

Universidad Autónoma de Chiriquí

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas

Escuela de Biología

Licenciatura en Biología con énfasis en Microbiología

**Evaluación de la presencia de *Escherichia coli* como indicador de
contaminación fecal en *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach en Chiriquí,**

Panamá

Presentado por:

Ashley Katsumi Araúz Miranda, CIP 4-810-491

Asesor principal:

Msc. Luis González

Co – asesores:

Msc. Javier De León

Msc. Giselle Urriola

Anteproyecto de tesis para optar por el título de licenciatura en Biología

con énfasis en Microbiología

2026

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios; a Él sea toda la gloria, honra y poder. Doy gracias a Dios por brindarme la fortaleza y perseverancia necesarias, y por enseñarme a ser valiente y esforzada para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

Agradezco a mi esposo, Jonathan Cigarruista, quien me acompañó durante toda mi etapa universitaria, primero como mi novio y hoy como mi esposo, por su amor, apoyo incondicional, paciencia y constante motivación para no rendirme y seguir adelante.

A mis padres, Jorge Araúz e Ingrid Miranda, y a toda mi familia, les expreso mi más sincero agradecimiento por su apoyo, comprensión y por creer en mí aun en los momentos más difíciles de mi carrera universitaria.

De manera muy especial, agradezco a mi amigo y hermano Randy Mitchell y Carlos Villarreal, por creer en mí, motivarme constantemente y apoyarme a lo largo de la carrera universitaria hasta la culminación de este trabajo.

Agradezco a mi asesor Luis González, MSc., por su apoyo incondicional, guía, dedicación y confianza durante el desarrollo de este trabajo. Sus observaciones y consejos fueron clave para alcanzar los objetivos propuestos.

A los docentes y asistentes del Departamento de Microbiología, en especial al Dr. Orlando Cáceres y a la Lic. Dayra Icaza, les agradezco por los conocimientos brindados durante la realización de la metodología; su enseñanza tuvo un impacto significativo en mi formación académica y personal.

De manera especial, agradezco a la bibliotecaria Rosa Navarro Sánchez, por su valiosa ayuda en la búsqueda de información para el desarrollo de este trabajo, así como por su constante motivación y apoyo, los cuales fueron de ayuda.

Agradezco a la empresa Agrícola Panaven, S.A. por permitir el acceso a sus instalaciones y facilitar la recolección de muestras para su análisis. Asimismo, agradezco al ingeniero Gregorio Cabrera por su valioso apoyo y por compartir sus conocimientos sobre el proceso de crecimiento y manejo de los champiñones.

Finalmente, agradezco al profesor Javier de León por compartir generosamente sus conocimientos, por su confianza, dedicación y haberme tenido mucha paciencia, gracias por motivarme en todo momento a culminar esta importante etapa, siendo de gran apoyo para mí.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios Padre, a Jesucristo y al Espíritu Santo, mi mejor amigo, quien me ha acompañado a lo largo de toda mi vida; a Él corro cuando no tengo a donde ir.

A mi abuela, Andrea Saira, quien fue como una madre para mí, fue una guía en mi vida; su amor, apoyo constante, consejos y enseñanzas fueron valiosos y hoy permanecen vivos en mi corazón, siendo fundamentales en mi formación personal.

A mi esposo, Jonathan Cigarruista, mi mejor amigo y compañero de vida, por su amor, paciencia y apoyo incondicional.

A mis hermanos, Dean Araúz, Reishel Araúz y Bethel Araúz, por su cariño y apoyo.

A mis profesores, amigos y compañeros, quienes me apoyaron y alentaron para continuar cuando todo se podía tornar difícil.

Finalmente, dedico este logro a mis padres, a mi abuela Rosa que hoy sigue acompañándome con su amor, y a la memoria de mi abuela Andrea Saira, quien partió hace años, pero cuyo legado permanece vivo al haberme enseñado y a otros su valentía y fe en Cristo.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	2
DEDICATORIA	4
ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
CAPÍTULO I.....	12
1. MARCO INTRODUCTORIO	13
1.1 INTRODUCCIÓN	13
1.2 ASPECTOS GENERALES DEL PROBLEMA.....	14
1.3 HIPÓTESIS.....	15
1.4 OBJETIVO GENERAL	16
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.6 ALCANCE DEL TRABAJO.....	16
1.7 LIMITACIONES.....	16
1.8 JUSTIFICACIÓN.....	17
CAPÍTULO II.....	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 GENERALIDADES.....	20
2.2 ¿Qué son los hongos?	20
2.3 Estructura y características fisiológicas	21
2.4 Hábitat y condiciones de cultivo	23
2.5 Composición química y valor nutricional	24
2.6 Importancia económica y alimentaria.....	28
2.7 Proceso de cultivo y puntos críticos de contaminación	28
2.8 Manejo poscosecha y vida útil.....	30
2.9 Indicadores microbiológicos de contaminación.....	31
2.10 Riesgos de <i>E. coli</i> y su impacto en la inocuidad alimentaria	32

2.11	Normativas y sistema de control (BPM, HACCP, Codex).....	34
2.11.1	Buenas prácticas de manufactura (BPM)	34
2.11.2	Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP)	
	34	
2.11.3	Codex Alimentarius.....	35
2.11	Estudios microbiológicos en hongos comestibles (Internacionales y en Panamá).....	36
CAPÍTULO III.....		39
3	MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1	Obtención del material biológico	40
3.2	Preparación de la muestra madre.....	40
3.3	Diluciones y siembra en placa.....	40
3.4	Aislamientos en medios selectivos.....	41
3.5	Pruebas bioquímicas.....	41
CAPÍTULO IV		42
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
4.1	Resultados del muestreo general	43
4.2	Recuento de coliformes totales (UFC/g) por el método vertido en placa.	
	43	
4.3	Análisis microbiológicos de <i>Escherichia coli</i> en champiñones: poscosecha y producto terminado.....	48
4.4	Identificación de otras especies bacterianas por medio de pruebas bioquímicas	51
5	CONCLUSIONES	55
6	RECOMENDACIONES.....	56
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
1.	ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional de <i>A. bisporus</i> (100 g de peso fresco).	26
Tabla 2. Vitaminas y minerales presentes <i>A. bisporus</i> (100 g de peso fresco)...	27
Tabla 3. Diseño de muestreo y distribución de muestras analizadas.	43
Tabla 4. Recuento microbiológico en champiñones poscosecha (UFC/g).....	44
Tabla 5. Recuento microbiológico del producto final de champiñones Portobello.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A) <i>A. bisporus</i> (Araúz, 2024) B) <i>A. bisporus</i> var. <i>brunnescens</i> (Araúz, 2024) C) Estructura de un hongo provisto de pie y sombrero (Montenegro & Stuardo, 2021).	23
Figura 2. Comparación del recuento microbiano en champiñones poscosecha blancos y Portobello (UFC/g), donde se evidencia una mayor variabilidad y recuentos más altos en los champiñones Portobello.....	45
Figura 3. Distribución comparativa de muestras positivas y negativas para <i>E. coli</i> en champiñones blancos y Portobello poscosecha.	49
Figura 4. Distribución comparativa de muestras positivas y negativas para <i>E. coli</i> en champiñones blancos y Portobello como producto terminado.	50
Figura 5. Distribución porcentual de los géneros bacterianos identificados en champiñones blancos poscosecha mediante pruebas bioquímicas.	52
Figura 6. Distribución porcentual de los géneros bacterianos identificados en champiñones Portobello poscosecha mediante pruebas bioquímicas.	53
Figura 7. Procedimiento de muestreo de champiñones en la empresa productora, realizado en el área de cultivo durante la etapa de poscosecha, utilizando equipo de protección personal y técnicas asépticas para evitar la contaminación de las muestras.	63
Figura 8. Conservación de muestras de champiñones durante el muestreo en la empresa productora.....	63
Figura 9. Preparación y organización de los materiales de laboratorio utilizados para el análisis microbiológico de las muestras.....	64
Figura 10. Esterilización de los materiales microbiológicos.....	64
Figura 11. Preparación de los medios para el análisis microbiológico	64

Figura 12. Procedimiento de preparación y análisis microbiológico de las muestras en laboratorio.	65
Figura 13. Procedimiento de siembra en placas Petri utilizando el método de vertido en placa para el recuento microbiológico de las muestras.	65
Figura 14. Preparación de diluciones seriadas.	65
Figura 15. Muestras de champiñones (<i>Agaricus bisporus</i>) en bolsas plásticas estériles, como parte del procedimiento de muestreo previo al análisis microbiológico.	65
Figura 16. Conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) mediante el método de vertido en placa.	66
Figura 17. Aislamiento bacteriano en medios selectivos (EMB y MacConkey) mediante el método de estrías en placa.	66
Figura 18. Re-siembra bacteriana para la obtención de cultivos puros	66
Figura 19 . Pruebas bioquímicas para la identificación de otras enterobacterias y Gram negativas presentes.	66
Figura 20. (A) Placas correspondientes a diferentes diluciones seriadas; (B) placas con distribución de colonias tras la incubación; (C) apilamiento y rotulación de placas Petri preparadas para el conteo; (D) placa representativa utilizada para el recuento de colonias bacterianas.	67
Figura 21. Aislamientos bacterianos obtenidos en agar EMB obtenidos a partir de muestras de champiñones blancos poscosecha. Las placas numeradas del 1 al 12 presentaron crecimiento bacteriano sin presencia de brillo metálico correspondiente a resultados negativos para <i>E. coli</i>	69
Figura 22. Aislamientos bacterianos obtenidos en agar EMB a partir de muestras de champiñones Portobello en poscosecha. Las Figuras 4, 8 y 10 presentaron crecimiento con características típicas de <i>E. coli</i> , mientras que las demás placas no mostraron rasgos compatibles con este microorganismo.	71
Figura 23. Aislamientos bacterianos en agar EMB obtenidos a partir de muestras de producto final de champiñones blancos. Las Figuras 2 y 3 evidencian crecimiento con características presuntivas de <i>E. coli</i> , en contraste con la Figura 1, que resultó negativa.	72
Figura 24. Aislamientos bacterianos en agar EMB obtenidos a partir de muestras de producto final de champiñones Portobello. Las Figuras 2 y 3 evidencian	

crecimiento con características presuntivas de *E. coli*, en contraste con la Figura 1, que resultó negativa..... 73

Figura 25. (A) Resultados de pruebas bioquímicas en tubos, evidenciando diferentes reacciones metabólicas; (B) disposición del material y medios utilizados para la realización de las pruebas bioquímicas en el laboratorio; (C) procedimiento de inoculación de los aislamientos bacterianos en los medios bioquímicos, realizado bajo condiciones de asepsia; (D) reacciones finales obtenidas en los distintos medios bioquímicos, utilizadas para la identificación presuntiva de otras enterobacterias y bacterias Gram negativas presentes en las muestras de champiñones..... 74

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la presencia de *Escherichia coli* como indicador de contaminación fecal en dos variedades de *Agaricus bisporus* (J.E Lange) Imbach (champiñón blanco y Portobello), en las etapas de poscosecha y producto terminado, con el objetivo de contribuir a la inocuidad alimentaria en Panamá.

Agaricus bisporus es el hongo comestible de mayor consumo a nivel mundial y existe información limitada sobre su calidad microbiológica en el país; por ello, se realizó la cuantificación de coliformes totales y la detección de *E. coli* mediante métodos microbiológicos. Los recuentos de coliformes totales en poscosecha se encontraron principalmente en rangos de 10^4 a 10^6 UFC/g en ambas variedades, observándose valores más homogéneos en champiñones blancos y mayor variabilidad en Portobello. En la evaluación de *Escherichia coli*, la mayoría de las muestras analizadas en la etapa de poscosecha resultó negativa, detectándose este microorganismo únicamente en algunas muestras de champiñones Portobello. En el producto terminado, se evidenció un incremento en la frecuencia de resultados positivos para *E. coli* en ambas variedades y la mayoría de las muestras no presentaron recuentos cuantificables debido a cargas microbianas elevadas. Estos resultados evidencian que la contaminación por *E. coli* no es común en la etapa de poscosecha; sin embargo, puede aumentar durante el procesamiento y la manipulación del producto terminado.

PALABRAS CLAVES: Champiñones; coliformes fecales; contaminación de alimentos; coliformes totales; poscosecha; producto terminado; *Escherichia coli*; inocuidad alimentaria.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the presence of *Escherichia coli* as an indicator of fecal contamination in two varieties of *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach (white button mushroom and Portobello), at the post-harvest and finished product stages, to contribute to food safety in Panama.

Agaricus bisporus is the most widely consumed edible mushroom worldwide, and there is limited information about its microbiological quality in the country. Therefore, the quantification of total coliforms and the detection of *E. coli* were carried out using microbiological methods. Total coliform counts at the post-harvest stage were mainly found in ranges of 10^4 to 10^6 CFU/g in both varieties, with more homogeneous values observed in white mushrooms and greater variability in Portobello. The evaluation of *Escherichia coli* showed that most samples analyzed at the post-harvest stage were negative, with this microorganism detected only in some Portobello samples. In the finished product, an increase in the frequency of positive results for *E. coli* was observed in both varieties, and most samples did not present quantifiable counts due to high microbial loads. These results show that contamination by *E. coli* is not common at the post-harvest stage; however, it may increase during processing and handling of the finished product.

KEYWORDS: Mushrooms; fecal coliforms; food contamination; total coliforms; postharvest; finished product; *Escherichia coli*; food safety.

CAPÍTULO I

1. MARCO INTRODUCTORIO

1.1 INTRODUCCIÓN

Los hongos son organismos importantes en diversos procesos industriales y domésticos (Usman et al., 2021). Se emplean en la producción de alimentos como queso, cerveza, vino y pan, y cumplen con una función ecológica fundamental al descomponer la materia orgánica, contribuyendo al reciclaje de nutrientes en los ecosistemas (Usman et al., 2021; Cepero de García, 2012; Ardón, 2007). Además, su valor nutricional y medicinal ha impulsado un incremento en su consumo, debido a sus beneficios para la salud y su versatilidad culinaria (Boa, 2005; Gariboldi et al, 2023).

Entre las especies comestibles, el champiñón blanco [*Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach] es la especie de hongo comestible más popular y consumida en el mundo. Su popularidad se debe a su perfil nutricional, que incluye proteínas de alta calidad, carbohidratos, fibras dietéticas, ácidos grasos insaturados, vitaminas (B1, B2, B6, C y provitamina D2) y minerales como el potasio, zinc y selenio (Muszyńska, et al., 2017; Usman, Murtaza, & Ditta, 2021). Además, contiene metabolitos bioactivos como ergothioneína y compuestos fenólicos asociados con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas, hipocolesterolémicas y antidiabéticas (Gariboldi et al, 2023; Atila et al., 2017; Muszyńska et al., 2017).

En Panamá, la producción de hongos comestibles ha demostrado un crecimiento sostenido en los últimos años, impulsada por la aceptación en el mercado local y la tendencia hacia dietas más saludables (Beitia, 2019). Sin embargo, este alimento presenta características intrínsecas como el elevado contenido de agua, pH neutro y ausencia de estructuras protectoras externas que hacen susceptible a la contaminación microbiológica (Öncül, & Çiftçi, 2023; Venturini et al., 2011).

Uno de los principales riesgos es la presencia de *Escherichia coli*, bacteria que habita normalmente en el tracto intestinal de animales y humanos, y se considera un indicador microbiológico de contaminación fecal (Feng et al., 2020). Su presencia en alimentos frescos constituye un riesgo importante para la salud pública (WHO, 2018; Samadpour et al., 2006).

Es fundamental implementar estrictos protocolos de higiene y seguridad alimentaria en todas las etapas de producción. La evaluación microbiológica asegura la calidad e inocuidad, siendo importantes para proteger la salud de los consumidores y garantizar la sostenibilidad y competitividad de la industria de producción de hongos comestibles (Samadpour et al., 2006; Venturini et al., 2011; Abou-Zeid, 2012). Aunque Panamá cuenta con normativas generales sobre la inocuidad alimentaria –basadas en Buenas Prácticas de Manufactura (BPM); Procedimientos Operativos Estándar de Saneamiento (POES) y sistema de HACCP–, son escasos los estudios científicos que aborden la calidad microbiológica del champiñón (*A. bisporus*) producido localmente. Es fundamental realizar investigaciones que permitan desarrollar parámetros microbiológicos específicos para hongos comestibles en Panamá, garantizando la seguridad del consumidor.

1.2 ASPECTOS GENERALES DEL PROBLEMA

El consumo de los hongos comestibles frescos ha aumentado significativamente en los últimos años, debido a sus beneficios nutricionales y su versatilidad culinaria (Gariboldi et al., 2023; Brennan et al., 2000). No obstante, este incremento plantea riesgos importantes relacionados con la inocuidad alimentaria. Durante su cultivo, los hongos pueden contaminarse con microorganismos patógenos, incluyendo bacterias, hongos y virus, lo que puede ocasionar enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) (Guan et al., 2012). Los hongos cultivados son vulnerables a la contaminación bacteriana en todas las fases de producción, desde la preparación del sustrato hasta la manipulación poscosecha y producto terminado (Venturini et al., 2011).

La evaluación de la calidad microbiológica de los hongos comestibles es importante, junto con otros parámetros de calidad como textura y el color (Ergönül et al., 2018). Este análisis cobra relevancia porque la mayoría de los hongos frescos se comercializan inmediatamente después del envasado, sin pasar por procesos de lavado y desinfección, lo que incrementa el riesgo de contaminación (Ergönül et al., 2018). Por lo tanto, producir setas de alta calidad no es una tarea sencilla.

Además de los riesgos microbiológicos, la vida útil de los hongos depende de muchos factores como el tipo de empaque, las condiciones de manejo poscosecha y del producto final, ya que son productos perecederos sensibles a las condiciones ambientales (Beitia, 2019). En Panamá, las altas temperaturas y la humedad afectan tanto el transporte como el almacenamiento, reduciendo la vida útil y aumentando el riesgo de deterioro.

Dentro de los microorganismos de mayor interés sanitario asociados a los alimentos frescos, *Escherichia coli* es usada como indicador microbiológico de contaminación fecal y de deficiencias en las prácticas de higiene durante la producción y manipulación de alimentos (Feng et al., 2020; Guan et al., 2012). Aunque la mayoría de las cepas de *E. coli* son inofensivas, su presencia en alimentos frescos sugiere posibles fallas en el saneamiento y puede indicar la presencia de otros patógenos de origen entérico (Feng et al., 2020; WHO, 2018; Samadpour et al., 2006). En el caso de los hongos comestibles, la contaminación por *E. coli* puede ocurrir en diversas etapas incluyendo el manejo del sustrato, el riego, la cosecha, la manipulación poscosecha y la comercialización del producto terminado (Venturini et al., 2011; Guan et al., 2012).

La detección de *E. coli* en productos hortícolas y fúngicos no solo permite evaluar la inocuidad alimentaria, sino también la eficacia de las prácticas de higiene durante la producción, cosecha, poscosecha y producto terminado (Guan et al., 2012). En Panamá, la evaluación microbiológica de hongos frescos ha sido escasamente abordada, lo que limita la disponibilidad de datos sobre su inocuidad. Esta falta de información representa un desafío para garantizar la seguridad alimentaria y subraya la necesidad de investigaciones que permitan establecer parámetros microbiológicos específicos para la producción nacional.

1.3 HIPÓTESIS

Ho: No existe diferencia significativa en la presencia de *Escherichia coli* entre las muestras poscosecha y producto terminado de *Agaricus bisporus*.

Ha: Existe diferencia significativa en la presencia de *Escherichia coli* entre las muestras poscosecha y producto terminado de *Agaricus bisporus*.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la presencia de *Escherichia coli* como indicador de contaminación fecal en muestras de *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach en Chiriquí, Panamá.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el recuento microbiológico de coliformes totales en muestras de *A. bisporus* mediante técnicas de vertido en placa.
- Detectar la presencia de *E. coli* en muestras poscosecha y producto terminado utilizando medios selectivos.
- Análisis estadísticos.

1.6 ALCANCE DEL TRABAJO

Este proyecto está enfocado en evaluar la presencia de *E. coli* como indicador de contaminación fecal en *A. bisporus* en la etapa poscosecha y en el producto terminado. Durante el proceso de cosecha se generan productos con características no aptas para su comercialización en estado fresco; por ello, el presente estudio busca brindar información más detallada sobre posible contaminación fecal sobre *E. coli*, considerando este microorganismo de importancia clínica por su prevalencia y riesgos que representan para la salud del consumidor.

1.7 LIMITACIONES

- El acceso a las instalaciones de la empresa productora y la aprobación de permisos.
- La empresa productora trabaja únicamente con especies de *A. bisporus*, lo que impidió comparar los resultados obtenidos con otra especie de hongo comestible.
- La distancia y la disponibilidad de transporte hasta el laboratorio de análisis microbiológicos.
- La disponibilidad limitada de recursos y equipamiento de laboratorio no permitió la aplicación de técnicas confirmatorias adicionales, como pruebas bioquímicas avanzadas o métodos moleculares, que habrían permitido una identificación más precisa de *E. coli*.

1.8 JUSTIFICACIÓN

En Panamá se ha observado un cambio gradual en el consumo de hongos enlatados, donde se está prefiriendo cada vez más hongos frescos comestibles debido a su mayor aporte nutricional (Gran País, 2025). Esta tendencia ha impulsado la producción de hongos frescos comestibles cultivados en el país, convirtiéndose en una alternativa rentable para los agricultores panameños (Vega & De León, 2020). Dicho avance ha sido posible gracias a los esfuerzos de la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI), a través del Centro de Investigaciones en Recursos Naturales (CIRN), y del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) y empresas dedicadas a la producción y comercialización (Vega & De León, 2020). Este cambio ha permitido que tanto panameños como extranjeros accedan a esta valiosa fuente de nutrientes, generando además la apertura de numerosos restaurantes y comercios que ofrecen setas frescas para su degustación, satisfaciendo así la creciente demanda y diversificando las opciones gastronómicas.

A nivel global, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que cada año 600 millones de personas enferman y 420 000 mueren por consumir alimentos contaminados, lo que representa una carga significativa para la salud pública y económica (WHO, 2024). Las frutas, hortalizas y hongos frescos pueden contaminarse con microorganismos, ya que suelen ser consumidos crudos con un procesamiento mínimo. La FAO y la OMS han identificado contaminantes como *E. coli* (incluyendo cepas productoras de toxina Shiga), *Salmonella* spp. y *Listeria monocytogenes* como riesgos prioritarios en productos frescos, debido a su asociación con brotes alimentarios y consecuencias graves para la salud (FAO & WHO, 2023).

Según Öncül & Çiftçi (2023), las setas frescas, por su alta humedad y manipulación durante la cosecha, son susceptibles a la contaminación por microorganismos, lo que reduce su vida útil y afecta parámetros de calidad como textura y color. Esta vulnerabilidad se debe a que los hongos presentan una estructura porosa y un elevado contenido de agua, lo que crea condiciones favorables para el crecimiento bacteriano y fúngico. Además, la recolección

manual y la exposición a condiciones ambientales durante la poscosecha incrementan el riesgo de contaminación cruzada (Martínez Bárcena, 2019).

Por lo tanto, esta investigación busca generar información científica sobre la presencia de *E. coli* como indicador de contaminación fecal en hongos frescos producidos en el país. Los resultados podrán ser utilizados para fortalecer los protocolos de higiene y control en la producción, contribuir a implementar las buenas prácticas agrícolas y de manufacturas, y garantizar la calidad del producto final para los consumidores.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES

2.2 ¿Qué son los hongos?

Por mucho tiempo, los hongos fueron considerados un tipo de plantas “sin flores” y se agruparon junto a organismos como las algas, musgos y helechos; sin embargo, las estructuras y funciones del hongo son totalmente distintas a las de las plantas (Montenegro & Stuardo, 2021). Fue hasta 1969 que Whittaker propuso una clasificación más precisa, en la que los hongos se ubicaron en un reino propio: el Reino Fungi o de los Hongos (Cepero de García, 2012).

Los hongos son organismos eucariotas que se diferencian de las plantas y los animales por su morfología y su manera de vivir (Piepenbring, 2015). Son heterótrofos y actúan como uno de los principales recicladores del medio ambiente, ya que descomponen sustratos orgánicos en carbono y minerales durante su proceso de obtención de nutrientes (Piepenbring, 2015).

Su estructura básica está compuesta por hifas, filamentos que se agrupan formando una red llamada micelio, la cual puede desarrollarse sobre diversos sustratos como el suelo, la madera o materia orgánica en descomposición (Piepenbring, 2015). Además, pueden reproducirse sexual y asexualmente mediante esporas, lo que les permite adaptarse a diferentes condiciones ambientales (Cepero de García, 2012). De acuerdo con sus características y propiedades químicas, los hongos se clasifican en tres grandes grupos: comestibles, no comestibles y venenosos (Öncül & Çiftçi, 2023).

Algunos hongos generan distintos tipos de asociaciones mediante relaciones con otros organismos vivos, como plantas y animales. Estas interacciones pueden ir desde asociaciones benéficas, como simbiosis entre las raíces de los árboles y hongos en micorrizas, o entre hongos y algas en los líquenes, hasta relaciones perjudiciales, como plagas o enfermedades que afectan a los otros seres vivos (Montenegro & Stuardo, 2021; Piepenbring, 2015; Cepero de García, 2012).

A pesar de que se han descrito miles de especies, se estima que solo una pequeña parte de la diversidad fúngica ha sido estudiada. Esa diversidad incluye desde microorganismos como las levaduras hasta hongos más complejos como setas y champiñones. Entre ellos, *Agaricus bisporus* es el hongo más popular cultivado a nivel mundial que abarca variedades como el champiñón blanco y portobello, que se comercializan frescos o en conserva; y forman parte habitual de la dieta (Boa, 2005; Piepenbring, 2015).

El género *Agaricus* es uno de los grupos más grandes de macrohongos, que incluye varias especies comestibles con altos valores nutricionales y medicinales (Zhang et al., 2017). *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach, conocido como champiñón blanco o champiñón de botón, pertenece a la familia *Agaricaceae*. Esta especie se comercializa principalmente a través de cultivos industriales y es ampliamente valorada por su sabor y aroma (Sánchez et al., 2007; Muszyńska et al., 2017). Este hongo lidera la producción mundial de hongos cultivados y se ha visto un aumento constante en su producción y consumo durante las últimas seis o siete décadas (Usman et al., 2021).

2.3 Estructura y características fisiológicas

Los hongos son organismos complejos que presentan una notable diversidad de estructuras, tanto macroscópicas como microscópicas, que pueden desempeñar funciones somáticas o de reproducción (Cepero de García, 2012). Entre estas estructuras, destacan los carpóforos o cuerpos fructíferos, visibles a simple vista, que intervienen en la reproducción del hongo (Boa, 2005).

El micelio constituye el cuerpo vegetativo del hongo, erróneamente asociado con la raíz de las plantas (Montenegro & Stuardo, 2021). Está formado por una red de hifas, filamentos microscópicos que se desarrollan en el interior del sustrato y permiten la absorción de nutrientes (Kuhar, Castiglia & Papinutti, 2013). A partir de este micelio se forma el cuerpo fructífero o setas, que es la estructura utilizada en la gastronomía. Estas estructuras están compuestas por filamentos densamente agrupados, especialmente en el sombrero del hongo, desde donde se producen y liberan las esporas. La forma, color y disposición de estas esporas permiten identificar las especies (Boa, 2005; Beitia, 2019).

Dentro de este grupo, el género *Agaricus* se compone de especies muy populares, recolectadas o cultivadas cuyo interés no es solamente alimenticio, representa cerca del 40% de la producción y consumo mundial de hongos comestibles (Sánchez & Royse, 2007).

Una de sus características más distintivas es el píleo o sombrero, que constituye la parte más carnosa del hongo. Presenta una forma globosa, textura lisa y de color blanco, y puede alcanzar hasta los 9 cm de diámetro según la edad, aunque comercialmente se prefieren tamaños menores. En la cara inferior del píleo se encuentra el himenio, formado por laminillas dispuestas radialmente, que son rosadas al inicio y se tornan pardas o negras al madurar, indica la formación de esporas. El velo está constituido por un conjunto de células flexibles que protegen el himenio y las esporas durante el desarrollo. Al madurar, el velo se rasga, dejando un anillo en el estípite, el cual es la parte cilíndrica que sostiene el sombrero y conecta con el micelio, el cual se extiende en el sustrato (Carrillo et al., 2007; Ardón López, 2007; Cepero de García, 2012). Dentro de las variedades de *A. bisporus* se encuentra el Portobello, caracterizado por el píleo grande, abierto y de color café, que puede alcanzar hasta 15 cm de diámetro. El sombrero abierto indica que parte de la humedad se ha evaporado, lo que concentra y enriquece su sabor, creando una textura densa y carnosa. Por otro lado, el Cremini es la misma especie en una etapa inicial de crecimiento. Es similar en apariencia al champiñón blanco, pero posee un sombrero café y textura firme, con un sabor más profundo y denso (Petruzzello, 2024).



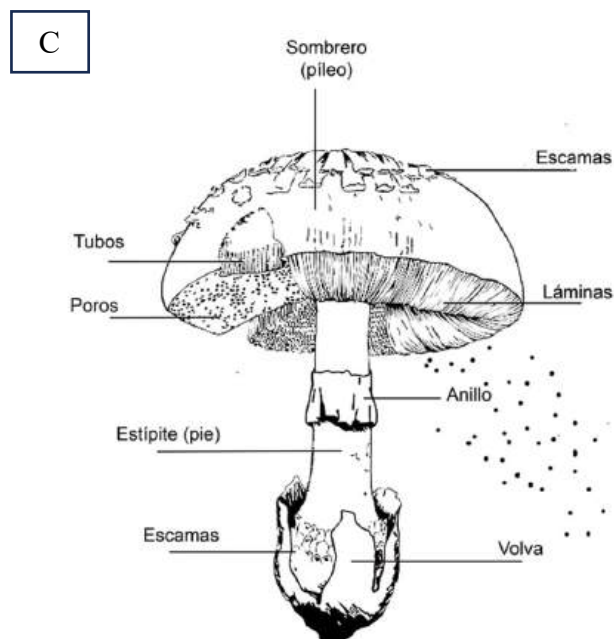


Figura 1. A) *A. bisporus* (Araúz, 2024) **B)** *A. bisporus* var. *brunnescens* (Araúz, 2024) **C)** Estructura de un hongo provisto de pie y sombrero (Montenegro & Stuardo, 2021).

2.4 Hábitat y condiciones de cultivo

El champiñón es un hongo saprófito que se desarrolla sobre materia orgánica en descomposición, especialmente en sustratos ricos en nutrientes como estiércol y restos vegetales. En su hábitat natural, este hongo se encuentra en suelos húmedos y sombreados donde la temperatura y la humedad son estables, estas

condiciones favorecen la colonización del micelio y la posterior formación de cuerpos fructíferos (Cepero de García, 2012; Ardón López, 2007).

El desarrollo óptimo de *A. bisporus* está estrechamente ligado a factores ambientales como temperatura, la humedad relativa, la duración y el pH del sustrato. El micelio presenta un crecimiento adecuado en ambientes con temperaturas moderadas y alta humedad, mientras que la fructificación requiere del control más estricto de las condiciones ambientales para producir la formación de primordios y cuerpos fructíferos de buena calidad (Ardón López, 2007; Torras et al., 2011)

A partir del conocimiento y de su ecología natural, el cultivo de champiñones ha sido adaptado a sistemas artificiales que producen y optimizan estas condiciones. Tradicionalmente, el cultivo se realizaba en espacios subterráneos como cuevas o minas, donde la ausencia de luz, la humedad constante y la estabilidad térmica favorecen su desarrollo. En la actualidad, algunos productores, aunque utilicen estos sistemas, la mayor parte de la producción de *A. bisporus* se llevan a cabo en instalaciones con ambientes controlados (Royse, 2007; Ardón López, 2007; Cruz Romero et al., 2012).

Los sistemas de cultivos modernos permiten regular de manera precisa las condiciones como la temperatura, humedad relativa, la concentración de dióxido de carbono y la ventilación (Royse, 2007). Este control ambiental resulta esencial para garantizar un crecimiento uniforme del micelio, una fructificación eficiente y una producción estable, aspectos fundamentales en la producción de hongos comestibles destinados al consumo humano (Royse, 2007; Ardón López, 2007; Cruz Romero et al., 2012).

2.5 Composición química y valor nutricional

Las setas constituyen una excelente fuente de selenio y aportan micronutrientes esenciales como potasio y el fósforo, que son fundamentales para el metabolismo humano (Usman et al, 2021; Beitia, 2019). Además, presentan propiedades antioxidantes y asociados con propiedades anticancerígenas (Atila et al., 2017; Beitia, 2019). Su contenido de polisacáridos, que oscila entre el 3 y el 5 %,

favorece el fortalecimiento del sistema inmunológico. Asimismo, son ricas en proteínas, fibra, minerales y vitaminas, destacando las del grupo B, la vitamina D y oligoelementos como el zinc (Beitia, 2019).

Dentro de este grupo, *A. bisporus*, se destaca por su amplia aceptación a nivel mundial y por presentar una composición química que lo posiciona como un alimento de elevado valor nutricional y funcional (Dimopoulou et al., 2022; Atila et al., 2017). El contenido nutricional de *A. bisporus* no es constante, sino que se encuentra influenciado por diversos factores, entre los que destacan su origen silvestre o cultivado, el tipo de sustrato empleado, la composición del medio de crecimiento (el contenido de humedad y materia orgánica) y las condiciones de manejo durante el cultivo y la poscosecha. Estas variables inciden directamente en la concentración de macronutrientes, micronutrientes y compuestos bioactivos presentes en el hongo, lo que explica la variabilidad reportada en distintos estudios científicos (Dimopoulou et al., 2022; Usman et al., 2021; Atila et al., 2017).

Desde el punto de vista nutricional, *A. bisporus* se caracteriza por su bajo contenido calórico y de grasas, la ausencia de colesterol y un elevado porcentaje de agua, que supera el 90 % del peso fresco. No obstante, presentan cantidades moderadas de proteínas, carbohidratos y fibra dietética. El contenido proteico de *A. bisporus* oscila entre 2.95 y 3.7% del peso fresco, valor superior al de la mayoría de las hortalizas, con proteínas de fácil asimilación, lo que lo convierte en una alternativa adecuada para personas con dificultades en la digestión de la carne o que siguen una dieta con restricción de productos de origen animal (Dimopoulou et al., 2022; Usman et al., 2021; Atila et al., 2017; Ardón López, 2007; Vedder, 1996).

A. bisporus aporta aproximadamente 27 kcal por cada 100 g de peso fresco, características que lo hacen especialmente recomendable en dietas hipocalóricas o destinadas a la pérdida de peso (Atila et al., 2017). En cuanto a su composición vitamínica, constituye una fuente importante de vitaminas del complejo B, como tiamina (B1), niacina (B3), riboflavina (B2) y ácido pantoténico (B5), así como de vitamina C, Provitaminas D2 y biotina. También presentan un contenido relevante de ácido fólico, el cual contribuye a la prevención de anemia, así como aportes

moderados de hierro, que complementan su valor nutricional (Dimopoulou et al., 2022; Usman et al, 2021).

Respecto a los minerales, aunque no se caracterizan por una elevada concentración total, aportan una amplia variedad, destacando el fósforo, el magnesio y el potasio; adicionalmente, su contenido de selenio le confieren propiedades antioxidantes de importancia para la salud humana (Dimopoulou et al., 2022; Usman et al., 2021). Diversos estudios indica que la composición nutricional de *A. bisporus* puede variar en función del sustrato de cultivo y de las condiciones de producción, lo que influye directamente en la concentración de nutrientes y compuestos bioactivos. Debido a estas características, este hongo es considerado una alternativa nutricional favorable frente a las proteínas de origen animal y un componente relevante dentro de una dieta saludable (Usman et al., 2021; Atila et al., 2017; Ardón López, 2007; Vedder, 1996).

Tabla 1. Composición nutricional de *A. bisporus* (100 g de peso fresco).

COMPONENTE	CONTENIDO	UNIDAD	NOTA
ENERGÍA	22-27	kcal	Muy bajo en calorías.
AGUA	90-92	g	Fuente de proteína vegetal completa.
PROTEÍNAS	2.95-3.7	g	Fuente de proteína vegetal completa.
GRASAS TOTALES	0.2-0.5	g	Muy bajo en grasa
CARBOHIDRATOS	3.0-5.0	g	Incluye fibra dietética.
FIBRAS DIETÉTICAS	1.0-2.5	g	Fibra soluble.

AZÚCARES	1.5-2.0	g	Tiene muy poco azúcar
COLESTEROL	0	mg	es naturalmente libre de colesterol

Fuentes: Dimopoulou et al., 2022; Usman et al., 2021; Atila et al., 2017.

Tabla 2. Vitaminas y minerales presentes *A. bisporus* (100 g de peso fresco).

VITAMINA	CONTENIDO	UNIDAD
TIAMINA (B1)	0.08 – 0.10	mg
RIBOFLAVINA	0.40 – 0.45	mg
NIACINA	3.5 – 4.0	
ÁCIDO PANTOTÉNICO (B5)	1.4 – 1.6	mg
VITAMINA C	2.0 – 3.0	mg
BIOTINA (B7)	16 – 25	µg
ERGOSTEROL (PROVITAMINA D2)	Variable	mg

MINERAL	CONTENIDO	UNIDAD
POTASIO	300-320	mg
FÓSFORO	80-100	mg
MAGNESIO	8-10	mg
HIERRO	0.3 – 0.5	mg
ZINC	0.4 -0.6	mg
SELENIO	9-15	µg

Fuentes: Dimopoulou et al., 2022; Usman et al, 2021; Atila et al., 2017.

2.6 Importancia económica y alimentaria

Los champiñones y otros hongos comestibles representan un componente de creciente relevancia tanto en la alimentación humana como en la economía global (Beitia, 2019). Su cultivo se caracteriza por requerir poca superficie y presentar un ciclo de producción corto, lo que favorece la generación de empleo y el desarrollo económico (Schilla et al., 2025). El mercado mundial de hongos ha experimentado un crecimiento significativo de 57.180 millones de dólares en el 2022 a aproximadamente 62.440 millones de dólares en 2023, lo que representa una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) cercana al 9%, evidenciando su dinamismo y elevado potencial económico a nivel internacional (Deb, 2024). Las proyecciones indican que este continuará su trayectoria ascendente, alcanzando un valor estimado de 90.880 millones de dólares para el año 2027, con una TCAC cercana al 9,8% (GlobeNewswire, 2023).

A nivel comercial, países como Polonia, China, Países Bajos y Canadá lideran las exportaciones, generando cientos de millones de dólares anuales, mientras que en Estados Unidos la producción superó los 1,09 mil millones de dólares en ventas durante la última campaña, lo que confirma su relevancia dentro del sector agropecuario (GlobeNewswire, 2023; Deb, 2024).

Desde el punto de vista alimentario, el aumento en el consumo de champiñones se ha relacionado con una creciente concientización sobre la importancia de mantener una dieta saludable (Martinez, 2019). Estos alimentos destacan por su bajo contenido calórico y de grasas, así como por su elevado valor nutricional, lo que los convierte en una opción atractiva para una alimentación equilibrada (Dimopoulou et al., 2022; Usman et al., 2021; Atila et al., 2017).

2.7 Proceso de cultivo y puntos críticos de contaminación

El proceso de cultivo de *A. bisporus* se ha desarrollado a partir del conocimiento empírico y científico de su ecología natural y de las condiciones ambientales que favorecen su crecimiento. El cultivo del champiñón tiene sus orígenes en Francia en el año 1650. En esa época agricultores dedicados al melón notaron que los champiñones crecían de forma espontánea sobre compost usado, provenientes de camas calientes de cultivos de melón. Observaron que la aplicación de agua utilizada para lavar estiércol favorecía la aparición de cuerpos fructíferos, lo que

evidenció la importancia de la materia orgánica y la humedad en el desarrollo (Cruz Romero et al., 2012; Royse & Schisler, 1980; Vedder, 1966).

En la década de 1780, Chambry, un jardinero francés, observó que *A. bisporus* podía desarrollarse en ausencia de luz y que las cuevas ofrecían condiciones óptimas para su producción. Este descubrimiento impulsó el traslado del cultivo del champiñón a minas subterráneas previamente excavadas para la extracción de yeso y materiales de construcción, las cuales proporcionaban ventajas significativas frente al cultivo al aire libre, como la estabilidad térmica, elevada humedad y protección frente a variaciones climáticas, estas condiciones favorecían: el crecimiento del micelio y la formación de cuerpos fructíferos (Royse, 2007).

El cultivo moderno de *A. bisporus* se basa en un sistema tecnificado que permite reproducir y optimizar dichas condiciones ambientales necesarias para su desarrollo. El ciclo de producción inicia con la preparación del compost, etapa considerada como uno de los principales puntos críticos de contaminación microbiológica debido al uso de estiércol y residuos orgánicos (Contò et al., 2019). Este proceso se desarrolla en dos fases diferenciadas: la Fase I, en la cual se realiza la mezcla y humectación de los componentes para activar la fermentación microbiana; y la Fase II, donde el compost es sometido a un proceso de pasteurización y regulación del contenido de amonio, con el objetivo de obtener un sustrato selectivo y adecuado para el crecimiento (Contò et al., 2019; Royse, 2007; Ardón López, 2007).

Se lleva a cabo la siembra y la incubación, etapa durante la cual el micelio coloniza el compost bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y concentración de dióxido de carbono. El proceso continúa con la suplementación proteica y la aplicación de la tierra cobertura práctica que estimula la formación de primordios y favorece el inicio de la fructificación (Royse, 2007; Ardón López, 2007).

La producción se realiza en oleadas sucesivas denominadas cortes, con intervalos aproximados de siete días, observándose una disminución progresiva del rendimiento después del segundo corte. A lo largo de estas etapas, el riego y la

manipulación del cultivo requiere de un control riguroso del ambiente interno, mediante la regulación de la temperatura, la humedad y la ventilación, con el fin de garantizar la calidad del producto y minimizar el riesgo de contaminación microbiológica (Royse, 2007; Ardón López, 2007).

2.8 Manejo poscosecha y vida útil

El manejo poscosecha de *A. bisporus* es fundamental para conservar su calidad e inocuidad, ya que presentan una vida útil corta debido a su alto contenido de agua (80–90 %), pH cercano a la neutralidad y elevada actividad metabólica, condiciones que favorecen el crecimiento de microorganismos (Brennan, Le Port & Gormley, 2000; Öncül & Çiftçi, 2023). Estas características limitan su vida útil poscosecha a pocos días si no se aplican medidas adecuadas de control. Además, estudios recientes confirman su vulnerabilidad al pardeamiento, la deshidratación y pérdida de firmeza, asociada a la ausencia de tejidos protectores y su intensa actividad metabólica (Deng et al., 2025).

El manejo poscosecha comienza en el momento de la cosecha y comprende prácticas orientadas a preservar la calidad e inocuidad del producto. La recolección debe realizarse de forma manual y cuidadosa para evitar daños mecánicos, ya que las lesiones facilitan la contaminación microbiana y acelera el deterioro. Asimismo, la higiene personal de los utensilios y de los envases es fundamental para reducir la carga microbiana inicial (Ardón López, 2007).

Una vez cosechados los hongos deben mantenerse a baja temperatura y con alta humedad relativa, condiciones que permiten disminuir la respiración y la pérdida de agua y el desarrollo de microorganismos. El uso de envases adecuados y una ventilación controlada contribuye a retardar el deterioro fisiológico y mantener la firmeza y el color del producto (Ardón López, 2007).

Bajo condiciones óptimas de manejo poscosecha, la vida útil de los hongos frescos puede extenderse entre 5 y 10 días, dependiendo de la especie, las condiciones de almacenamiento y el nivel de higiene adecuado durante la cadena productiva. Sin embargo, en ausencia de controles adecuados su deterioro puede reducirse en un periodo mucho más corto (Ardón López, 2007; Deng et al., 2025).

A diferencia de otros productos frescos, los estudios sobre el perfil microbiológico de hongos son limitados. Sin embargo, se ha demostrado que las prácticas de cosecha, manipulación, almacenamiento y venta influyen directamente en el crecimiento microbiano, afectando parámetros de calidad como la textura, el color y la inocuidad del producto (Ergönül et al., 2018; Öncül, & Çiftçi, 2023).

2.9 Indicadores microbiológicos de contaminación

Los microorganismos indicadores se definen como aquellos organismos cuya presencia, ausencia o nivel poblacional refleja el estado microbiológico general de un alimento o del entorno en el que se encuentra (Stevens et al., 2020). En el cultivo de *A. bisporus*, estos indicadores son fundamentales para asegurar la inocuidad, calidad sanitaria y estabilidad microbiológica del producto.

Entre los indicadores microbiológicos más importantes se encuentran los aerobios mesófilos, las enterobacterias, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp., los cuales señalan contaminación fecal, deficiencias en las prácticas de higiene del proceso, uso de agua contaminada o manejo inadecuado durante la cosecha y postcosecha (Sánchez et al., 2007; Venturini et al., 2011; Muñoz Sepúlveda, Giraldo Trujillo & Muriel Otalvaro, 2023). Su presencia constituye un riesgo para la salud pública, ya que algunos representan patógenos reconocidos de transmisión alimentaria.

Diversos estudios han señalado que la evaluación de la calidad microbiológica basada exclusivamente en microorganismos indicadores puede resultar insuficiente para garantizar la inocuidad del producto. Investigaciones realizadas en hongos comestibles comercializados en mercados y supermercados detectaron *Listeria monocytogenes* en muestras que no presentaban una correlación directa con niveles de bacterias mesófilo-aerobias u otros grupos indicadores cuantificados, lo que evidencia la necesidad de complementar estos análisis con la búsqueda específica de patógenos de importancia en la salud pública (Payán, 2023).

Estudios regionales han mostrado deficiencias en la aplicación de buenas prácticas en la producción de hongos. En México, por ejemplo, se identificó que una proporción considerable de productores no cumple completamente los

lineamientos de inocuidad, y aunque los recuentos de mesófilos, mohos y levaduras en *Pleurotus* y *Agaricus* se mantuvieron dentro de límites aceptables, se detectaron fallas en etapas clave como la recepción de materia prima, siembra y poscosecha. Estos hallazgos subrayan la necesidad de fortalecer los puntos críticos de control para asegurar la calidad microbiológica del producto (Martínez Bárcena, 2019).

En el contexto particular del cultivo de *A. bisporus*, los hongos filamentosos del género *Trichoderma* constituyen un indicador microbiológico de importancia, debido a su capacidad de competir por nutrientes, colonizar el sustrato y provocar la degradación del micelio del hongo cultivado (Rinker, 2007). Su proliferación se relaciona con fallas en la pasteurización del compost, condiciones ambientales inadecuadas o deficiencias en el control sanitario del área de cultivo (Ardón López, 2007; Martínez Barcena, 2019).

La identificación y cuantificación de estos indicadores permite evaluar la eficacia de los tratamientos térmicos del compost, el manejo del agua y las condiciones sanitarias durante la producción, contribuyendo a la reducción de riesgos para la salud del consumidor y a la disminución de pérdidas económicas en la industria de setas comestibles.

2.10 Riesgos de *E. coli* y su impacto en la inocuidad alimentaria

Escherichia coli es una bacteria gramnegativa perteneciente a la familia *Enterobacteriaceae* y al grupo de los coliformes fecales, los cuales forman parte del microbiota intestinal normal de humanos y animales de sangre caliente (Bayona, 2009; FAO, 2014; Miranda Chavarría, 2017). Históricamente, en 1892, Shardingger propuso el uso de *E. coli* como indicador de contaminación fecal, debido a su estrecha asociación con el tracto intestinal, su presencia en alimentos es ampliamente utilizada como indicador de contaminación fecal y de deficiencias en las condiciones higiénico-sanitarias durante la producción, manipulación y comercialización de los alimentos (Feng et al., 2002; Bayona, 2009; FAO, 2014; Miranda Chavarría, 2017).

Aunque, la mayoría de las cepas de *E. coli* son inofensivas, existen variantes patógenas capaces de provocar enfermedades transmitidas por alimentos [ETA] (Feng et al., 2002; FAO, 2014; OMS, 2018). Entre las más relevantes se encuentran *E. coli* enterotoxigénica (ETEC), enteropatógena (EPEC), entero invasiva (EIEC), enterohemorrágica (EHEC), destacándose esta última por su capacidad de producir toxinas Shiga, responsables de cuadros clínicos graves como colitis hemorrágica y síndrome urémico hemolítico, especialmente en niños, adultos mayores y personas inmunocomprometidas (FAO, 2014; OMS, 2018). Estas cepas patógenas se encuentran en el excremento de diversos animales y se han asociadas a múltiples brotes de enfermedades transmitidas por alimentos contaminados, incluidos productos frescos destinados al consumo directo (FAO, 2014; OMS, 2018).

La presencia de *Escherichia coli* en hongos comestibles, como *A. bisporus*, constituye un importante riesgo para la inocuidad alimentaria, ya que evidencia posibles fallas en las prácticas de higiene durante la producción, cosecha y manejo poscosecha de los alimentos (LaBorde, 2007; Martínez Barcena, 2019). En el cultivo de *A. bisporus*, el riesgo de contaminación por *E. coli* está estrechamente relacionado con el uso de compost elaborado a partir de estiércoles, materiales orgánicos y residuos agrícolas, los cuales pueden actuar como reservorios naturales de este microorganismo si no se someten a tratamientos térmicos adecuados durante el proceso de pasteurización (LaBorde, 2007; Venturini et al., 2011). Asimismo, el riesgo asociado al agua contaminada y el contacto directo de producto con superficies o manos contaminadas durante la cosecha incrementa la probabilidad de transferencia bacteriana al cuerpo fructífero del hongo (LaBorde, 2007; Guan et al., 2012).

Las características fisicoquímicas de los champiñones frescos, tales como su elevada actividad de agua, pH cercano a la neutralidad y textura porosa, facilitan la adhesión y supervivencia de *E. coli* durante el almacenamiento y la comercialización, especialmente cuando el productor se mantiene a temperatura ambiente (Öncül & Çiftçi, 2023). Estas condiciones hacen que los hongos frescos sean altamente susceptibles a la contaminación microbiológica (Öncül & Çiftçi, 2023).

2.11 Normativas y sistema de control (BPM, HACCP, Codex)

La inocuidad de los hongos comestibles requiere la aplicación de sistemas de control que garanticen la inocuidad, la calidad microbiológica y la trazabilidad del producto final. Entre los principales sistemas utilizados a nivel internacional se encuentran las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), el sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) y las directrices para establecimientos del Codex Alimentarius (FAO, 2014; Martínez Bárcena, 2019). Estos sistemas son ampliamente adoptados en la industria alimentaria, ya que son fundamentales para prevenir la contaminación química, física y microbiológica a lo largo del proceso productivo.

2.11.1 Buenas prácticas de manufactura (BPM)

Las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) son fundamentales para garantizar la inocuidad de los hongos comestibles. Establecen condiciones de higiene, limpieza, control de procesos y manejo adecuado durante la producción, almacenamiento y distribución. Su correcta aplicación permite prevenir la contaminación microbiológica, especialmente por las bacterias como *Escherichia coli*, que puede introducirse a través de prácticas deficiencias de higiene del personal, agua contaminada o superficies inadecuadamente desinfectadas (Stevens et al., 2020).

En la producción de hongos, la implementación de estas prácticas no solo reduce el riesgo de contaminación por *e.coli*, sino que también disminuye pérdidas productivas y mejora la calidad del producto final, facilitando el acceso a certificaciones internacionales y garantizando alimentos seguros para el consumidor (Martínez Bárcena, 2019).

2.11.2 Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP)

El sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) es un enfoque preventivo que permite identificar, evaluar y controlar peligros en la cadena alimentaria (Awuchi, 2023). Su aplicación en la producción de hongos comestibles implica el control de etapas clave como la pasteurización del compost, la calidad del agua, la higiene durante la cosecha y la cadena de frío (Martínez Bárcena, 2019). Además, mejorar la inocuidad, su aplicación no solo fortalece la

inocuidad del producto, sino que también aporta beneficios adicionales, entre ellos la simplificación de las labores de inspección realizadas por las autoridades regulatorias y el impulso al comercio internacional, al incrementar la confianza en la seguridad y la calidad sanitaria de los alimentos (Awuchi, 2023; Soler-Rivas & Reglero, 2012).

Este sistema contribuye a prevenir la contaminación por *E. coli* asociada a materias primas contaminadas, agua no potable o prácticas inadecuadas de manipulación (Awuchi, 2023; Soler-Rivas & Reglero, 2012). El establecimiento de puntos críticos de control, límites aceptables, monitoreo continuo y acciones correctivas permite reducir la presencia de este microorganismo. Como resultado, se mejora la inocuidad del producto final y se garantiza un alimento seguro para el consumidor (Martínez Bárcena, 2019).

2.11.3 Codex Alimentarius

El Codex Alimentarius, desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), establece normas, directrices y códigos de prácticas internacionales orientados a proteger la salud del consumidor y asegurar prácticas equitativas en el comercio de alimentos (Codex Alimentarius, 2015). Este conjunto normativo incluye lineamientos sobre higiene de los alimentos y criterios microbiológicos que sirven como referencia para que los países establezcan sus propias regulaciones en materia de inocuidad alimentaria (Codex Alimentarius, 2015).

En el caso de productos frescos y mínimamente procesados, el Codex Alimentarius reconoce a *E. coli* como un microorganismo indicador de higiene y de posible contaminación fecal, por lo que recomienda su monitoreo para evaluar la eficacia de las medidas de control a lo largo de la cadena productiva (Codex Alimentarius, 2015; FDA, 2013). Este indicador permite identificar fallas en prácticas sanitarias, en la calidad del agua y en la manipulación del producto.

Aunque no existen normas específicas para los hongos comestibles frescos, el Codex establece principios generales de higiene aplicables a alimentos de origen vegetal. Estos lineamientos sirven como base para evaluar la calidad

microbiológica y la inocuidad de los hongos, con énfasis en el control de microorganismos indicadores como *E. coli*.

Entre las principales disposiciones se encuentran los Principios Generales de Higiene de los Alimentos (CXC 1-1969, revisado en 2020) y el Código de Prácticas de Higiene para las Frutas y Hortalizas Frescas (CXC 53-2003), los cuales recomiendan la aplicación de buenas prácticas a lo largo de toda la cadena productiva y el monitoreo de microorganismos indicadores para verificar la eficacia de las medidas de control implementadas (Codex Alimentarius Commission, 2003; Codex Alimentarius Commission, 2020).

2.12 Estudios microbiológicos en hongos comestibles (Internacionales y en Panamá)

Diversos estudios internacionales han evaluado la calidad microbiológica de hongos comestibles, tanto cultivados como silvestres, evidenciando que estos productos pueden representar un riesgo para la inocuidad alimentaria si no se manejan bajo condiciones higiénicas adecuadas. En la provincia de Muğla, Turquía, se evaluó la calidad higiénica microbiana de las setas comestibles silvestres frescas que se venden al público, observándose que la mayoría de las muestras presentan niveles aceptables de bacterias mesófilas aerobias y enterobacterias. No obstante, algunas muestras mostraron la presencia de microorganismos potencialmente patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. y *Escherichia coli*, lo que sugiere la necesidad de mejores prácticas de higiene durante la recolección y comercialización de estas setas para garantizar su seguridad alimentaria (Öncül & Çiftçi, 2023).

De manera similar, Schill et al. (2021) evaluaron la seguridad microbiológica de setas comestibles secas, detectando la presencia de diversos microorganismos, incluyendo bacterias como *E. coli* y *Salmonella* spp., así como levaduras y mohos. Estos hallazgos indican que, aunque el secado es un método de conservación ampliamente utilizado, no garantiza por sí solo la eliminación de microorganismos patógenos si no se aplican controles adecuados durante el procesamiento y almacenamiento.

Otros estudios realizados en Turquía reportaron una variabilidad significativa en la carga microbiológica entre las especies de hongos silvestres analizadas. Mientras algunas presentaron niveles aceptables de contaminación, otras mostraron recuentos preocupantes y presencia de patógenos potenciales. Estos resultados enfatizan la importancia de mantener prácticas higiénicas rigurosas durante la recolección, transporte y almacenamiento, así como la necesidad de regulaciones más estrictas y un sistema de control de calidad en la comercialización de hongos silvestres para asegurar su inocuidad (Ergönül et al., 2018).

En Europa, particularmente en España, Venturini et al. (2011) analizaron la calidad microbiológica y la seguridad de los hongos frescos cultivados y silvestres comercializados, dado el aumento significativo en su consumo en los últimos años. Los resultados evidenciaron que los hongos cultivados presentaban una carga microbiológica inicial más baja en comparación con los hongos silvestres; sin embargo, ambos mostraron ocasionalmente la presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal, como *E. coli* y coliformes totales. A pesar de, los valores registrados se encontraban dentro de los límites microbiológicos establecidos por la Agencia de Seguridad Alimentaria de la Unión Europea, destacando la importancia de los controles sanitarios en la cadena productiva.

En Colombia, García Rincón et al. (2014) llevaron a cabo un estudio microbiológico y fisicoquímico en hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus pulmonarius* comercializados en presentación fresca y deshidratada. El análisis microbiológico incluyó el recuento de bacterias mesófilas aerobias, mohos y levaduras, coliformes totales y fecales, así como la detección de *Salmonella* spp., siguiendo los protocolos establecidos por el INVIMA. Los resultados obtenidos para las muestras deshidratadas mostraron recuentos bajos de microorganismos indicadores y ausencia de patógenos, confirmando que el producto era apto para el consumo humano. Los autores concluyen que la calidad microbiológica observada está directamente relacionada con la implementación de buenas prácticas de manufactura y adecuadas condiciones higiénicas durante la manipulación, resaltando la importancia del control microbiológico como valor agregado en la comercialización de hongos comestibles.

En la región de México, se efectuó un estudio para evaluar la aplicación de buenas prácticas y la calidad comercial de los hongos comestibles cultivados, evidenciando deficiencias significativas en los procesos productivos. Solo el 30% de los productos evaluados cumplió con niveles adecuados de buenas prácticas, mientras que el resto presentó riesgo moderado durante la obtención de basidiocarpos. El análisis microbiológico reveló una alta variabilidad en los recuentos de mesófilo aerobios, mohos y levaduras en especies de *Pleurotus* y *Agaricus*, aunque los valores se encuentran dentro de los límites aceptables según ciertas legislaciones. A partir de estos resultados se identificaron puntos críticos de control en etapas como la recepción de materia prima, siembra, cosecha y poscosecha, lo que resalta la importancia de implementar sistemas de control para garantizar la inocuidad de los hongos comestibles (Martínez Barcena, 2019).

En el contexto nacional, en Panamá, la información científica sobre la microbiología de los hongos comestibles es limitada. Un estudio realizado por Beitia (2019) analizó los aspectos fisicoquímicos y microbiológicos relacionados al manejo postcosecha de hongos comestibles tipo seta, enfocándose en el empaque y los subproductos de especies como *Pleurotus pulmonarius*, *Pleurotus ostreatus* y *P. djamor* var. *roeus*. Los resultados microbiológicos obtenidos en *P. ostreatus* y *P. pulmonarius*, sometidos a dos tipos de tratamientos térmicos, indicaron que las prácticas del cultivo, cosecha y almacenamiento aplicadas fueron efectivas, evidenciándose bajos recuentos de bacterias mesófilas aerobias y ausencia de coliformes totales, incluyendo *E. coli*, en todas las etapas evaluadas.

Este estudio constituye uno de los pocos antecedentes en Panamá que aborda la microbiología de los hongos comestibles, resaltando la importancia de mantener adecuadas prácticas de manejo poscosecha para garantizar la seguridad alimentaria. No obstante, la limitada disponibilidad de investigaciones locales crea la necesidad de desarrollar más estudios microbiológicos que permitan evaluar la inocuidad de los hongos comestibles producidos y comercializados en el país, especialmente en relación con organismos indicadores y patógenos de relevancia sanitaria.

CAPÍTULO III

2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Obtención del material biológico

Se colectaron muestras de champiñón blanco (*A. bisporus*) y champiñón Portobello (*A. bisporus* var. *Brunnescens*) provenientes de una empresa dedicada a su producción en la provincia de Chiriquí. Para evitar la contaminación durante la manipulación, se aplicaron medidas asépticas y de bioseguridad durante todo el proceso.

Se realizaron dos muestreos aleatorios de ambas variedades en la etapa poscosecha, en dos cuartos de producción, y un muestreo aleatorio del producto terminado. El objetivo fue evaluar la presencia de *E. coli* como indicador de contaminación fecal en *A. bisporus* durante los meses de septiembre y octubre de 2024. Las muestras se colocaron en bolsas tipo Ziploc, etiquetadas con fecha y el lugar de muestreo; se transportaron en una hielera a 5°C hasta el laboratorio de Microbiología y Parasitología (L-15) de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad Autónoma de Chiriquí.

3.2 Preparación de la muestra madre

Cada muestra se preparó pesando 25 g de champiñones y diluyéndolos en 225 mL de agua peptonada al 0.1% dentro de una bolsa estéril. Posteriormente, se homogenizó en un frasco de vidrio estéril utilizando una licuadora. La mezcla se dejó reposar durante 15 minutos antes de realizar las diluciones.

3.3 Diluciones y siembra en placa

Se realizaron diluciones seriadas a partir de la muestra madre en proporciones de 1:100, 1:1000 y 1:10 000. De cada una se tomó 1 mL con pipeta estéril y se sembró en placas Petri mediante la técnica de vertido en placa. El medio de cultivo utilizado fue agar recuento con cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio (TTC) para facilitar la visualización de las colonias y las placas se incubaron durante 24 horas a 37°C. El conteo de colonias se realizó utilizando un contador tipo Quebec, expresando los resultados en unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo (Oregon State University, 2026; Maturin & Peeler, 2001).

3.4 Aislamientos en medios selectivos

Para la detección específica de bacterias coliformes y *E. coli*, se emplearon los siguientes medios:

- Agar eosina azul de metileno (EMB): Colonias con brillo verde metálico se consideraron características de *E. coli*.
- Agar MacConkey: Para diferenciar bacterias fermentadoras y no fermentadoras de lactosa.

Se cortaron porciones de ambas variedades (blanco y portobello) en etapa poscosecha y producto terminado se inocularon en tubos de ensayos con caldo nutritivo estéril. Los tubos se incubaron a 37 °C durante 24 horas.

Posteriormente, se realizó la resiembra del inóculo en medios sólidos selectivos (EMB y agar MacConkey) mediante la técnica de estría cruzada. Las placas se rotularon adecuadamente y se incubaron a 37°C durante 24 horas. Después del periodo de incubación, se evaluó el crecimiento bacteriano, compararon las características morfológicas observadas con las descritas en la literatura para confirmar la presencia de *E. coli* (Velasco, 2014).

3.5 Pruebas bioquímicas

Las pruebas bioquímicas se aplicaron a todas las especies bacterianas aisladas en los tres muestreos realizados. Estas pruebas son fundamentales para la identificación de enterobacterias, ya que permitieron evaluar propiedades metabólicas específicas (Velasco, 2014). Entre las pruebas realizadas se incluyeron sulfuro, indol y motilidad (SIM), Urea, citrato de Simmons, TSI (Triple Sugar Iron) y Voges-Proskauer (VP).

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación.

4.1 Resultados del muestreo general

Se realizaron dos muestreos durante el año 2024, en la etapa de poscosecha, obteniendo un total de 24 muestras: 12 en el primer muestreo (6 champiñones blancos y 6 Portobello) y 12 en el segundo muestreo con la misma distribución. Se efectuó un tercer muestreo del producto terminado, de este se analizaron 2 muestras triplicadas, generando 6 unidades experimentales (ver tabla 3, ver figura 1 anexos).

Tabla 3. Diseño de muestreo y distribución de muestras analizadas.

Muestreo	Mes	Etap	Nº total de muestras	Distribución
1	Septiembre	Poscosecha	12	6 champiñones blancos / 6 Portobello.
2	Octubre	Poscosecha	12	6 champiñones blancos / 6 Portobello.
3	Octubre	Producto terminado	6 (2 muestras triplicadas)	6 champiñones blancos / 6 Portobello.

4.2 Recuento de coliformes totales (UFC/g) por el método vertido en placa.

El recuento de microorganismos en los estudios microbiológicos no solo permite identificar agentes responsables de efectos benéficos o a microorganismos potencialmente patogénicos, sino también estimar la cantidad de microorganismos implicados, y establecer si estos son capaces de desarrollar una función benéfica o perjudicial (Corral et al., 2012). En productos frescos como los champiñones, la presencia de microorganismos son comunes y no implica necesariamente contaminación, ya que forman parte de su microbiota natural. En etapas tempranas, como la poscosecha, es habitual encontrar recuentos elevados; sin embargo, el análisis resulta fundamental para hacer la diferencia entre carga microbiana general y posible presencia de microorganismos patógenos o indicadores de malas prácticas de manejo (Martínez Bárcena, 2019).

El recuento microbiológico de champiñones poscosecha blancos y Portobello (*A. bisporus*) se realizó mediante el método de recuento en placa, expresando los resultados como unidades formadoras de colonias por gramo (**UFC/g**) (Oregon State University, 2026, Maturin & Peeler, 2001). La **Tabla 4** presenta el recuento microbiano final correspondiente a cada muestra analizada, para ambas variedades para champiñones.

Tabla 4. Recuento microbiológico en champiñones poscosecha (UFC/g).

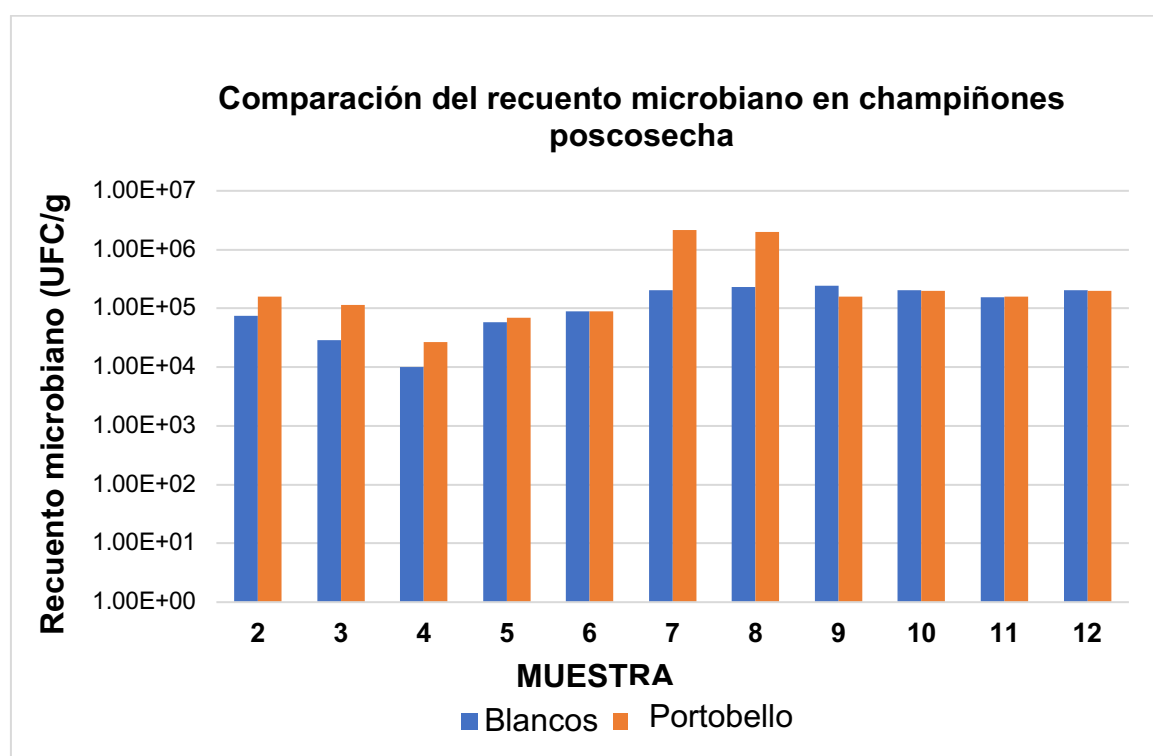
Nº. DE MUESTRA	Champiñones blancos (UFC/g)	Champiñones Portobello (UFC/g)
2	$7,5 \times 10^4$	$1,58 \times 10^5$
3	$2,9 \times 10^4$	$1,15 \times 10^5$
4	$1,01 \times 10^4$	$2,7 \times 10^4$
5	$5,8 \times 10^4$	$7,0 \times 10^4$
6	$8,8 \times 10^4$	$9,0 \times 10^4$
7	$2,06 \times 10^5$	$2,13 \times 10^6$
8	$2,30 \times 10^5$	$1,98 \times 10^6$
9	$2,40 \times 10^5$	$1,57 \times 10^5$
10	$2,01 \times 10^5$	$1,98 \times 10^5$
11	$1,56 \times 10^5$	$1,57 \times 10^5$
12	$2,04 \times 10^5$	$1,98 \times 10^5$

NOTA: UFC/g: Unidades formadoras de colonias por gramo de champiñones.

En los champiñones poscosecha blancos, los recuentos microbiológicos oscilaron entre $1,01 \times 10^4$ y $2,40 \times 10^5$ UFC/g, observándose valores más bajos en las muestras iniciales y un incremento progresivo en muestras posteriores, lo que indica un aumento de la carga microbiana durante la etapa poscosecha. En general, los champiñones blancos presentaron recuentos relativamente homogéneos, predominantemente dentro del orden de 10^4 a 10^5 UFC/g. Este comportamiento es concordante con lo reportado para champiñones frescos, donde se describen recuentos naturalmente elevados del orden de 10^4 a 10^6 UFC/g como parte de su microbiota superficial (Singh, 2010; Martínez Bárcena, 2019). En general, los champiñones blancos presentaron recuentos relativamente

homogéneos, predominantemente dentro del orden de 10^4 a 10^5 UFC/g, lo cual coincide con lo descrito para alimentos frescos de origen vegetal, donde la microbiota natural presenta recuentos aeróbicos relativamente iguales cuando el origen y las condiciones de manejo son similares (Jay et al., 2005)

En champiñones poscosechas Portobellos, los recuentos microbianos oscilaron entre $2,7 \times 10^4$ UFC/g y $2,13 \times 10^6$ UFC/g, evidenciando una mayor dispersión en comparación con los champiñones blancos. Varias muestras presentaron valores similares a los observados en la variedad blanca, del orden de 10^4 y 10^5 UFC/g. Sin embargo, se registraron valores un poco más altos en ciertas muestras, alcanzando concentraciones próximas a 10^4 - 10^5 UFC/g, lo que refleja una dispersión más amplia de los resultados en esta variedad. Esta mayor variabilidad concuerda con lo reportado para *A. bisporus* en etapa poscosecha, donde se describen amplios rangos de recuentos microbiológicos atribuidos a diferencias en manejo, cosecha y almacenamiento (Martínez Bárcena, 2019; Singh, 2010)



Fuentes: Ashley Araúz

Figura 2. Comparación del recuento microbiano en champiñones poscosecha blancos y Portobello (UFC/g), donde se evidencia una mayor variabilidad y recuentos más altos en los champiñones Portobello.

Al comparar ambos tipos de champiñones, se observa que los champiñones blancos presentaron recuentos más uniformes, mientras que los champiñones Portobello mostraron una mayor variabilidad y los valores máximos más elevados del estudio. Esta diferencia sugiere un comportamiento microbiológico distinto entre ambas variedades durante la etapa poscosecha.

En Panamá, los criterios microbiológicos aplicables a alimentos frescos se rigen por el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.50:17, oficialmente adoptado por el MICI mediante la DGNTI-COPANIT, el cual establece límites y parámetros para microorganismos patógenos e indicadores de higiene. Adicionalmente, los productos hortícolas se regulan bajo el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 65-2019, que reconoce la presencia de microbiota natural en productos frescos y enfatiza las prácticas de manejo e inocuidad durante la poscosecha (DGNTI-COPANIT 65-2019).

Tabla 5. Recuento microbiológico del producto final de champiñones Portobello.

Muestra	Dilución	Resultado (UFC/g)
3	10^{-3}	$2,14 \times 10^5$
3	10^{-4}	$1,83 \times 10^6$

NOTA: UFC/g: Unidades formadoras de colonias por gramo de champiñones.

En el análisis microbiológico del producto final se evaluaron champiñones blancos y Portobello mediante el método de recuento en placa. En el producto final de champiñones blancos, ninguna de las muestras analizadas presentó recuentos válidos, ya que en todas las diluciones evaluadas los conteos obtenidos fueron superiores al rango permitido o resultaron incontables, lo que impidió obtener un recuento microbiológico cuantificable (Maturin & Peeler, 2001). Por otro lado, en el producto final de champiñones Portobello, únicamente la muestra 3 presentó recuentos confiables; en esta muestra, las diluciones 10^{-3} y 10^{-4} registraron conteos de $2,14 \times 10^5$ UFC/g y $1,83 \times 10^6$ UFC/g. Las demás muestras analizadas no fueron consideradas para el reporte final debido a que los valores fueron altos y no permitieron un recuento adecuado.

Resultados similares han sido reportados en estudios realizados en hongos comestibles frescos comercializados en otros países, donde se observaron

recuentos microbianos totales elevados, alcanzando hasta 9,4 log UFC/g, sin que ello implicara necesariamente la presencia de microorganismos patógenos (Venturini et al., 2011). Estos autores señalan que los hongos frescos presentan una microbiota abundante, dominada principalmente por bacterias aerobias mesófilas, y que la evaluación de la seguridad microbiológica debe basarse principalmente en la detección de patógenos y no únicamente en la magnitud del recuento total. Este enfoque respalda la interpretación de los resultados obtenidos en el presente estudio, donde la imposibilidad de cuantificar algunas muestras del producto final se asocia a cargas microbianas elevadas más que a condiciones de riesgo sanitario (Venturini et al., 2011).

Al comparar los resultados obtenidos en las muestras de champiñones poscosecha y el producto final, se observa que en la etapa poscosecha fue posible obtener recuentos microbiológicos cuantificables en la mayoría de las muestras, con valores comprendidos entre 10^4 y 10^6 UFC/g, tanto en champiñones blancos como Portobello. En cambio, en el producto final se registró una reducción en el número de muestras con recuentos válidos, ya que en los champiñones blancos no se obtuvieron valores cuantificables y en los champiñones Portobello solo una muestra presentó recuentos confiables. Esta diferencia evidencia un comportamiento microbiológico distinto entre ambas etapas del proceso.

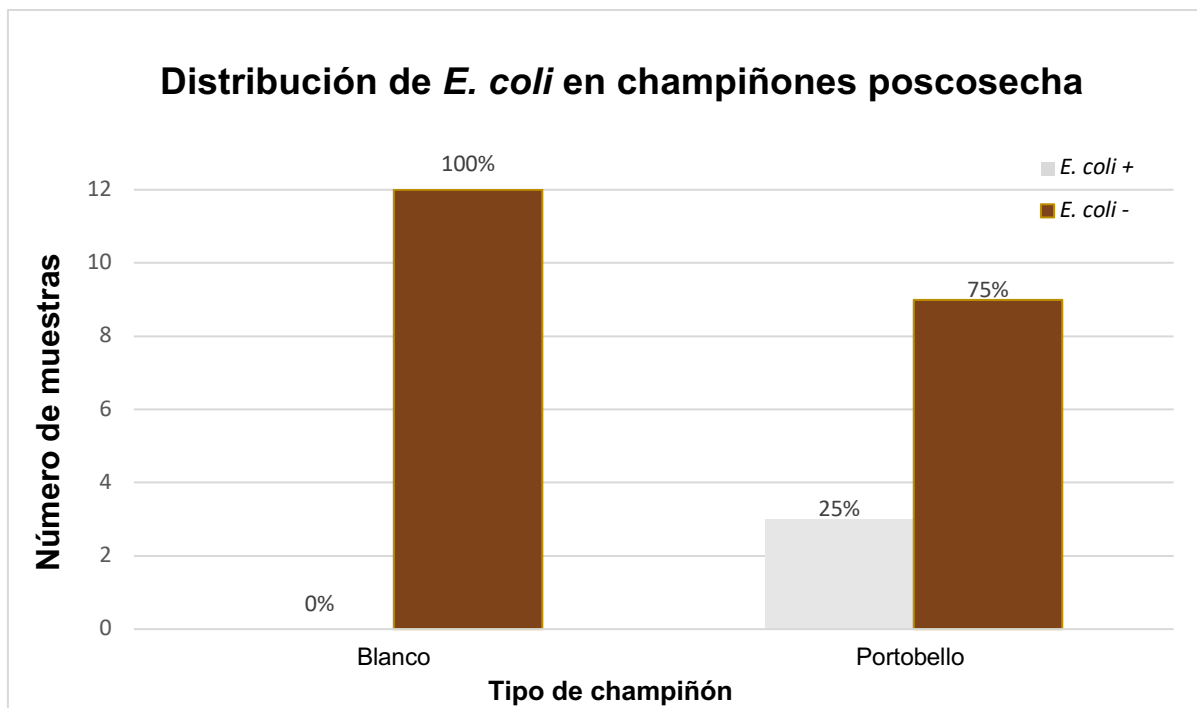
Esta diferencia evidencia un comportamiento microbiológico distinto entre ambas etapas del proceso y puede explicarse por la influencia de las condiciones de manejo, empaque y almacenamiento a las que es sometido el producto final. Estudios realizados en *A. bisporus* han reportado que los niveles más elevados de recuento aerobio total se presentan en champiñones procesados y empacados, debido a una mayor manipulación y a condiciones que favorecen la proliferación de la microbiota natural, sin que necesariamente se detecten microorganismos patógenos (Patel et al., 2025). Estos autores señalan que, a pesar de cargas microbianas elevadas, los champiñones pueden considerarse microbiológicamente seguros cuando no se evidencia la presencia de patógenos, destacando la importancia de optimizar las prácticas de manejo y almacenamiento para mantener la calidad del producto (Patel et al., 2025).

4.3 Análisis microbiológicos de *Escherichia coli* en champiñones: poscosecha y producto terminado.

El análisis microbiológico realizado en las etapas de poscosecha y de producto terminado permitió evaluar la presencia de *Escherichia coli* en champiñones blancos y Portobello. Este enfoque comparativo permitió identificar posibles variaciones en la calidad microbiológica del producto a lo largo de la cadena productiva.

En la etapa poscosecha, los resultados fueron considerados favorables desde el punto de vista sanitario, ya que se evidenció una baja frecuencia de contaminación por *E. coli*. De las 24 muestras analizadas, únicamente 3 correspondientes a champiñones Portobello fueron positivas, lo que correspondió al 12,5% del total de las muestras y al 25,0% dentro de este grupo específico, mientras que la totalidad de las muestras de champiñones blancos resultaron negativas (0%). Estos hallazgos sugieren la aplicación adecuada de buenas prácticas de manejo durante la etapa poscosecha.

En la **Figura 3** se puede observar de manera comparativa la distribución porcentual de muestras positivas y negativas para *E. coli* en champiñones blancos y Portobello poscosecha. La ausencia de *E. coli* es predominante, y son representados por el color marrón, frente a un sector reducido correspondiente a los casos positivos, representado en color gris para los champiñones Portobello. Esta representación visual refuerza la interpretación de que la contaminación no es generalizada y que las prácticas de manejo poscosecha son en términos generales, adecuadas. Aunque la detección de *E. coli* en algunas muestras de champiñones Portobello indica posibles eventos aislados de contaminación, su baja proporción confirma que el nivel de contaminación microbiana del producto es bajo. En consecuencia, los resultados obtenidos pueden considerarse favorables para la calidad microbiana e inocuidad del producto, especialmente considerando que la mayoría de las muestras no presentaron crecimiento compatible con *E. coli*.

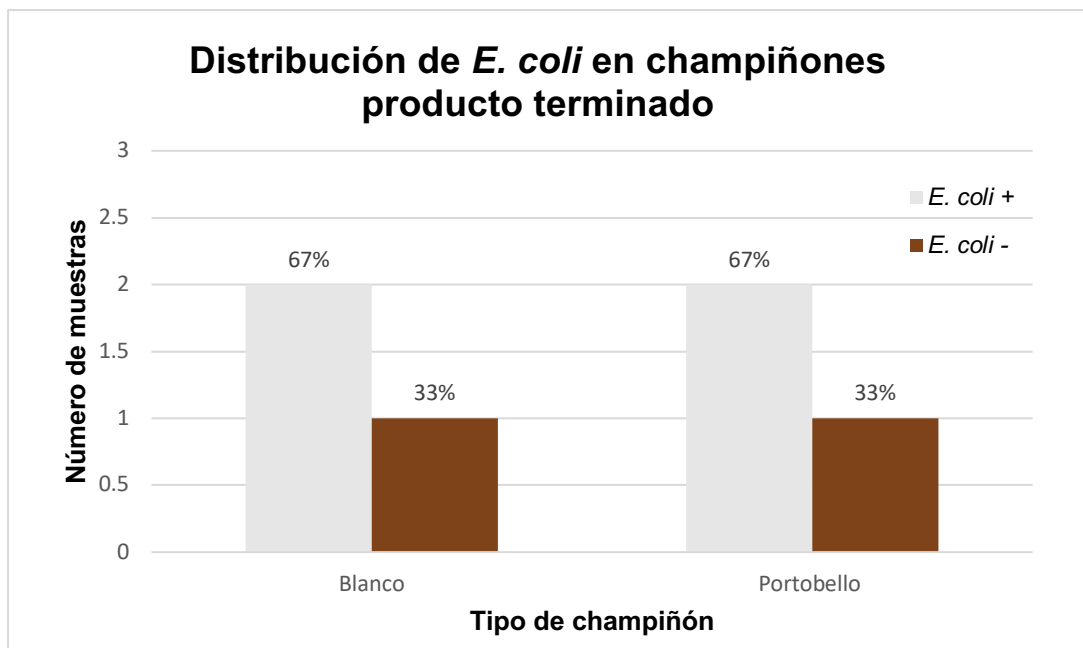


Fuentes: Ashley Araúz

Figura 3. Distribución comparativa de muestras positivas y negativas para *E. coli* en champiñones blancos y Portobello poscosecha.

En comparación con la etapa anterior, el análisis del producto terminado evidenció una mayor presencia de *E. coli*, observándose en ambos tipos de champiñón una proporción similar de una muestra positiva y negativa. En ambos tipos de champiñones, el 67% de las muestras resultó positivo y el 33% negativo para este microorganismo. No se observaron diferencias entre los tipos de champiñón en esta etapa, ya que ambos presentaron proporciones similares de *E. coli*.

La **Figura 3** presenta la distribución comparativa de muestras positivas y negativas para *E. coli* en champiñones blancos y Portobello como producto terminado, evidenciando una tendencia homogénea entre ambos tipos.



Fuentes: Ashley Araúz

Figura 4. Distribución comparativa de muestras positivas y negativas para *E. coli* en champiñones blancos y Portobello como producto terminado.

La comparación entre ambas etapas sugiere que, si bien la contaminación por *E. coli* fue limitada durante la poscosecha, se produjo un incremento en la frecuencia de resultados positivos en el producto terminado. Este comportamiento podría estar asociado a factores derivados de las etapas finales de procesamiento, manipulación o almacenamiento, resaltando la importancia de reforzar las medidas de higiene y control sanitario a lo largo de toda la cadena productiva, especialmente en las fases posteriores a la poscosecha.

Los resultados de Öncül y Çiftçi (2023) indican que los hongos presentan un pH cercano a la neutralidad ($\approx 7,18$), condición que favorecen el crecimiento de diversos microorganismos. Asimismo, estos autores reportaron elevadas cargas microbiana, incluyendo bacterias mesófilas, levaduras, mohos y coliformes, además de la presencia de *E. coli*, lo cual fue atribuido a deficiencias en las condiciones higiénicas durante la recolección y comercialización. Estos hallazgos respaldan que los champiñones son altamente susceptibles a la contaminación y al deterioro microbiológico, lo que permite contextualizar los resultados del presente estudio en relación con la calidad sanitaria del producto y las prácticas de manejo empleadas.

El manejo poscosecha de los champiñones representa un factor determinante en la calidad microbiológica del producto. Diversos estudios señalan que, debido a su alto contenido de humedad y su elevada tasa respiratoria, los champiñones son altamente perecederos, deteriorándose rápidamente si no se aplican condiciones adecuadas de conservación. En particular, la refrigeración inmediata posterior a la cosecha es fundamental para disminuir la actividad metabólica, retardar los procesos enzimáticos y limitar el crecimiento microbiano (Ardón López, 2007).

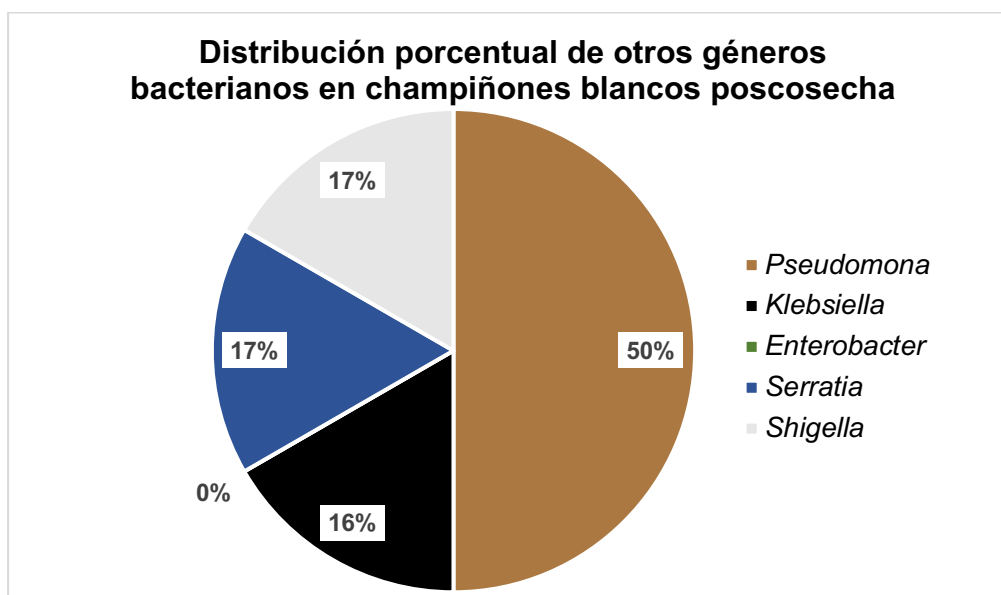
Al comparar los resultados obtenidos con investigaciones previas, Patel et al. (2025) no detectaron la presencia de *E. coli* O157 en muestras de champiñones frescos y procesados, lo que indica condiciones óptimas de inocuidad microbiológica. Si bien los resultados del presente estudio reflejan una baja incidencia de contaminación, estos no alcanzaron los niveles ideales reportados en la dicha investigación. Esta diferencia sugiere la posible existencia de fallas puntuales en cadena de producción y manipulación, como contaminación cruzada durante poscosecha, contacto con agua o superficies contaminadas, o variaciones asociadas a la morfología y superficie del champiñón (García et al. 2014, Shrestha, 2025).

4.4 Identificación de otras especies bacterianas por medio de pruebas bioquímicas

Se analizaron muestras de champiñones blancos y Portobello poscosecha mediante pruebas bioquímicas (citrato, urea, VP, SIM y TSI) con el fin de identificar los géneros bacterianos presentes en los medios selectivos. Los resultados evidenciaron la presencia de bacterias Gram negativas fermentadoras y no fermentadoras, así como diferencias en la distribución bacteriana entre ambos tipos de champiñones.

En los champiñones blancos poscosechas se identifican cuatro géneros bacterianos: *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Serratia* y *Shigella*. De acuerdo con la Figura 4, el género predominante fue *Pseudomonas* spp., detectado en el 50% de las muestras analizadas, seguido por *Klebsiella*, *Serratia* y *Shigella*, los cuales se presentaron en una menor proporción. No se detectó la presencia de *Enterobacter* spp. en este tipo de champiñón. Las cepas identificadas como *Pseudomonas* spp. se caracterizaron por presentar resultados positivos en citrato y ureasa, movilidad

positiva, ausencia de fermentación de lactosa (K/K en TSI) y ausencia de producción de gas y H_2S .

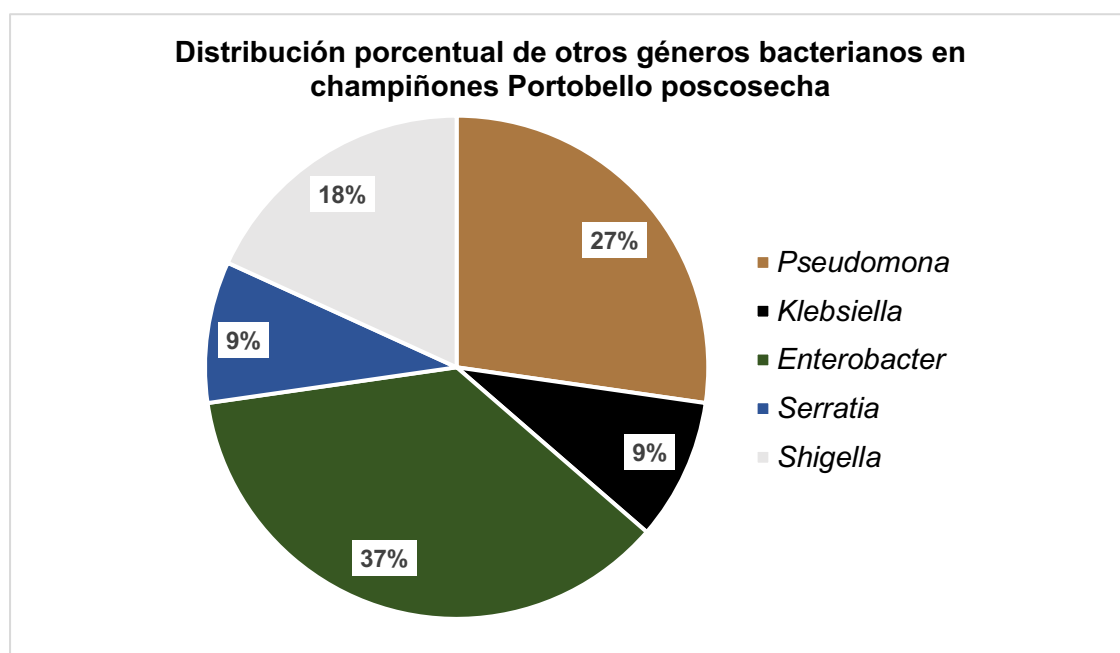


Fuentes: Ashley Araúz

Figura 5. Distribución porcentual de los otros géneros bacterianos identificados en champiñones blancos poscosecha mediante pruebas bioquímicas.

En las muestras de champiñones Portobello poscosecha se observó, como se presenta en la Figura 5, que el género más frecuente fue *Enterobacter* spp., el cual representó el mayor porcentaje de los aislamientos obtenidos. Se logró detectar los géneros *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Serratia* y *Shigella* en proporciones menores. Las cepas identificadas como *Enterobacter* spp. presentaron resultados positivos en citrato y Voges-Proskauer, movilidad positiva y fermentación de glucosas y lactosa con producción de gas (A/A) en el medio TSI.

Al comparar ambos tipos de champiñones, se observó que los champiñones blancos presentaron mayor cantidad de *Pseudomonas* spp., mientras que en los champiñones Portobello la mayor frecuencia fue *Enterobacter* spp., acompañado de otros géneros bacterianos en menores proporciones. Estas variaciones reflejan la diversa microbiota bacteriana asociada a productos frescos y coinciden con lo reportado en la literatura, donde se describe que los microorganismos presentes pueden variar dependiendo del ambiente de cultivo, la manipulación y las condiciones de almacenamiento (Olaimat & Holley, 2012).



Fuentes: Ashley Araúz

Figura 6. Distribución porcentual de los otros géneros bacterianos identificados en champiñones Portobello poscosecha mediante pruebas bioquímicas.

La mayor cantidad de *Pseudomonas* spp., en los champiñones puede explicarse por su capacidad de desarrollarse en condiciones de refrigeración y alta humedad, características típicas del almacenamiento poscosecha. Según Öncül (2016), factores como la temperatura, la humedad y la disponibilidad de nutrientes favorecen el crecimiento de bacterias psicotrópicas, entre las cuales *Pseudomonas* destaca por su rápida adaptación a ambientes fríos. Asimismo, estudios realizados en condiciones de comercialización han identificado a este género como uno de los principales microorganismos presentes en champiñones frescos, lo que confirma su papel predominante en este tipo de producto (Schill et al., 2017).

Su papel en el crecimiento microbiano, la presencia de *Pseudomonas* spp., también se asocia con proceso de deterioro del champiñón. Las especies como *Pseudomonas tolaasii* han sido relacionados con la enfermedad conocida como macha marrón, la cual provoca decoloración y daño en el tejido del hongo, afectando su calidad y valor comercial (Abou-Zeid, 2012). Esto indica que, aunque

este género no siempre representa un riesgo directo para la salud, sí tiene un impacto importante en la calidad del producto.

La detección de *Enterobacter* spp., así como de otros géneros como *Klebsiella*, *Serratia* y *Shigella*, en ambos tipos de champiñones sugiere posibles fuentes de contaminación ambiental o fecal. Estos microorganismos pertenecen a la familia de *Enterobacteriaceae* y han sido frecuentemente asociados con condiciones de higiene deficientes durante la producción o manipulación de alimentos (Beltrán Romero, 2024). De acuerdo con Samadpour et al. (2006), la presencia de bacterias de este grupo en productos frescos puede indicar contaminación cruzada y representa un potencial riesgo microbiológico, especialmente si se consideran cepas patógenas.

La microbiota bacteriana presente en los champiñones analizados está compuesta tanto por microorganismos asociados al deterioro, como *Pseudomonas* spp., como por bacterias potencialmente indicadoras de contaminación, pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae*. Esto resalta la importancia de implementar y mantener buenas prácticas agrícolas y de manufactura, así como condiciones adecuadas de almacenamiento, con el fin de garantizar tanto la inocuidad como la calidad del producto final. Tal como señalan Olaimat y Holley (2012), la seguridad microbiológica de los productos frescos depende de múltiples factores interrelacionados a lo largo de toda la cadena productiva.

5 CONCLUSIONES

El estudio permitió evaluar la calidad microbiana de los champiñones blancos y Portobello en las etapas de poscosecha y producto terminado, con recuentos de coliformes totales predominantes entre 10^4 y 10^6 UFC/g.

Los champiñones blancos presentaron recuentos más uniformes, mientras que los Portobello mostraron mayor variabilidad y valores máximos más elevados.

Durante la poscosecha, la detección de *Escherichia coli* fue limitada y se restringió a algunas muestras de champiñones Portobello.

En el producto terminado se observó un aumento en la frecuencia de muestras positivas para *E. coli* en ambos tipos de champiñón.

6 RECOMENDACIONES

- Fortalecer las buenas prácticas de higiene y manipulación durante las etapas finales del procesamiento, empaque y almacenamiento del producto terminado, para evitar el riesgo de contaminación por *Escherichia coli* y otros microorganismos indicadores.
- Capacitar en las prácticas de higiene personal, manejo seguro de alimentos y control sanitario de manera continua al personal involucrado en la cosecha, manipulación y comercialización de los champiñones.
- Reforzar la higiene de manos antes, durante y después de cualquier interrupción en las actividades de manipulación, especialmente en casos donde el personal tenga contacto con objetos personales como teléfonos móviles, garantizando el lavado y desinfección adecuada antes de retomar labores.
- Incorporar análisis microbiológicos periódicos, no solo de recuentos totales, sino también enfocados en la detección de microorganismos patógenos específicos.
- Desarrollar futuras investigaciones que incluyan un mayor número de muestras y la evaluación de otras etapas de la cadena productiva, como el cultivo y transporte, así como el uso de métodos moleculares que permitan una identificación bacteriana más precisa.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abou-Zeid, M. A. (2012). Pathogenic variation in isolates of *Pseudomonas* causing the brown blotch of cultivated mushroom, *Agaricus bisporus*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43, 1137-1146.
- ALIMENTARIUS, F. C. (2005). Programa Conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias.
- Alimentarius, C. (2015). codex Stan 192, 1995. Norme générale Codex pour les additifs alimentaires.
- Atila, F., Owaid, MN, y Shariati, MA (2017). Beneficios nutricionales y medicinales de *Agaricus bisporus*: Una revisión. *Revista de microbiología, biotecnología y ciencias de la alimentación* , 7 (3), 281-286.
- Ardón López, C. E. (2007). La producción de los hongos comestibles. Trabajo de graduación de Maestría en Docencia Universitaria con Especialidad en Evaluación Educativa. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Humanidades.
- Awuchi, C. G. (2023). HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2176280. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2176280>
- Bayona, M. A. (2009). Evaluación microbiológica de alimentos adquiridos en la vía pública en un sector del norte de Bogotá. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 12(2), 9-17.
- Beitia, M, H. (2019). Manejo pos cosecha de hongos comestibles tipo setas: empaque y subproducto. Universidad Autónoma de Chiriquí.
- Beltrán Romero, A. A. (2024). Presencia de Enterobacterias, Aerobios Mesófilos y *Staphylococcus aureus* en la carne de vacuno y ovino expendidas en el Mercado Central de la ciudad de Cajamarca y su relación con las Buenas Prácticas de Manufactura.
- Boa, E. (2005). Los Hongos Silvestres Comestibles: Perspectiva global de su uso e importancia para la población. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Brennan, M., Le Port, G., & Gormley, R. (2000). Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms. *LWT-Food Science and Technology*, 33(4), 285-289.

- Carrillo, L., Audisio, M. C., Bejarano, N., Gómez, S., Ancasi, G., & Benítez, M. (2007). Manual de Microbiología de los Alimentos. Jujuy, 10, 102-116.
- Cepero de García, M. C. (2012). Biología de hongos. Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes.
- Codex Alimentarius Commission. (2003). Code of hygienic practice for fresh fruits and vegetables (CXC 53-2003). FAO/WHO.
<https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/list-of-standards/en/>
- Contò, P., Giandon, P., Zennaro, M., Facca, C. y Pavoni, B. (2019). Preparación del sustrato para el cultivo de *Agaricus bisporus*. Revista Internacional de Innovación y Estudios Aplicados , 25 (4), 1137-1150
- Corral-Lugo, A., Morales-García, Y. E., Pazos-Rojas, L. A., Ramírez-Valverde, A., Martínez-Contreras, R. D., & Muñoz-Rojas, J. (2012). Cuantificación de bacterias cultivables mediante el método de " Goteo en Placa por Sellado (o estampado) Masivo". Revista colombiana de biotecnología, 14(2), 147-156.
- Deb, T. (2024). Mushroom Statistics and Facts (2025). Market.us Media. Recuperado el 20 de diciembre de 2025, de <https://media.market.us/mushroom-statistics/>
- Deng, B., Jia, C., Jia, W., Li, Y., Chang, M. y Zhang, H. (2025). Mecanismo del tratamiento electrostático de alto voltaje para mantener la calidad poscosecha de *Agaricus bisporus*. Horticulturae, 11 (9), 1129.
- Dimopoulou, M., Kolonas, A., Mourtakos, S., Androutsos, O., & Gortzi, O. (2022). Nutritional composition and biological properties of sixteen edible mushroom species. Applied Sciences, 12(16), 8074.
- Ergönül, B., Kalyoncu, F., & Akata, I. (2018). Microbiological quality of eight wild edible mushroom species from Turkey. Celal Bayar University Journal of Science, 14(4), 461-463.
- FAO & WHO. (2023). Prevention and control of microbiological hazards in fresh fruits and vegetables – Parts 1 & 2: General principles. Microbiological Risk Assessment Series No. 42. <https://doi.org/10.4060/cc8490en>
- FAO & WHO. (2023). Prevention and control of microbiological hazards in fresh fruits and vegetables – Part 4: Specific commodities. Microbiological Risk Assessment Series No. 44.

- Feng, P., Weagant, S. D., Grant, M. A., & Burkhardt, W. (2002). Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria. *Bacteriological analytical manual*, 13, 1-13.
- FDA. *Bacteriological Analytical Manual (BAM)*, Ch. 3: Aerobic Plate Count.
- GlobeNewswire. (2023). Mushroom Global Market Report 2023. Recuperado el 20 de diciembre de 2025, de <https://www.globenewswire.com/news-release/2023/08/11/2723351/28124/en/Mushroom-Global-Market-Report-2023.html>
- González, E. G., & Carroza, E. G. (2019). Enfermedades de Transmisión Alimentaria. Parte I. *Badajoz Veterinaria*, (16), 26-33.
- Guan, W., Fan, X., & Yan, R. (2012). Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, microbial loads, and quality of button mushrooms. *Postharvest Biology and Technology*, 64(1), 119-125.
- Guerra, E. & Luis, J. (2022). Evaluación de bacterias fitopatógenas en cinco hortalizas en Cerro Punta, Chiriquí, Panamá.
- Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005). *Modern Food Microbiology* (7th ed.). Springer.
- Kuhar, J. F., Castiglia, V. C., & Papinutti, V. L. (2013). *Reino Fungi: morfologías y estructuras de los hongos*.
- Kuo, M. (2018, March). *Agaricus bisporus*. Retrieved from the *MushroomExpert.Com* Web site: http://www.mushroomexpert.com/agaricus_bisporus.html
- Maturin, L., & Peeler, J. T. (2001). *Bacteriological analytical manual chapter 3: aerobic plate count*. Food and Drug Administration.
- Martínez Barcena, J. A. (2019). Análisis de las buenas prácticas en la producción de hongos comestibles, funcionales y medicinales en la región central de México (Master's thesis).
- Miranda Chavarría, S. (2017). Determinación de *Escherichia coli* en bebidas de frutas mixtas no pasteurizadas comercializadas en establecimientos especializados en san ramón, alajuela. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 26(2), 189-198.
- Montenegro, I., & Stuardo, C. (2021). *Introducción al cultivo de hongos comestibles*. INFOR.

- Muñoz Sepúlveda, J., Giraldo Trujillo, M. F., & Muriel Otalvaro, M. (2023). Prevalencia de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. en muestras de ensaladas analizadas por el laboratorio SEILAM SAS durante los años 2018, 2019 y 2020.
- Muszynska, B., Kala, K., Rojowski, J., Grzywacz, A., & Opoka, W. (2017). Composition and biological properties of *Agaricus bisporus* fruiting bodies- a review. *Polish journal of food and nutrition sciences*, 67(3).
- Olaimat, A. N., & Holley, R. A. (2012). Factors influencing the microbial safety of fresh produce: a review. *Food microbiology*, 32(1), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.04.016>
- Öncül, N., & Çiftçi, M. (2023). Microbiological quality of some wild edible mushrooms. *Food and Health*, 9(4), 323-330. <https://doi.org/10.3153/FH23029>
- Oregon State University. (2026). Microbiology writing guide: Presenting data. Recuperado de <https://wic.oregonstate.edu/microbiology-writing-guide-presenting-data>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). Prevención de la E. coli en los alimentos (Serie técnica). FAO. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/pdf/Preventing_Ecoli_es.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2018). E. coli. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>
- Patel, J., Suthar, H., Modi, K., Patel, P., & Khunt, M. (2025). Microbiological analysis of fresh and processed button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *International Journal of Agriculture and Food Science*, 9(8), 5454. <https://doi.org/10.33545/26174693.2025.v9.i8Sy.5454>
- Petruzzello, M. (26 de abril de 2024). hongo portobello. Enciclopedia Británica. <https://www.britannica.com/topic/portobello-mushroom>
- Piepenbring, M. (2015). Introducción a la Micología en los Trópicos. The American Phytopathological Society.
- Rinker, D. L. (2007). VIII. MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS DEL CHAMPIÑÓN. *Agaricus bisporus*, 81
- Romero Luengo, A. 1998. Generalidades: partes de una seta (en línea). Ciencias

- naturales, Micología, Toda cultura, Guadalajara, México. Consultado 13 diciembre 2025. Disponible en <http://www.todacultura.com/micologia/setas.htm>
- Samadpour, M., Barbour, M. W., Nguyen, T., Cao, T. M., Buck, F., Depavia, G. A., ... & Stopforth, J. D. (2006). Incidence of enterohemorrhagic *Escherichia coli*, *Escherichia coli* O157, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* in retail fresh ground beef, sprouts, and mushrooms. *Journal of food protection*, 69(2), 441-443.
- Sánchez, J. E., Royse, D. J., & Lara, L. (2007). Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de *Agaricus bisporus*.
- Schill, S., Stessl, B., Meier, N., Tichy, A., Wagner, M., & Ludewig, M. (2021). Microbiological safety and sensory quality of cultivated mushrooms (*Pleurotus eryngii*, *Pleurotus ostreatus* and *Lentinula edodes*) at retail level and post-retail storage. *Foods*, 10(4), 816.
- Schilla, F., Mumladze, G., Soukupova, J. y Smutka, L. (2025). Análisis económico de la producción de hongos *Agaricus bisporus* y la perspectiva de la economía colaborativa. *Fronteras en Sistemas Alimentarios Sostenibles*, 8, 1415291.
- Shrestha, P. (2025, febrero 8). *Escherichia coli* concern in food safety: Contamination, detection and prevention. *Food Tech Notes*. <https://foodtechnotes.com/2025/02/08/escherichia-coli-concern-in-food-safety-contamination-detection-and-prevention/>
- Simón, A., González-Fandos, E., & Tobar, V. (2005). The sensory and microbiological quality of fresh sliced mushroom (*Agaricus bisporus* L.) packaged in modified atmospheres. *International Journal of Food Science & Technology*, 40(9), 943-952.
- Soler-Rivas, C., & Reglero, G. (2012). El champiñón como alimento funcional. En *Avances en la tecnología de la producción comercial del champiñón y otros hongos cultivados* (Vol. 4, p. 7).
- Stevens, K., David, J. F., & Lingle, C. (2020). Monitoreo ambiental de microorganismos indicadores. *Manual de monitoreo ambiental*, 28.
- Tejedor, W. (2004). Estado actual del mercado de Frutos y Vegetales Frescos Cortados en Panamá.
- Torrass, D. D. M. A. C., Rodríguez, M., & Domínguez, L. (2011). *Agaricus bisporus*: Cultivo, problemas y prevención. In *ANALES* (p. 61).

- Usman, M., Murtaza, G., & Ditta, A. (2021). Nutritional, medicinal, and cosmetic value of bioactive compounds in button mushroom (*Agaricus bisporus*): a review. *Applied Sciences*, 11(13), 5943.
- US Food and Drug Administration. (2013). *Bacteriological Analytical Manual*, Chapter 4, Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria.
- Vedder, P. J. C., 1966. *Cultivo moderno de champiñón*. Madrid, España. Ediciones Mundi Prensa. 369 p.
- VELASCO LR, T. A. (2014). *Curso práctico de microbiología*. 1ª edición. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa.
- Venturini, M. E., Reyes, J. E., Rivera, C. S., Oria, R., & Blanco, D. (2011). Microbiological quality and safety of fresh cultivated and wild mushrooms commercialized in Spain. *Food microbiology*, 28(8), 1492-1498.
- World Health Organization (WHO). (2024). Food safety. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). (2023). General Principles of Food Hygiene. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6866dc55-d2c0-48dd-a528-a4d634f1b0b4/content>
- World Health Organization. (2023). Prevention and control of microbiological hazards in fresh fruits and vegetables—Parts 1 & 2: General principles: Meeting report. Food & Agriculture Org.
- Zhang, M. Z., Li, G. J., Dai, R. C., Xi, Y. L., Wei, S. L., & Zhao, R. L. (2017). The edible wide mushrooms of *Agaricus* section *Bivelares* from Western China. *Mycosphere* 8 (10): 1640–1652.

1. ANEXOS

FASE DE MUESTREO EN LA EMPRESA PRODUCTORA DE CHAMPIÑONES



Fuentes: Araúz, 2024.

Figura 7. Procedimiento de muestreo de champiñones en la empresa productora, realizado en el área de cultivo durante la etapa de poscosecha, utilizando equipo de protección personal y técnicas asépticas para evitar la contaminación de las muestras.



Fuentes: Araúz, 2024.

Figura 8. Conservación de muestras de champiñones durante el muestreo en la empresa productora.

FASE EXPERIMENTAL (LABORATORIO)



Fuentes: Araúz, 2024.

Figura 9. Preparación y organización de los materiales de laboratorio utilizados para el análisis microbiológico de las muestras.



Figura 11. Preparación de los medios para el análisis microbiológico



Figura 10. Esterilización de los materiales microbiológicos.

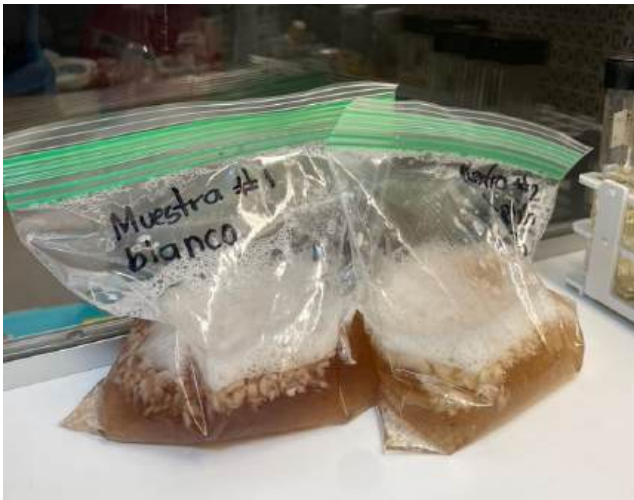


Figura 15. Muestras de champiñones (*Agaricus bisporus*) en bolsas plásticas estériles, como parte del procedimiento de muestreo previo al análisis microbiológico.



Figura 12. Procedimiento de preparación y análisis microbiológico de las muestras en laboratorio.

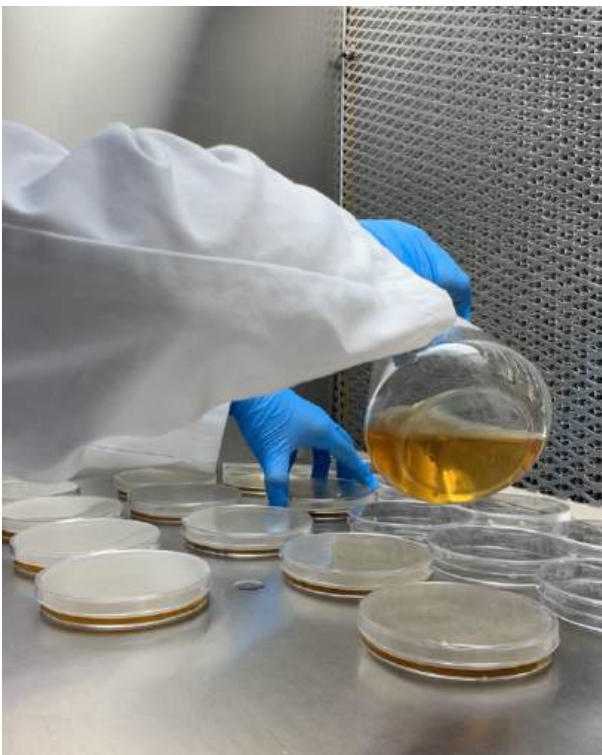


Figura 13. Procedimiento de siembra en placas Petri utilizando el método de vertido en placa para el recuento microbiológico de las muestras.

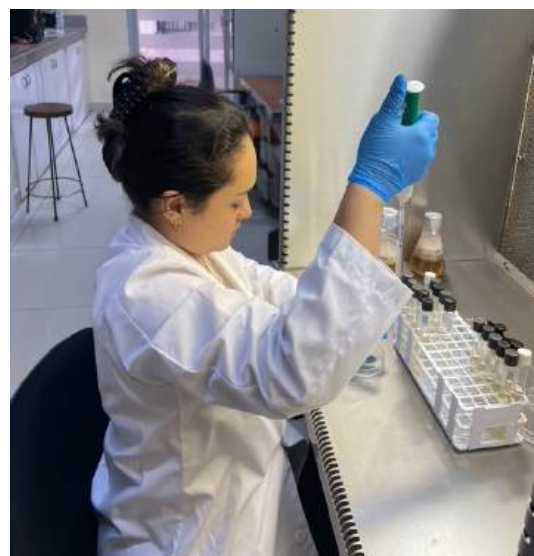


Figura 14. Preparación de diluciones seriadas.



Figura 16. Conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) mediante el método de vertido en placa.



Figura 17. Aislamiento bacteriano en medios selectivos (EMB y MacConkey) mediante el método de estrías en placa.



Figura 18. Re-siembra bacteriana para la obtención de cultivos puros



Figura 19 . Pruebas bioquímicas para la identificación de otras enterobacterias y Gram negativas presentes.

DILUCIONES SERIADAS Y CONTEO DE BACTERIAS

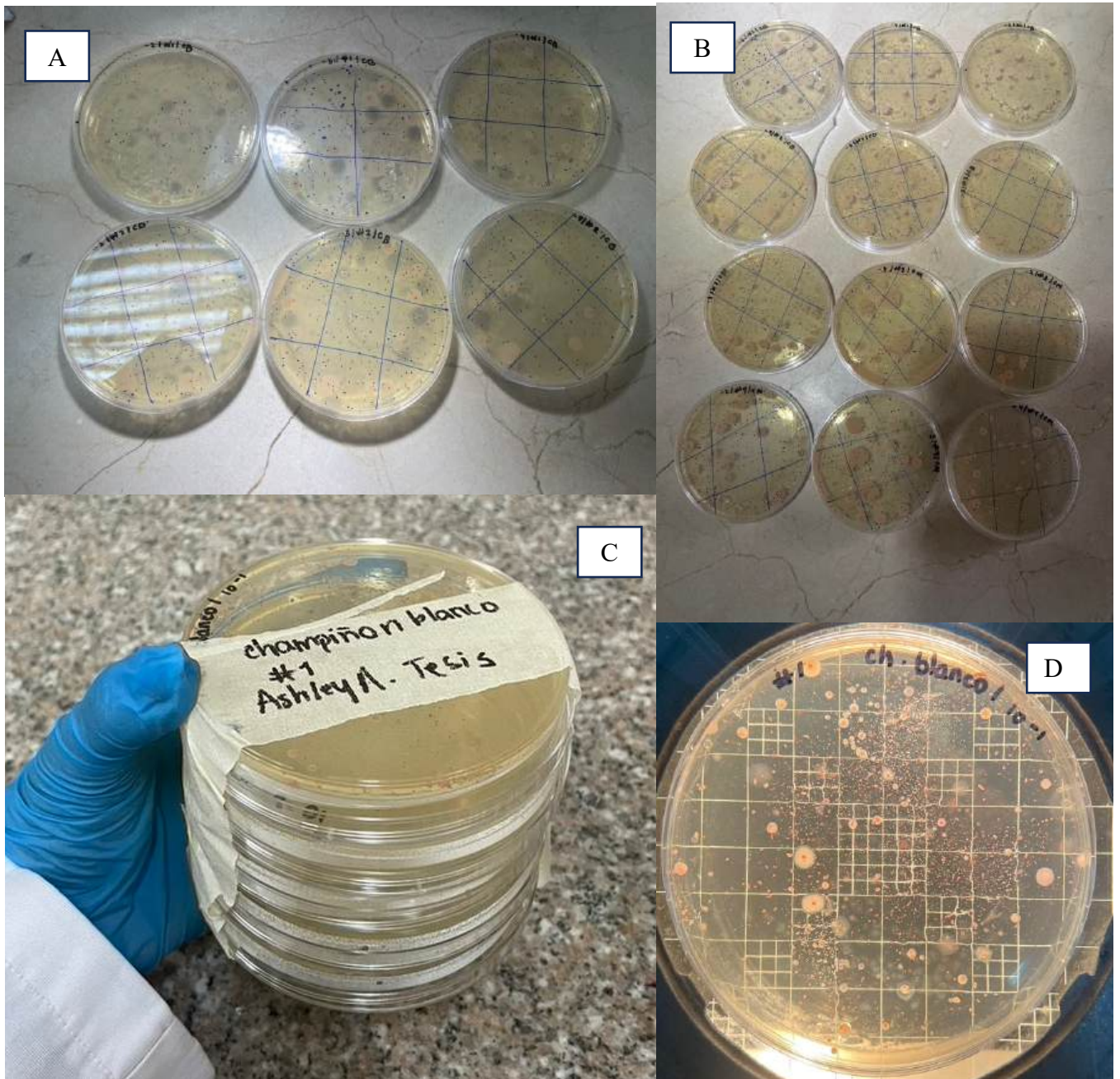
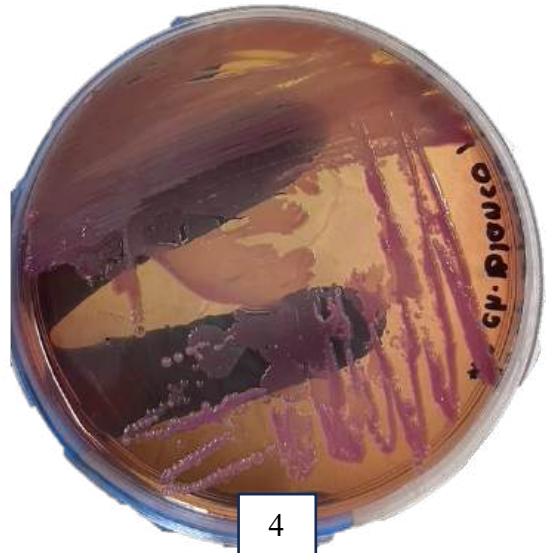


Figura 20. (A) Placas correspondientes a diferentes diluciones seriadas; (B) placas con distribución de colonias tras la incubación; (C) apilamiento y rotulación de placas Petri preparadas para el conteo; (D) placa representativa utilizada para el recuento de colonias bacterianas.

RESULTADOS DE LABORATORIO



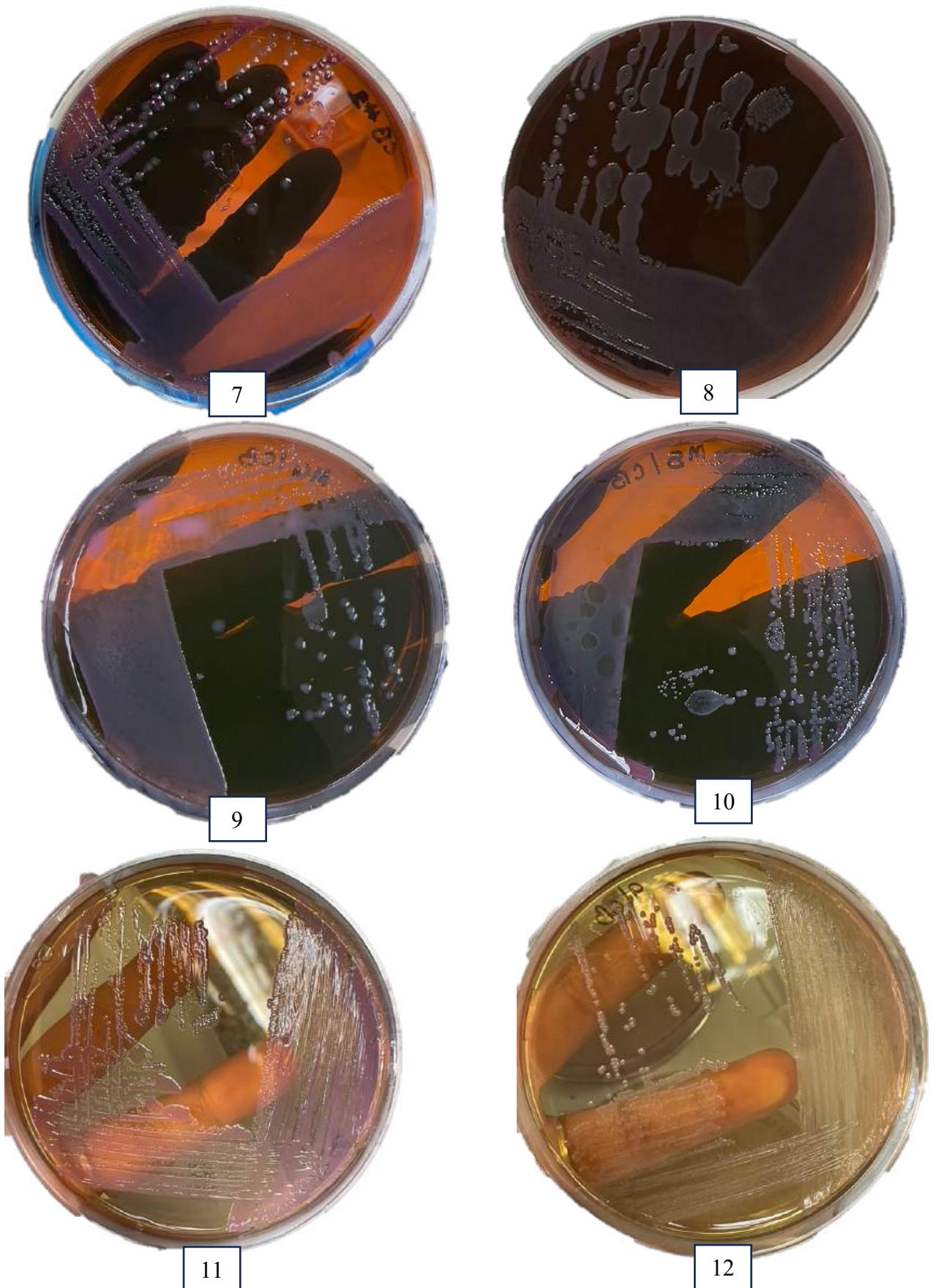


Figura 21. Aislamientos bacterianos obtenidos en agar EMB obtenidos a partir de muestras de champiñones blancos poscosecha. Las placas numeradas del 1 al 12 presentaron crecimiento bacteriano sin presencia de brillo metálico correspondiente a resultados negativos para *E. coli*.

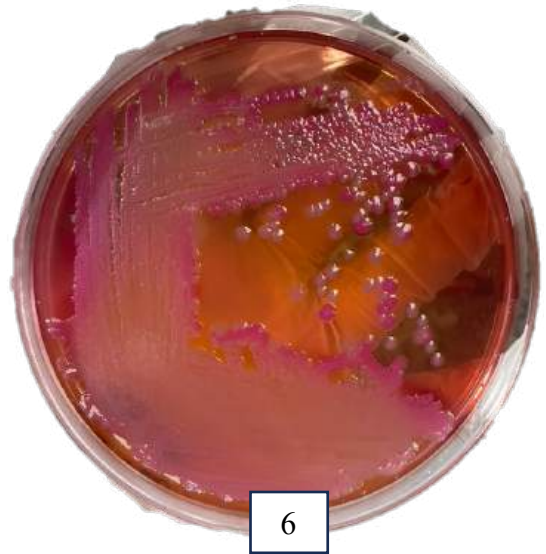
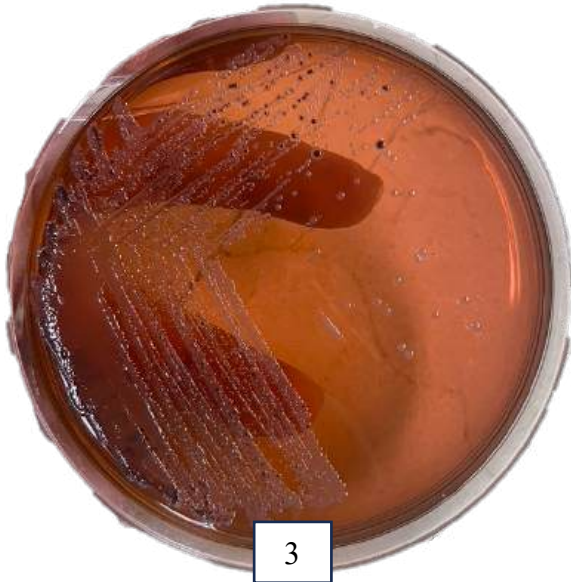




Figura 22. Aislamientos bacterianos obtenidos en agar EMB a partir de muestras de champiñones Portobello en poscosecha. Las Figuras 4, 8 y 10 presentaron crecimiento con características típicas de *E. coli*, mientras que las demás placas no mostraron rasgos compatibles con este microorganismo.

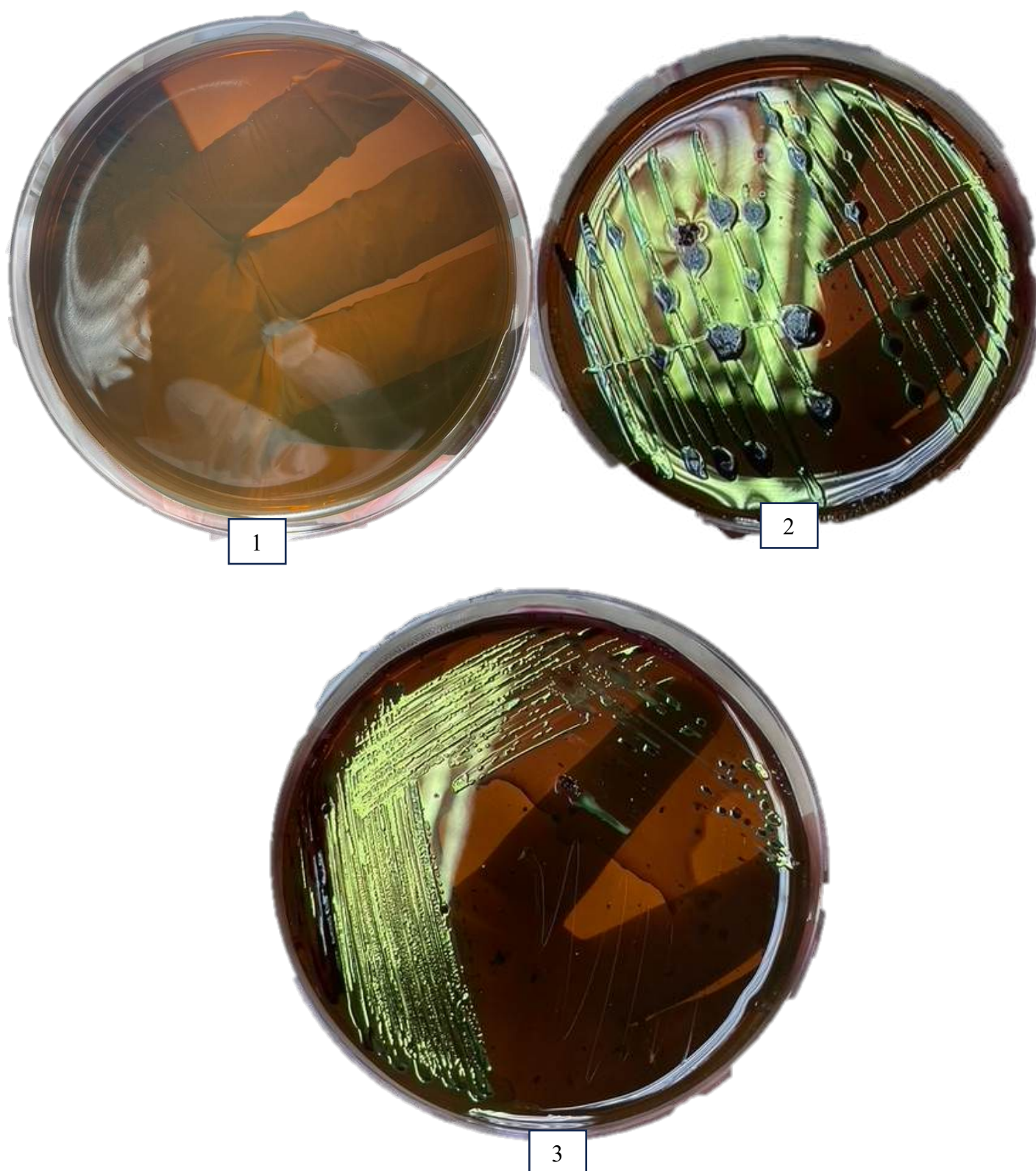


Figura 23. Aislamientos bacterianos en agar EMB obtenidos a partir de muestras de producto final de champiñones blancos. Las Figuras 2 y 3 evidencian crecimiento con características presuntivas de *E. coli*, en contraste con la Figura 1, que resultó negativa.



Figura 24. Aislamientos bacterianos en agar EMB obtenidos a partir de muestras de producto final de champiñones Portobello. Las Figuras 2 y 3 evidencian crecimiento con características presuntivas de *E. coli*, en contraste con la Figura 1, que resultó negativa.

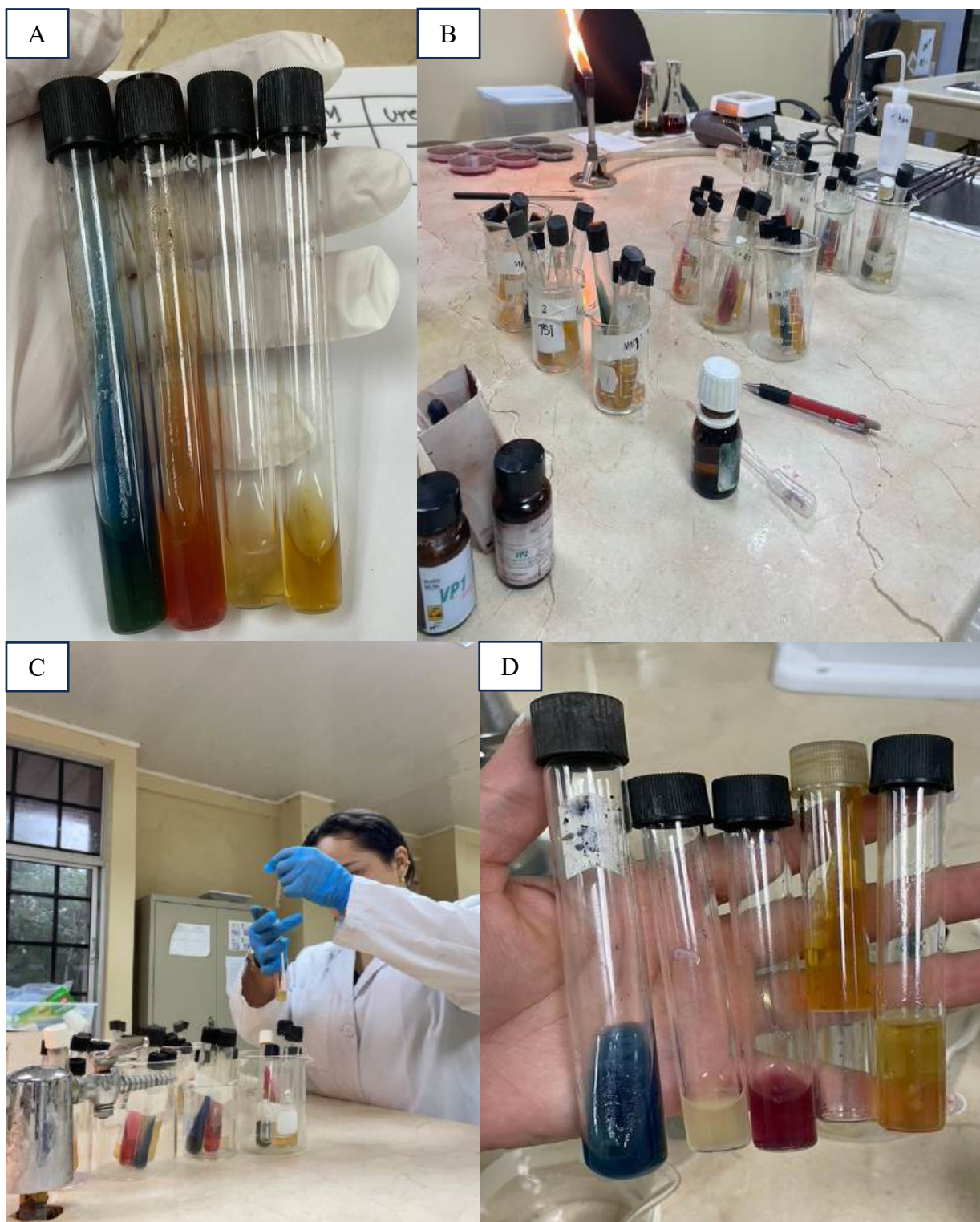


Figura 25. (A) Resultados de pruebas bioquímicas en tubos, evidenciando diferentes reacciones metabólicas; (B) disposición del material y medios utilizados para la realización de las pruebas bioquímicas en el laboratorio; (C) procedimiento de inoculación de los aislamientos bacterianos en los medios bioquímicos, realizado bajo condiciones de asepsia; (D) reacciones finales obtenidas en los distintos medios bioquímicos, utilizadas para la identificación presuntiva de otras enterobacterias y bacterias Gram negativas presentes en las muestras de champiñones.