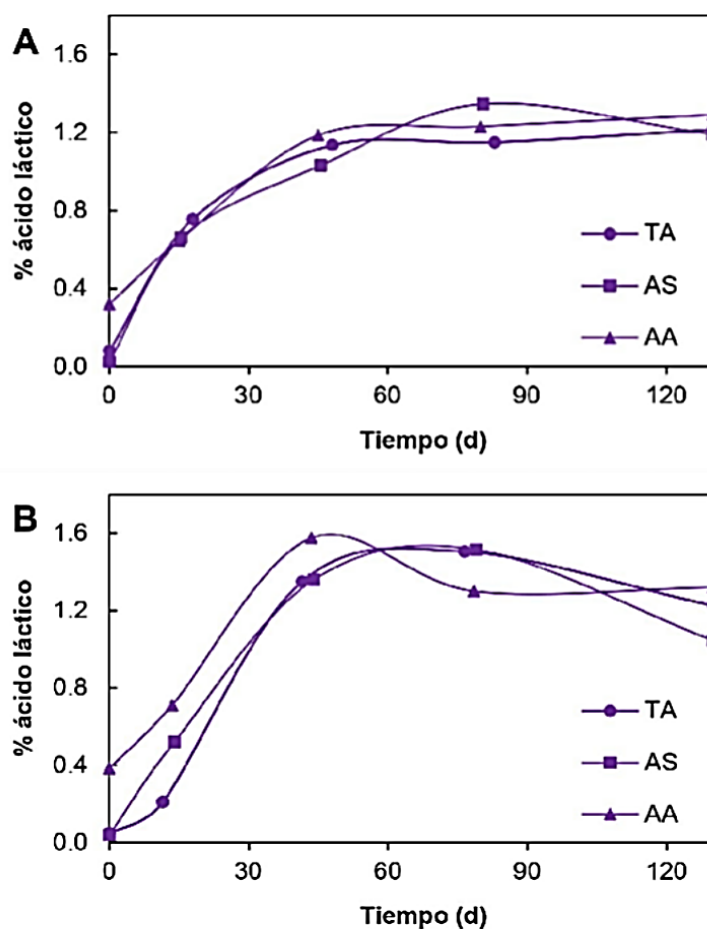
### 4.2. Fluctuación de la acidez

Las condiciones iniciales de acidez en la salmuera fueron iguales en los fondos WP y YG. En las salmueras testigo (TA) y sin ácido con aireación (AS) fue alrededor del 0

% y en las salmueras con ácido y aireación (AA) fue alrededor del 0,4 % (Figura 7). En los primeros 45 días los tratamientos del fondo YG tenían valores de acidez superiores a 1,2 %, mayores que el fondo WP, en especial el tratamiento AA. Al final de la fermentación los tratamientos del fondo WP se estabilizan alrededor del 1,2 %, por otro lado, en el fondo YG el tratamiento AA queda con 1,3 %, en el tratamiento TA con 1,2 % y el tratamiento AS al 1 %.

**Figura 7**

Fluctuación de la acidez en la salmuera



Nota. (A) corresponde al Fondo WP y (B) al Fondo YG.

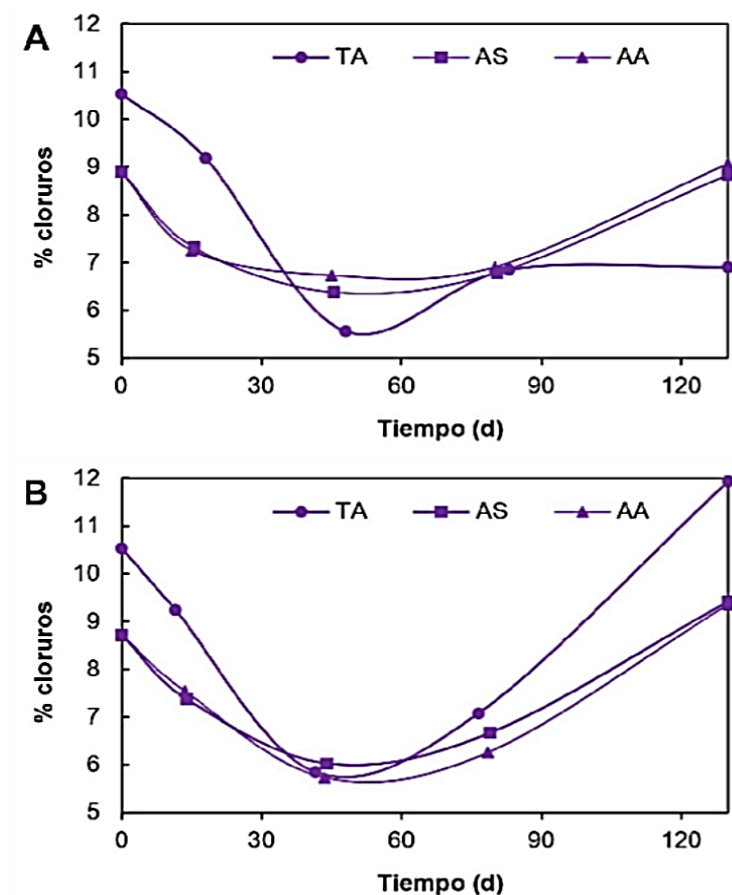
#### 4.3. Fluctuación de los cloruros

Las condiciones iniciales de cloruros en la salmuera fueron iguales en los fondos WP y YG. En las salmueras testigo (TA) fue del 10,5 %, y en las salmueras sin ácido con aireación (AS) y con ácido y aireación (AA) fue alrededor del 8,8 % (Figura 8). En los primeros 45 días los tratamientos del fondo YG tendieron a valores alrededor del 6 %, a diferencia de los tratamientos del fondo WP, donde el tratamiento TA descendió al 5,6 % y los tratamientos AS y AA a valores alrededor del 6,8 %. Al

final de la fermentación los tratamientos AS y AA se estabilizan a valores alrededor del 9 %, mientras que el tratamiento TA en el fondo WP fue del 6,9 % y en el fondo YG fue del 11,9 %.

**Figura 8**

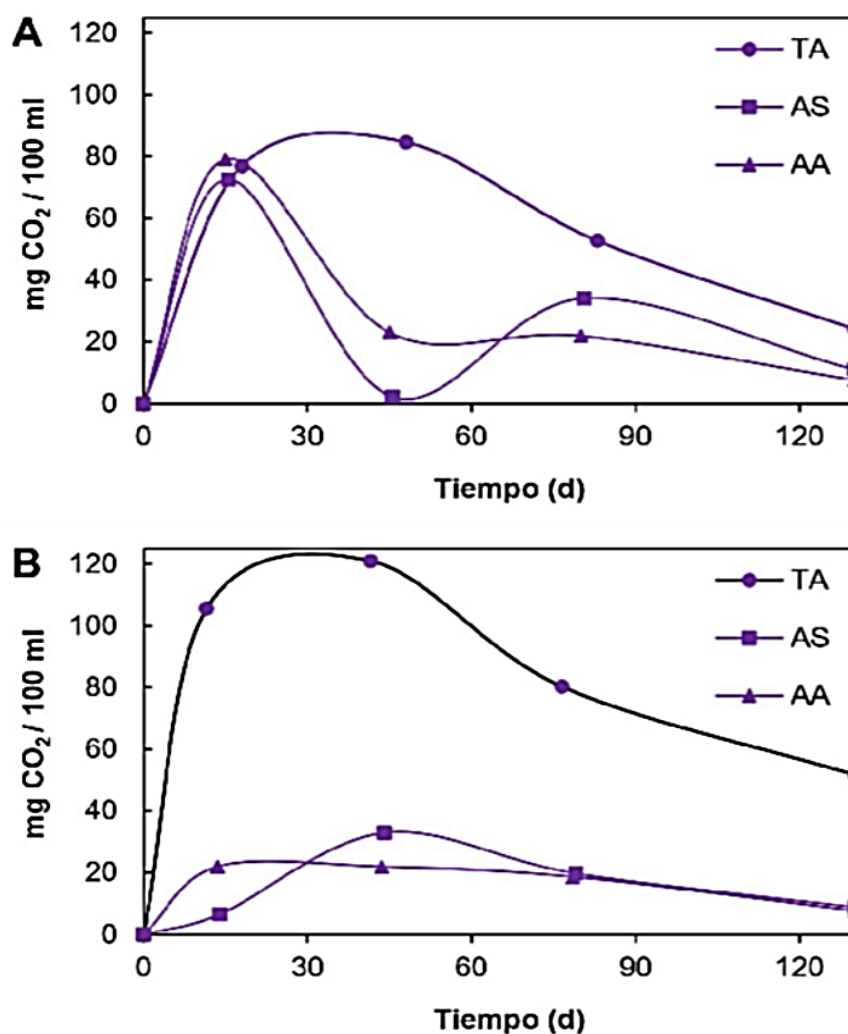
Fluctuación de cloruros en la salmuera



Nota. (A) corresponde al Fondo WP y (B) al Fondo YG.

#### 4.4. Fluctuación de CO<sub>2</sub>

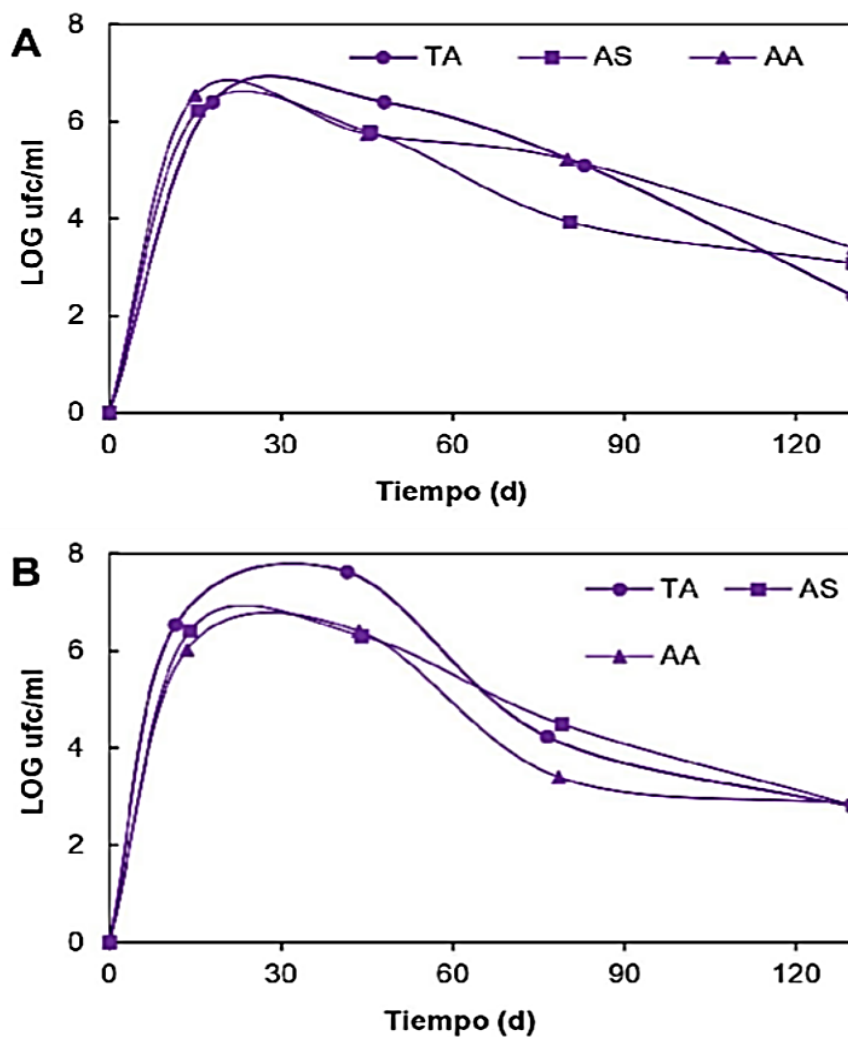
El contenido inicial de CO<sub>2</sub> en la salmuera fue 0 mg CO<sub>2</sub> / 100 ml en ambos fondos. En los primeros 15 días de fermentación en los tratamientos del fondo WP fue entre 70 y 80 mg CO<sub>2</sub> / 100 ml. En el fondo YG para los tratamientos AS, AA y TA fue 6,5, 22 y 105,6 mg CO<sub>2</sub> / 100 ml respectivamente. A los 45 días, en el fondo WP fue 2,2, 23 y 85 mg CO<sub>2</sub> / 100 ml para los tratamientos AS, AA y TA respectivamente. En el fondo YG fue de 22, 33 y 121 mg CO<sub>2</sub> / 100 ml para los tratamientos AA, AS y TA respectivamente. Al final de la fermentación el contenido de CO<sub>2</sub> en los tratamientos AS y AA en ambos fondos estuvo entre 7 y 11 mg CO<sub>2</sub> / 100 ml, mientras que el tratamiento TA fue de 24 y 52 mg CO<sub>2</sub> / 100 ml en los fondos WP y YG respectivamente (Figura 9).

**Figura 9***Fluctuación del CO<sub>2</sub> en la salmuera*

Nota. (A) corresponde al Fondo WP y (B) al Fondo YG.

#### 4.5. Fluctuación de Bacterias Ácido-Lácticas

La cantidad de BAL inicial en la salmuera fue 0 ufc/ml en ambos fondos. La cantidad de BAL en ambos fondos experimentó su crecimiento máximo entre los 15 y 45 días, siendo mayor a Log 6 ufc/ml, el tratamiento TA del fondo YG fue el único que llegó a valores de 7,6 Log ufc/ml. Al final de la fermentación el contenido de BAL en el fondo WP fue de 2,4, 3,1 y 3,4 Log ufc/ml para los tratamientos TA, AS y AA respectivamente. En el fondo YG todos los tratamientos tuvieron valores alrededor de 2,8 Log ufc/ml (Figura 10).

**Figura 10***Fluctuación de las BAL en la salmuera*

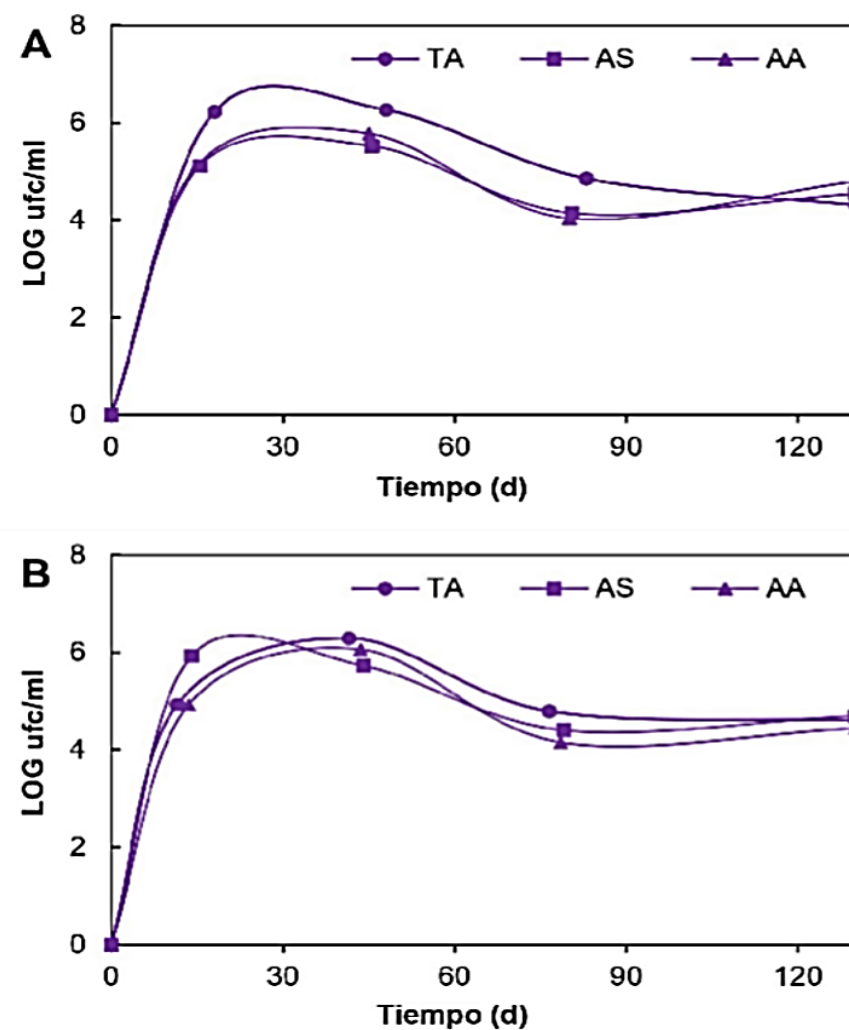
Nota. (A) corresponde al Fondo WP y (B) al Fondo YG.

#### 4.6. Fluctuación de levaduras y mohos

La cantidad de levaduras y mohos inicial en la salmuera fue 0 ufc/ml en ambos fondos. Al igual que las BAL la cantidad de levaduras y mohos en ambos fondos experimentó su crecimiento máximo entre los 15 y 45 días, alrededor de 6 Log ufc/ml. Al final de la fermentación el contenido de mohos y levaduras en el fondo WP estuvo entre 4,3 y 4,8 Log ufc/ml. En el fondo YG todos los tratamientos tuvieron valores alrededor de 4,45 y 4,70 Log ufc/ml (Figura 11).

**Figura 9**

Fluctuación de levaduras y mohos en la salmuera



Nota. (A) corresponde al Fondo WP y (B) al Fondo YG.

#### 4.7. Fluctuación de enterobacterias

La cantidad de Enterobacterias inicial en la salmuera fue 0 ufc/ml en ambos fondos, así como en la salmuera final de ambos fondos.

#### 4.8. Efecto de la fermentación aeróbica en la calidad sensorial

Los valores medios obtenidos para los atributos sensoriales evaluados se presentan en la Tabla 2. En términos generales, los tratamientos alcanzaron puntuaciones de nivel medio a alto, con valores comprendidos entre 6,88 y 9,90 sobre una escala máxima de 11, lo que evidencia una adecuada aceptación sensorial de las aceitunas al final del proceso fermentativo.

**Tabla 2**  
*Respuesta sensorial al proceso fermentativo*

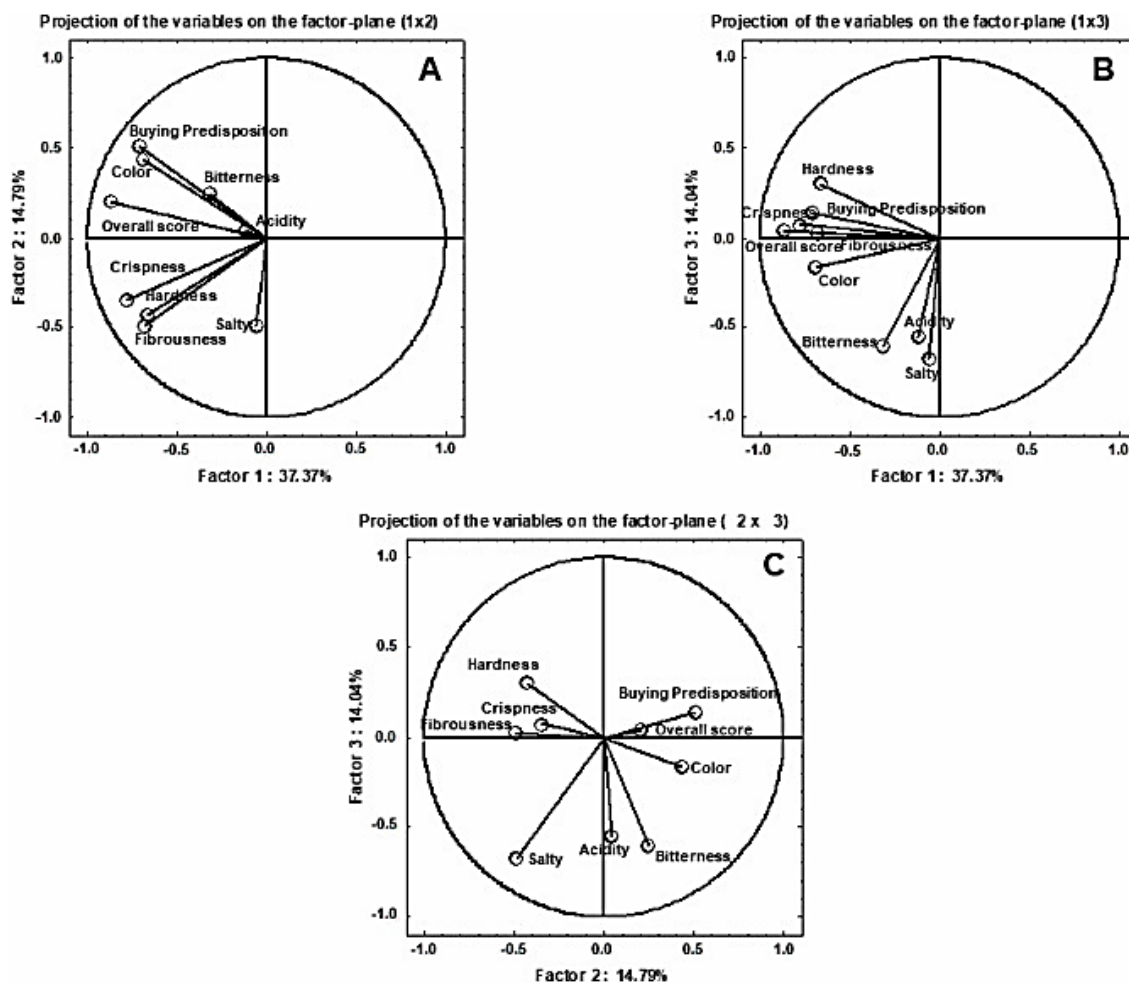
<b>Atributos</b>	<b>Sistema aeróbico (AS)</b>	<b>Sistema aeróbico con ácido (AA)</b>	<b>Sistema tradicional (T)</b>
Salinidad	9,63 ± 0,34	9,90 ± 0,45	9,90 ± 0,28
Acidez	8,53 ± 0,49	8,80 ± 0,57	9,21 ± 0,58
Amargor	9,08 ± 0,39	9,60 ± 0,28	9,76 ± 0,45
Color	7,56 ± 0,49	6,88 ± 0,75	8,39 ± 0,46
Fibrosidad	8,53 ± 0,28	7,98 ± 0,44	8,80 ± 0,28
Crujiente	8,25 ± 0,38	7,70 ± 0,45	8,52 ± 0,34
Dureza	8,94 ± 0,37	8,21 ± 0,39	8,39 ± 0,46
Puntuación general	8,25 ± 0,43	7,84 ± 0,53	7,56 ± 0,60
Predisposición de compra	8,90 ± 0,40	8,67 ± 0,55	7,84 ± 0,59

Desde el punto de vista estadístico, la aplicación de la prueba de rangos múltiples de Duncan no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos para ninguno de los atributos sensoriales individuales evaluados, incluyendo salinidad, acidez, amargor, color, fibrosidad, crujiente, dureza, puntuación general y predisposición de compra ( $p > 0,05$ ). Este resultado indica que los distintos sistemas de fermentación no generaron variaciones sensoriales perceptibles a nivel individual para el panel experto, manteniéndose un perfil sensorial comparable entre el proceso tradicional y los sistemas de fermentación aeróbica. No obstante, desde una perspectiva cualitativa, se observó una tendencia favorable en el tratamiento correspondiente al sistema aeróbico (AS), el cual presentó valores ligeramente superiores en la puntuación general y en la predisposición de compra. Esta tendencia sugiere que la fermentación aeróbica favoreció la aceptación global del producto sin comprometer atributos sensoriales tradicionales, tales como el perfil gustativo característico, el color y las propiedades cinestésicas propias de la aceituna negra natural del cultivar Criolla. En este sentido, los resultados indican que la fermentación aeróbica constituye una alternativa tecnológica viable que preserva la calidad sensorial y el perfil cinestésico tradicional, potenciando de manera moderada su aceptación comercial.

Luego, se realizó un análisis multivariante mediante Análisis de Componentes Principales (PCA). Previamente, el análisis de correlación confirmó la idoneidad del conjunto de datos para la aplicación de esta técnica de reducción de dimensionalidad. El PCA permitió reducir la información a tres factores principales que, en conjunto, explicaron el 66,21 % de la varianza total, proporcionando una representación adecuada del comportamiento sensorial de las muestras evaluadas (figura 10).

Figura 10

Diagrama de análisis de componentes principales



Nota. (A) corresponde a la proyección de las variables sensoriales en el plano formado por los Factores 1 y 2; (B) representa la proyección en el plano Factores 1 y 3; y (C) muestra la proyección en el plano Factores 2 y 3.

El Factor 1, que explicó el 37,37 % de la varianza total, estuvo fuertemente asociado a la combinación de los atributos cinestésicos y el color, evidenciando que estos parámetros ejercen una influencia determinante sobre la puntuación general otorgada por los jueces expertos. Este resultado resalta la importancia de la textura y la apariencia visual como componentes clave en la evaluación global de la calidad sensorial de las aceitunas fermentadas.

El Factor 2 explicó el 14,79 % de la varianza y puso de manifiesto una relación inversa entre la calidad del color y los atributos de firmeza, específicamente dureza y crujiente. Este comportamiento sugiere que un mayor grado de madurez del fruto favorece una coloración más intensa, pero se asocia con una disminución de la firmeza, lo cual responde a un proceso fisiológico propio de la aceituna.

El Factor 3, que explicó el 14,04 % de la varianza total, estuvo dominado por los atributos gustativos, los cuales mostraron una relación inversa con la predisposición de compra. Este resultado indica que niveles excesivos de amargor, acidez o salinidad influyen negativamente en la intención de compra del producto, aun cuando el resto de los atributos sensoriales se mantengan dentro de rangos aceptables. De manera particular, en este estudio se observó una relación directa entre amargor y acidez, comportamiento que parece ser característico del proceso de fermentación de la aceituna Criolla y que difiere de lo reportado en otros cultivares, donde dicha relación tiende a ser inversa y se atenúa con el aumento de la madurez del fruto.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En todos los tratamientos experimentados, el pH final fue similar, alrededor de 3,6, lo que sugiere que la adición de ácido al inicio y las condiciones aeróbicas no tuvieron una influencia significativa. En cuanto a la acidez (% de ácido láctico), al final de la fermentación todos los tratamientos se estabilizaron entre 1 y 1,3 %, lo que se correlaciona con los valores de pH. Estos resultados están directamente relacionados con el incremento de las BAL, ya que producen ácido láctico, lo que acidifica aún más la salmuera. La cantidad de BAL fue similar en ambos fondos, alcanzando valores similares al final de la fermentación: en el fondo WP, los valores quedaron entre 2,4 y 3,4 log UFC/mL, siendo superiores los tratamientos con aireación; mientras que en el fondo YG todos los tratamientos se mantuvieron alrededor de 2,8 log UFC/mL.

En la investigación de Medina et al. (2020), que utilizó aceitunas de la variedad Empeltre, se encontró que, tras 7 y 9 meses de fermentación, solo había presencia de levaduras y que solo en algunos tratamientos encontraron BAL. Esto se atribuyó a la concentración de sal, que se mantuvo al 6 %, mientras que una concentración del 8 % inhibía el crecimiento de BAL. En contraste, a los 4 meses que duró el estudio aproximadamente, en todos los tratamientos de ambos fondos, el nivel de sal superaba el 8 %, y aun así se encontró tanto BAL como levaduras, además de mohos; por lo que se intuye que aún hay fuentes de carbono aprovechables en la salmuera para la proliferación de BAL en el periodo estudiado.

Es probable que la presencia de BAL en todos los tratamientos, con una evolución y cantidad similares, así como el comportamiento uniforme del pH, se deba a las altas concentraciones de sal al inicio de los tratamientos. Juárez-Romero et al. (2015), quienes trabajaron con aceitunas de la variedad Arauco, encontraron que los tratamientos con aireación y una concentración inicial de NaCl del 2 % redujeron su pH más rápidamente durante los primeros 20 días, en comparación con los tratamientos con aireación y un 9 % de NaCl. Esto se atribuye a un mayor crecimiento de BAL, que acidifican la salmuera más rápidamente. Por otro lado, De Castro et al. (2007) indican que las BAL son difíciles de encontrar en soluciones de aceitunas que nos son tratadas previamente con NaOH, por lo que la acumulación de azúcar en la salmuera y la temperatura favorecen el crecimiento de éstas, en su investigación encuentran BAL a partir de los 7 meses en su tratamiento con aireación.

La fluctuación de NaCl durante toda la fermentación en los dos fondos (Figura 8) muestra que, hasta aproximadamente los primeros 60 días, la concentración de sal

disminuyó en todos los tratamientos. Esto se debe a la absorción de NaCl por la pulpa de la aceituna, un proceso que, según Juárez-Romero et al. (2015), no es predecible, ya que depende del volumen y la humedad de la aceituna, el grado de permeabilidad de los tejidos de la pulpa y la capacidad de esta para liberar o absorber solutos.

En cuanto al contenido de CO<sub>2</sub>, los tratamientos en ambos fundos alcanzaron un nivel máximo entre los 15 y 45 días de fermentación. Según Álvarez et al. (2014), el contenido de CO<sub>2</sub> en la salmuera aumenta durante los primeros días de fermentación debido a la respiración de los frutos y la actividad microbiana. Posteriormente, la sal que ingresa a la pulpa inhibe la respiración de los frutos, lo que provoca una disminución notable del CO<sub>2</sub> en la salmuera. La aireación reduce aún más esta disminución. Como se observa en la Figura 9, la fluctuación del CO<sub>2</sub> en los tratamientos del fundo WP sigue el patrón descrito, alcanzando un contenido máximo de alrededor de 80 mg CO<sub>2</sub>/100 ml en los primeros días. Posteriormente, la disminución del CO<sub>2</sub> hasta el final de la fermentación fue menor en los tratamientos con aireación, situándose entre 7,7 y 11 mg CO<sub>2</sub>/100 ml.

Clavijo et al. (2013) reportaron un comportamiento similar, donde en el primer mes de fermentación los valores de CO<sub>2</sub> se mantuvieron entre 80 y 50 mg CO<sub>2</sub>/100 ml, descendiendo luego a niveles de 15 a 30 mg CO<sub>2</sub>/100 ml. Sin embargo, en el fundo YG no se registró un aumento máximo de CO<sub>2</sub>, salvo en el tratamiento control (TA); los tratamientos con aireación mantuvieron concentraciones inferiores a 40 mg CO<sub>2</sub>/100 ml durante toda la fermentación.

La cantidad de enterobacterias varió entre los dos fundos y entre los tratamientos. Durante toda la fermentación, en el fundo WP se detectaron enterobacterias en el tratamiento TA a los 15 días (6,2 Log ufc/mL) y a los 45 días (5 Log ufc/mL), mientras que en el tratamiento AS solo se encontraron a los 80 días (3 Log ufc/mL). En el fundo YG, las enterobacterias se detectaron únicamente en los tratamientos TA y AS a los 45 días (5,5 Log ufc/mL) y a los 80 días (3 Log ufc/mL), respectivamente, y en el tratamiento AA solo al final de la fermentación (3 Log ufc/mL). Según Clavijo et al. (2013), las enterobacterias se desarrollan en condiciones de pH superiores a 4,5. En sus estudios, solo las encontraron en los primeros días de fermentación y señalaron que la aireación favorece su crecimiento.

## CONCLUSIONES

La aplicación de aireación influye significativamente en el proceso de fermentación de la aceituna negra de mesa en La Yarada, Tacna. Aunque los parámetros finales de pH ( $\approx 3,6$ ) y acidez ( $\approx 1,2\%$ ) son similares al método tradicional, la tecnología de aireación modifica de manera sustancial la dinámica del proceso, principalmente al controlar la concentración de gases disueltos y alterar el comportamiento de las poblaciones microbianas, lo que la posiciona como una alternativa tecnológica viable para optimizar la producción.

Se determinó que existen diferencias clave en la evolución de los parámetros fisicoquímicos entre el proceso con aireación y el tradicional. La diferencia más notable fue la drástica reducción del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) disuelto en la salmuera de los tratamientos con aire, alcanzando niveles finales entre 7 y 11 mg/100 ml, en comparación con los 24 a 52 mg/100 ml del método tradicional. Esta reducción es fundamental, ya que minimiza el riesgo de defectos asociados a la formación de gas, como el "alambrado", sin afectar negativamente los valores finales de Ph y acidez, que se mantuvieron dentro de los rangos esperados para una correcta conservación del producto.

Se demostró que la aireación influye en el comportamiento microbiano durante la fermentación. Si bien ambos procesos (tradicional y con aireación) permitieron el desarrollo de las poblaciones deseadas de bacterias ácido-lácticas (BAL) y levaduras, se observaron diferencias en sus dinámicas de crecimiento. Además, la presencia esporádica de enterobacterias varió entre tratamientos, sugiriendo que las condiciones aerobias alteran el ecosistema microbiano de la salmuera. Esto indica que la aireación no inhibe la fermentación láctica esencial, pero sí modifica el entorno, lo que puede ser una herramienta para dirigir el perfil microbiológico del proceso.

La aplicación de aireación en la fermentación tiene el potencial de influir en las características sensoriales de la aceituna negra de mesa. Al modificar la concentración de  $\text{CO}_2$  y la actividad microbiana, es probable que se generen perfiles de sabor y textura distintos a los del método tradicional. Aunque el producto final mantiene los parámetros fisicoquímicos clave, la reducción de la acidez volátil y la prevención de defectos en la textura podrían resultar en un producto con mayor aceptabilidad en mercados que prefieren sabores menos ácidos y una textura más firme.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda a los productores de aceituna negra de mesa de La Yarada-Los Palos implementar la tecnología de fermentación con aireación controlada como una estrategia efectiva para reducir las mermas asociadas a defectos por formación de gases (“alambrado”). Dado que la investigación demostró una disminución significativa de CO<sub>2</sub>, esta técnica representa una mejora directa sobre el proceso tradicional para aumentar la rentabilidad.

Al adoptar el método de aireación, es crucial establecer un protocolo de monitoreo riguroso de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Ph, acidez, y recuentos de BAL y levaduras) durante las primeras semanas de fermentación. Como se observó que la aireación altera la dinámica microbiana, un seguimiento constante permitirá asegurar que el proceso se desarrolle de manera estable y se alcancen las condiciones óptimas para la calidad y seguridad del producto final.

Se recomienda realizar estudios complementarios de evaluación sensorial con paneles de consumidores locales y de exportación. Esto permitirá cuantificar objetivamente la aceptabilidad del sabor, aroma y textura de las aceitunas fermentadas con aireación y compararlas con las del método tradicional. Dicha información será de gran valor para ajustar el proceso y alinear las características del producto final con las preferencias específicas de cada mercado, validando así su potencial comercial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agraria. (2021). *Tacna concentra el 81.4% de las áreas de aceituna que existen en Perú*. <https://agraria.pe/noticias/tacna-concentra-el-81-4-de-las-areas-de-aceituna-que-existen-26124>
- Álvarez, D. M. E., López, A., y Lamarque, A. L. (2014). Industrial improvement for naturally black olives production of Manzanilla and Arauco cultivars: Industrial improvement of naturally black olives. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 106–115. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00751.x>
- Asqui, E. J. (2016). *Análisis de las limitaciones para la exportación de aceituna de mesa en envases destinados al consumo en la empresa agroindustrias Olivepack S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/74>
- Banco Central de Reserva del Perú [BCRP]. (2023). *Caracterización del departamento de Tacna*. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Arequipa/tacna-caracterizacion.pdf>
- Bioincuba. (2015). *Cambiando el Sabor de la Aceituna para abrir nuevos mercados, fermentación aerobia para la aceituna negra natural en la empresa Biondi y Cia de Tacna*. <https://acortar.link/44N1I5>
- Chata, Y. Y. y Mamani, A. G. (2022). *Sustitución parcial de cloruro de sodio por cloruro de potasio y características sensoriales de aceitunas negras al natural envasadas* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2636>
- Clavijo, C. V. (2021). *Propuesta de un método de fermentación aplicando microorganismos nativos y cloruro de sodio para manipular la acidez de la aceituna negra natural* [Tesis de maestría, Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1820>
- Clavijo, C., Garragate Rospigliosi, W., Gallegos Arata, M., Lanchipa Sepúlveda, P., y Villalobos Ochoa, C. (2013). Efecto de la aireación y la concentración de cloruro sódico en el desarrollo de la flora microbiana y en los parámetros fisicoquímicos en la fermentación de *Olea europaea* L. c.v. Sevillana al estilo negras naturales en la zona de La Yarada-Tacna. *Grasas y aceites*, 64(3), 320–327. <https://doi.org/10.3989/gya.131212>

- CODEX. (1981). *Norma del Codex para las Aceitunas de Mesa*.  
[https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/marco/Codex\\_Alimentarius/normativa/codex/stan/66-1987.PDF](https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/marco/Codex_Alimentarius/normativa/codex/stan/66-1987.PDF)
- Consejo Oleícola Internacional [COI]. (2021). *Método para el análisis sensorial de aceitunas de mesa COI/OT/MO n.º 1/Rev. 3*. Madrid, España.  
<http://www.internationaloliveoil.org>
- Consejo Oleícola Internacional. (2004). *Norma Comercial aplicable a las aceitunas de mesa*. <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/COI-OT-NC1-2004-Esp.pdf>
- De Castro, A., García, P., Romero, C., Brenes, M., y Garrido, A. (2007). Industrial implementation of black ripe olive storage under acid conditions. *Journal of Food Engineering*, 80(4), 1206–1212. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.09.010>
- Díaz- Herrera, R., Aguilar-Zarate, P., Buenrostro-Figueroa, J.J., Prado-Barragán, A., Ascacio, J.A., y Aguilar, C.N (2020). Influencia de la aireación forzada y la densidad de empaque sobre la producción de elagitanasa por fermentación en estado sólido. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 14(23), 17-21. <https://acortar.link/tqdqfX>
- Durán, M.C., García-García, P., Garrido, A. (1986). Fermentación en medio aeróbico de aceitunas maduras en salmuera con inyección alternante de Aire. Estudio de la influencia de la adición de cloruro cálcico sobre la textura. *Grasas Aceites* 37, 242–247.
- Feldman, S. R. (2005). Sodium Chloride. En *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Fernández, J., Garrido, A., García, P., Brenes, M., y Durán, M. C. (1992). Características del proceso fermentativo durante la conservación de aceitunas de la variedad Hojiblanca, destinadas a la elaboración del tipo negras. *Grasas y aceites*, 43(4), 212–218. <https://doi.org/10.3989/gya.1992.v43.i4.1153>
- Ferreyra, M., Schwab, M., Davies, C., Gerard, L., y Hours, R. (2012). Influencia del caudal de aire, temperatura y velocidad de agitación en el proceso discontinuo de acetificación para la obtención de vinagre de naranja (*Citrus sinensis* var.W. Navel). *Scientia Agropecuaria*, 3(1), 61-65.  
<https://www.redalyc.org/pdf/3576/357633701008.pdf>

- Frazier, W. C., y Westhoff, D. C. (1993). *Microbiología de los alimentos*. Editorial Acribia SA. <https://iestpcabana.edu.pe/wp-content/uploads/2021/11/Microbiologia-De-Los-Alimentos.pdf>
- García, P., Brenes, M., Romero, C., y Garrido, A. (1995). Respiration and physicochemical changes of harvested olive fruits. *J Hort Sci*, 70, 925-933
- García, P., Durán, M.C., y Garrido, A. (1986). Envasado de aceitunas negras al natural fermentadas en medio aeróbico. *Grasas y Aceites*, 37, 95-96.
- Garrido, A., Durán, M.C., y García, P. (1987). Fermentación en medio aeróbico de aceitunas negras al natural en salmuera. Efecto de algunas variables sobre la formación de "alambrado". *Grasas y Aceites*, 38, 27-32.
- Garrido, A., Fernández, M., & Adams, M. (1997). *Tables Olives*.
- Garrido, A., García, P., y Sánchez, F. (1985). Nuevo proceso aeróbico de fermentación de aceitunas negras al natural en salmuera. Optimización de la columna de aireación. *Alimentación, Equipos y Tecnología IV*, 169-174.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2021). *Aireación de aceitunas negras al natural*. <https://www.argentina.gob.ar/inta/aireacion-de-aceitunas-negras-al-natural>
- Juarez-Romero, J. A., Denoya, G., y Polenta, G. (2015). Influence of alternating air injection on the color and "alambrado" of natural black olives cv. Arauco, as compared with the traditional Argentine method. *Grasas y aceites*, 66(2), e070. <https://doi.org/10.3989/gya.0946142>
- López, G. (2020). *Fermentación de poda de olivo con microorganismos inmovilizados para la obtención de bioetanol* [Tesis de maestría, Universidad de Cádiz]. <https://rodin.uca.es/handle/10498/23316>
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., y Parker, J. (2003). *Brock Biología de los Microorganismos*.
- Medina, E., García-García, P., Romero, C., de Castro, A., y Brenes, M. (2020). Aerobic industrial processing of Empeltre cv. natural black olives and product characterisation. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(2), 534–541. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14282>
- Mercacei. (2023). *Perú define los requisitos de calidad para las aceitunas*. <https://www.mercacei.com/noticia/58700/actualidad/peru-define-los-requisitos-de-calidad-para-las-aceitunas-de-mesa.html>

- Miranda, J. S. (2019). *Factores que intervienen en la contaminación del suelo por aguas residuales del proceso de fermentación de aceitunas verdes estilo sevillana en el distrito de La Yarada los Palos, región de Tacna, 2017* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann Tacna]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3495>
- Ordoñez, A. L. (2021). *Procesado de Aceitunas*. <https://fcai.uncuyo.edu.ar/catedras/material-de-estudio-ii.pdf>
- Parra, R. A. (2010). Bacterias ácido lácticas: papel funcional en los alimentos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(1), 93-105. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v8n1/v8n1a12.pdf>
- Poquis, H. J. (2023). *Efecto de dos sistemas de aireación en tres densidades de siembra en la etapa de crecimiento en el cultivo de gamitana (Colossoma macropomum Cuvier, 1816), provincia Rodríguez de Mendoza, Amazonas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/3335>
- Rejano, L., y Sánchez, A. H. (1996). Utilización de glutamato sódico en el envasado de aceitunas verdes aderezadas. Efecto sobre las características químicas y el sabor. *Grasas y aceites*, 47(4), 255–259. <https://doi.org/10.3989/gya.1996.v47.i4.867>
- Robles, R. (2021). *Condiciones óptimas del proceso de fermentación alcohólica del jugo de la Cabuya Azul (Agave Americana), empleando cepas de levadura Saccharomyces cerevisiae* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/9414face-4e32-4038-ac5d-b2e6d311f755>
- Rodríguez-Gómez, F., Gallegos-Arata, M., Ayca-Llanos, E. A., Ramírez, E., Romero-Gil, V., Pomareda-Angulo, S. S., Espinoza-Villalobos, L. E., & Romero, C. (2025). Influence of aerobic fermentation on the quality of natural black Criolla olives. *Food Bioscience*, 74(107966), 107966. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.107966>
- Romero, C., Brenes, M., García, P., García, A., y Garrido, A. (2004). Polyphenol changes during fermentation of naturally black olives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(7), 1973–1979. <https://doi.org/10.1021/jf030726p>
- Sampieri, H., Collado, F., y Baptista. (2014). *Metodología de la investigación*.

- Sánchez Gómez, A. H., García García, P., & Rejano Navarro, L. (2006). Elaboration of table olives. *Grasas y aceites*, 57(1). <https://doi.org/10.3989/gya.2006.v57.i1.24>
- Serna, M. A. (2021). *Estudio de la fermentación como pretratamiento para la mejora de las propiedades antioxidantes de polvos de tallo de brócoli* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/entities/publication/06e33b49-5c87-4b5f-841c-08fdd161294d>
- SilosMengo. (2023). *Ventilación*. <https://www.silosmengo.com.ar/productos/ventilacion>
- Universidad de Castilla la Mancha. (2021). *Aireación en Fermentadores y Transferencia de Oxígeno*. <https://www.studocu.com/es/document/universidad-de-castilla-la-mancha/enzimologia/tema-5-aireacion-de-fermentadores/22183822>
- Valsecchi, J. (2020). *Degradación de efluentes líquidos provenientes del maquinado de aceitunas mediante oxidación biológica llevada a cabo con la utilización de microorganismos nativos del efluente* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cuyo]. <https://bdigital.uncu.edu.ar/15565>

**ANEXOS**

### Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿Cómo la aplicación de aireación influye en la fermentación de la aceituna negra sevillana, en la Yarada Tacna, 2023?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Determinar si la aplicación de aireación influye en la fermentación de la aceituna negra sevillana, en la Yarada Tacna, 2023.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>La aplicación de aireación influye en la fermentación de la aceituna negra sevillana, en la Yarada Tacna, 2023.</p>	<p>Variable Independiente: "Aplicación de aireación"</p> <p>1. Procedencia (2 proveedores)</p> <p>2. La aplicación del ácido.</p>	<p>1. Tipode investigación: Aplicada</p> <p>2. Diseño de investigación: Experimental</p>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <p>¿Cómo es la evolución de los parámetros fisicoquímicos (pH, acidez, contenido de Dióxido de Carbono), con la aplicación de aireación en la aceituna negra sevillana, de la Yarada Tacna?</p> <p>¿Cómo es el comportamiento microbiológico durante la fermentación con la aplicación de aireación de la aceituna negra sevillana, en la Yarada Tacna?</p> <p>¿Cómo afecta sensorialmente la aplicación de aire en la aceituna ya fermentada de la aceituna negra sevillana, en la Yarada Tacna?</p>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>Determinar si hay diferencias en la evolución de los parámetros fisicoquímicos, con aplicación de aire y el proceso tradicional de la aceituna negra sevillana, en la Yarada Tacna.</p> <p>Determinar si hay diferencias en el comportamiento microbiano, con aplicación de aire y el proceso tradicional de la aceituna negra sevillana, en la Yarada Tacna.</p> <p>Determinar si hay diferencias sensoriales entre el proceso tradicional y con aplicación de aire de la aceituna negra sevillana, en la Yarada Tacna.</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>La aplicación de aireación influye en la evolución de los parámetros fisicoquímicos de la aceituna negra sevillana, en la Yarada Tacna.</p> <p>La aplicación de aireación influye en el comportamiento microbiano, con aplicación de aire y el proceso tradicional de la aceituna negra sevillana, en la Yarada Tacna.</p> <p>La aplicación de aire durante la fermentación no afecta la aceptabilidad sensorial de la aceituna negra sevillana, en la Yarada Tacna.</p>	<p>Variable Dependiente: "Fermentación de la aceituna"</p> <p>1. Unidades de pH</p> <p>2. % de ácido láctico</p> <p>3. % de Cloruros</p> <p>4. MI de CO2 en 100 ml de salmuera</p> <p>5. Ufc de Bacterias ácido lácticas</p> <p>6. Ufc de Levaduras y mohos.</p> <p>7. Ufc de Enterobacterias</p> <p>8. Aceptabilidad</p>	<p>3. Nivel de investigación: Explicativa</p> <p>4. Población: La experimentación se realiza en dos fundos ubicados en la Yarada Los Palos. Se tiene como muestra de estudio 3 experimentos con dos réplicas cada uno, totalizando 12 ensayos</p> <p>5. Muestra: Se tomará como muestra al 100% de la población por ser pequeña.</p> <p>6. Técnicas: Análisis de resultados.</p> <p>7. Instrumentos: Ficha de análisis.</p>

## Anexo 2: Registro fotográfico del proceso fermentativo y análisis

**Proceso productivo y fermentativo de la aceituna negra Sevillana:** El procedimiento inicia con la cosecha y selección del fruto en campo, considerando su estado de madurez y coloración previa al procesamiento. Posteriormente, se muestra la manipulación del fruto, que incluye la evaluación visual y el corte transversal para verificar su integridad y condiciones internas. A continuación, se observa la colocación de las aceitunas en salmuera dentro de recipientes y tanques de fermentación, donde el proceso se desarrolla bajo condiciones controladas. La formación de espuma y los cambios en el medio fermentativo evidencian la actividad microbiana y la liberación de gases. Finalmente, se aprecia el producto fermentado, resultado de las transformaciones fisicoquímicas y sensoriales ocurridas durante la fermentación.



**Procedimientos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos:** Se observa la preparación de medios de cultivo, la manipulación aséptica de muestras y la realización de diluciones seriadas, necesarias para el recuento microbiológico. Asimismo, se documentan los procedimientos de siembra en placas, incubación y posterior observación del crecimiento microbiano, incluyendo bacterias ácido-lácticas, levaduras y mohos. El uso de instrumentos de medición y equipos de laboratorio permite el control de parámetros como pH, acidez y otros indicadores del proceso fermentativo. Estos procedimientos constituyen la base para el análisis del comportamiento microbiano y la evaluación de la calidad del producto durante las distintas etapas de fermentación.

