UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

"ESTUDIO DE LA CINÉTICA DEL CRECIMIENTO MICROBIANO EN HAMBURGUESA A BASE DE CARNE DE CUY (*Cavia porcellus*)"

TESIS PARA OPTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Autoras : Bach. Katia Karlita Rodriguez Frias

Bach. Jhuly Vanessa Pérez Gonzáles

Asesores : Dr. Frank Fernández Rosillo

M. Cs. Eliana Milagros Cabrejos Barrios

Línea de investigación: LI_IIA_03 Ingeniería de Procesos Alimentarios

JAÉN-PERÚ, SEPTIEMBRE 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

"ESTUDIO DE LA CINÉTICA DEL CRECIMIENTO MICROBIANO EN HAMBURGUESA A BASE DE CARNE DE CUY (*Cavia porcellus*)"

INFORME FINAL DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Autoras : Bach. Katia Karlita Rodriguez Frias

Bach. Jhuly Vanessa Pérez Gonzáles

Asesores : Dr. Frank Fernández Rosillo

M. Cs. Eliana Milagros Cabrejos Barrios

Línea de investigación: LI_IIA_03 Ingeniería de Procesos Alimentarios

JAÉN-PERÚ, SEPTIEMBRE 2025

Katia Karlita Rodriguez Frias Jhuly Vanessa Pérez ...

ESTUDIO DE LA CINÉTICA DEL CRECIMIENTO MICROBIANO EN HAMBURGUESA A BASE DE CARNE DE CUY (Cavia porcellus)

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3323327747

Fecha de entrega
28 ago 2025, 12:54 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
28 ago 2025, 12:56 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
crecimiento_microbiano_de_hamburguesas_de_cuy_26-08-2025_1.pdf

Tamaño del archivo
2.5 MB

106 páginas

20.546 palabras

100.343 caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Segundo Sánchez Tello
Responsable (e) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Exclusiones

- N.° de fuente excluida

Fuentes principales

5%	Fuentes de Internet
0%	Publicaciones
2%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alerta de integridad para revisión

Caracteres reemplazados
129 caracteres sospechosos en N.° de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Segundo Sánchez Tello
Responsable (e) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 17 de setiembre del año 2025, siendo las 16:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano
Secretario: Dr. Juan Dario Rios Mera
Vocal: Dr. Gary Charly García Guevara, para evaluar la Sustentación de:

( ) Trabajo de Investigación
(X) Tesis
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"ESTUDIO DE LA CINÉTICA DEL CRECIMIENTO MICROBIANO EN HAMBURGUESA A BASE DE CARNE DE CUY (*Cavia porcellus*)"**, presentado por las tesistas **Katia Karlita Rodríguez Frias** y **Jhuly Vanessa Pérez Gonzáles** de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:
(x) Aprobar ( ) Desaprobar (x) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

a)	Excelente	18, 19, 20	( )
b)	Muy bueno	16, 17	(16)
c)	Bueno	14, 15	( )
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 ó menos	( )

Siendo las 17:11 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 17 de setiembre de 2025

Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano
Presidente

Dr. Juan Dario Rios Mera
Secretario

Dr. Gary Charly García Guevara
Vocal

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

Nosotras, **Katia Karlita Rodriguez Frias** y **Jhuly Vanessa Pérez Gonzáles** egresadas de la carrera **Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias** de la Facultad de **Ingeniería** de la Universidad Nacional de Jaén, identificadas con DNI **73579117 y 74562061**:

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos las autoras del trabajo titulado:

   “**Estudio de la cinética del crecimiento microbiano en hamburguesa a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*)**”.
   Asesorado por **Dr. Frank Fernández Rosillo y M. Cs. Eliana Milagros Cabrejos Barrios**
   El mismo que presento bajo la modalidad de **Informe final de tesis** para optar; el Título Profesional de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**

2. El texto de nuestro trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de nuestro trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presentamos no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuimos a nuestra autoría son veraces.
5. Declaramos que nuestro trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Somos conscientes de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumimos frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 06, noviembre y 2025.

Autoras:



Bach. Katia Karlita Rodriguez Frias



Bach. Jhuly Vanessa Pérez Gonzáles

Asesores:



Dr. Frank Fernández Rosillo



M. Cs. Eliana Milagros Cabrejos Barrios

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN 1

ABSTRACT 2

I. **INTRODUCCIÓN** 3

II. **MATERIALES Y MÉTODOS** 10

2.1. Lugar de ejecución 10

2.2. Población, muestra y muestreo 10

2.2.1. Población 10

2.2.2. Muestra 10

2.2.3. Muestreo 11

2.3. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos 11

2.3.1. Métodos, técnicas y procedimientos 11

2.3.2. Recolección de datos 20

2.4. Análisis de datos 21

III. **RESULTADOS** 22

3.1. Análisis microbiológico de las hamburguesas a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*). 22

3.1.1. Análisis microbiológico de *Aerobios mesófilos* 22

3.1.2. Análisis microbiológico de *Staphyloccocus aureus* 23

3.1.3. Análisis microbiológico de *Escherichia coli* 24

3.2. Análisis físico químico de las hamburguesas a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*) 25

3.2.1. Estadística inferencial de los parámetros físicoquímicos 25

3.3. Determinación de los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano por el modelo de Gompertz 26

3.3.1. Modelamiento del crecimiento microbiano según el modelo de Gompertz para *Aerobios mesófilos* 26

3.3.2. Modelamiento del crecimiento microbiano según el modelo de Gompertz para *Staphyloccocus aureus* 30

IV. **DISCUSIÓN** 34

V. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES** 41

VI. **REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA** 44

DEDICATORIA 52

AGRADECIMIENTO 53

ANEXOS 54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Medios de cultivo empleados para análisis microbiológico 17

Tabla 2 Resultados del análisis inicial de la hamburguesa a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*) 22

Tabla 3 Recuento de UFC/mL de *Aerobios mesófilos* durante el almacenamiento 23

Tabla 4 Recuento de UFC/mL de *Staphylococcus aureus* durante el almacenamiento 24

Tabla 5 Identificación de *Escherichia coli* 24

Tabla 6 Promedio de las características fisicoquímicas de la hamburguesa a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*) durante el almacenamiento 25

Tabla 7 Determinación de las constantes de la ecuación de Gompertz y parámetros de crecimiento para *Aerobios mesófilos* en almacenamiento 29

Tabla 8 Determinación de las constantes de la ecuación de Gompertz para las diferentes temperaturas de 30, 35 y 40 °C en *Staphyloccocus aureus* 32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo para la elaboración de hamburguesa a base de carne de cuy (Cavia porcellus)..... 14

Figura 2 Modelamiento de Gompertz para el crecimiento microbiano de Aerobios mesófilos a 30 °C..... 27

Figura 3 Modelamiento de Gompertz para el crecimiento microbiano de Aerobios mesófilos a 35 °C..... 27

Figura 4 Modelamiento de Gompertz para el crecimiento microbiano de Aerobios mesófilos a 40 °C..... 28

Figura 5 *Modelamiento de Gompertz para el crecimiento microbiano de Staphyloccocus aureus a 30 °C*..... 30

Figura 6 Modelamiento de Gompertz para el crecimiento microbiano de Staphyloccocus aureus a 35 °C..... 31

Figura 7 Modelamiento de Gompertz para el crecimiento microbiano de Aerobios mesófilos a 35 °C..... 31

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico: Elaboración de hamburguesa 54
Anexo 2. Evaluación microbiológica 56
Anexo 3. Tabla de recolección de datos microbiológicos de la evaluación de la hamburguesa de carne de cuy (*Cavia porcellus*)- *Aerobios mesófilos* 57
Anexo 4. Recolección de datos microbiológicos de la evaluación de la hamburguesa de carne de cuy (*Cavia porcellus*)- *Staphyloccocus aureus* 60
Anexo 5. Cinética de crecimiento microbiano de Aerobios mesófilos a temperatura de 30 °C, 35°C y 40°C en diferentes horas de evaluación 0, 24, 48, 72 y 96 h para R1 63
Anexo 6. Constantes del modelo matemático de Gompertz para Aerobios mesófilos en R1 64
Anexo 7. Cinética de crecimiento microbiano de Aerobios mesófilos a temperatura de 30 °C, 35°C y 40°C en diferentes horas de evaluación 0, 24, 48, 72 y 96 h para R2 65
Anexo 8. Constantes del modelo matemático de Gompertz para Aerobios mesófilos en R2 66
Anexo 9. Cinética de crecimiento microbiano de Aerobios mesófilos a temperatura de 30 °C, 35°C y 40°C en diferentes horas de evaluación 0, 24, 48, 72 y 96 h para R3 67
Anexo 10. Constantes del modelo matemático de Gompertz para Aerobios mesófilos en R3 68
Anexo 11. Análisis estadístico del crecimiento de *Aerobios mesófilos* en hamburguesas a base de carne de cuy (Cavia porcellus) 69
Anexo 12. Pruebas adicionales para confirmación de *Staphylococcus aureus* 70
Anexo 13. Cinética de crecimiento microbiano de Staphylococcus aureus a temperatura de 30 °C, 35°C y 40°C en diferentes horas de evaluación 0, 24, 48, 72 y 96 h para R1 71
Anexo 14. Constantes del modelo matemático de Gompertz para Staphylococcus aureus en R1 72
Anexo 15. Cinética de crecimiento microbiano de Staphylococcus aureus a temperatura de 30 °C, 35°C y 40°C en diferentes horas de evaluación 0, 24, 48, 72 y 96 h para R2 73
Anexo 16. Constantes del modelo matemático de Gompertz para Staphylococcus aureus en R2 74

Anexo 17. Cinética de crecimiento microbiano de Staphylococcus aureus a temperatura de 30 °C, 35°C y 40°C en diferentes horas de evaluación 0, 24, 48, 72 y 96 h para R3 75
Anexo 18. Constantes del modelo matemático de Gompertz para Staphylococcus aureus en R3 76
Anexo 19. Análisis Estadístico del Crecimiento de *Staphylococcus aureus* en hamburguesas a base de carne de cuy (Cavia porcellus) 77
Anexo 20. Análisis estadístico de los parámetros cinéticos para el crecimiento microbiano, ANOVA/Kruskal-Wallis y pruebas post-hoc (Tukey/Dunn). 79
Anexo 21. Pruebas adicionales para confirmación de *Escherichia coli* 85
Anexo 22. Evaluación del pH de la hamburguesa a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*) 86
Anexo 23. Evaluación de la acidez de *la hamburguesa a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*)* 87
Anexo 24. Evaluación de acidez y pH de hamburguesas de carne de cuy (*Cavia porcellus*) almacenadas a diferentes temperaturas (30°C, 35 °C, 40°C) y diferentes horas de evaluación (0h, 24h, 48h, 72h, 96h). 88
Anexo 25. Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Breusch-Pagan) para las observaciones (código y resultados del software Phyton) 90
Anexo 26. Análisis de la Acidez (ANOVA) y del pH (Kruskal-Wallis) (código y resultados del software Phyton) 92
Anexo 27. Comparación de pH y acidez por temperatura 94
Anexo 28. Comparación múltiple de medias – Prueba de Tukey (Acidez) (código y resultados del software Phyton) 95
Anexo 29. Promedio del pH de la hamburguesa a base de carne de cuy (Cavia porcellus) 97
Anexo 30. Promedio de la acidez de la hamburguesa a base de carne de cuy (Cavia porcellus) 98
Anexo 31. QR para visualizar el consentimiento informado de los participantes que colaboraron con la investigacióna 99

RESUMEN

El modelamiento de la cinética de crecimiento microbiano representa una herramienta de estimación y predicción efectiva en la conservación de productos cárnicos. El objetivo del estudio fue evaluar la cinética del crecimiento microbiano mediante el modelo de Gompertz y las características fisicoquímicas (pH y acidez titulable) en hamburguesa a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*) almacenadas a 30, 35 y 40 °C por 96 h. El análisis microbiológico se realizó mediante la técnica de siembra en placa y recuento de colonias para *Aerobios mesófilos*, *Escherichia coli* y *Staphyloccocus aureus*, se determinaron las constantes del modelo (*C*, *B* y *M*) y los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano (λ, *G* y $\mu_{máx}$). El análisis microbiológico mostró ausencia de *E. coli* y presencia de *Aerobios mesófilos* y *S. aureus*, con un aumento progresivo. La acidez se vio influenciada significativamente por el tiempo y la temperatura durante el almacenamiento y para el pH no se encontraron diferencias significativas entre las temperaturas. Los valores del R^2 >0.999 confirmaron que el modelo describió adecuadamente los datos experimentales del crecimiento microbiano. Concluyendo que el modelamiento para *S. aureus* mostró que, a condiciones térmicas más altas se reduce el crecimiento, opuesto a los *Aerobios mesófilos*.

Palabra clave: Modelo de Gompertz, *Aerobios mesófilos*, recuento microbiano, curva de crecimiento.

ABSTRACT

The modeling of microbial growth kinetics represents an effective estimation and prediction tool in the preservation of meat products. The objective of the study was to evaluate the kinetics of microbial growth using the Gompertz model and the physicochemical characteristics (pH and titratable acidity) in guinea pig (*Cavia porcellus*) meat patties stored at 30, 35 and 40 °C for 96 h. The study was carried out using the Gompertz model and the physicochemical characteristics (pH and titratable acidity) of the hamburger. Microbiological analysis was performed by plate seeding and colony counting for *mesophilic Aerobes*, *Escherichia coli* and *Staphyloccocus aureus*, the model constants (*C*, *B* and *M*) and the kinetic parameters of microbial growth (λ, *G* and μ_{max}) were determined. Microbiological analysis showed the absence of *E. coli* and the presence of *mesophilic Aerobes* and *S. aureus*, with a progressive increase. Acidity was significantly influenced by time and temperature during storage and for pH no significant differences were found between temperatures. The R^2 values >0.999 confirmed that the model adequately described the experimental data of microbial growth. Concluding that the modeling for *S. aureus* showed that, at higher thermal conditions, growth is reduced, opposed to *mesophilic Aerobes*.

Keywords: Gompertz model, mesophilic aerobes, microbial count, growth curve.

I. INTRODUCCIÓN

El cuy es considerado como mamífero roedor oriundo de la Cordillera de los Andes, fue utilizado como una fuente principal de alimentos y comercialización en mercados locales (Miño y Bosquez, 2021). La carne de cuy se incluye en la dieta humana debido a su contenido de colágeno, vitaminas y minerales; además, presenta menos del 10% de grasas, 14% de proteínas; también, es bajo en colesterol y sodio (Lara, 2020), en el ámbito de la gastronomía la carne de cuy ha tomado relevancia como plato típico exótico (Miño y Bosquez, 2021).

Entre los factores que caracterizan la productividad del cuy y carcasa destaca el peso corporal, la rentabilidad de la carcasa, el potencial de hidrógeno (Sánchez et al., 2010). El pH es un factor que afecta la calidad y la terneza de la carne (Llorente et al., 2025). El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2023) promueve el consumo de carne de cuy potenciando la cadena productiva, se calcula que la población de cuyes ofertada asciende a 25 millones; además se estima que el Perú es el mayor exportador de carne de cuy, con una participación del 71.3% en el mercado exterior.

Cárdenas y Cárdenas (2017) proponen un proceso para elaborar hamburguesa a partir de la carne de cuy brindando valor nutritivo y un procesamiento eficiente, como base de un nuevo producto que satisfaga la creciente cultura que busca alimentos innovadores e inocuos (Naranjo y Arias, 2020), resaltando la necesidad de evaluar su deterioro microbiológico a través del modelo de Gompertz.

Para garantizar la seguridad de los alimentos procesados una de las herramientas empleadas es la microbiología predictiva, que evalúa las condiciones adecuadas para el proceso a través de modelos de crecimiento microbiano como el de Gompertz (Serment, 2021), haciendo uso de parámetros de predicción como el tiempo de retardo, la tasa de crecimiento microbiano y el valor A que determina la cinética de deterioro (Bölük et al.,

2024). Asimismo, el modelo de Gompertz encuentra varias aplicaciones en el análisis del crecimiento en el campo de la biotecnología como también en la cinética del crecimiento microbiano y la cinética de bioproducción, destacando su importancia por desempeñar un papel fundamental como herramienta predictiva (Wang y Guo, 2024).

Los antecedentes en el estudio fueron:

Beldarraín et al. (2022) determinaron la capacidad inhibidora del Lactobacillus acidophilus en el crecimiento de *Escherichia coli spp*. y *Staphylococcus aureus* en un embutido fermentado (chorizo); el experimento consistió en inocular los patógenos en la masa de dos tipos de chorizo uno con el cultivo iniciador L. acidophilus y otro sin cultivo iniciador, se evaluó la inactivación en un periodo de 30 días a 18 ± 2°C; la concentración de los patógenos fue de 10^3 UFC/g y del cultivo iniciador de 10^4 UFC/g. Los autores empelaron 4 modelos matemáticos, el de Gompertz modificado para los datos de: tasa máxima de crecimiento (μmax) (h^{-1}), duración de la fase de latencia (LPD) (h), tiempo de generación (tg) (h), tasa de crecimiento exponencial (TCE) y densidad máxima microbiana (Nmax (log UFC/mL)); y, para evaluar la inactivación microbiana se emplearon 3 modelos: el modelo logarítmico lineal, de Weibull, bifásico y el lineal con cola. El resultado fue que los patógenos disminuyeron 2.5 log UFC/g en todos los tratamientos, pero el tiempo de reducción fue distinto (3 a 6 días para chorizo con cultivo y 8 a 7 días para sin cultivo). Concluyeron que el modelo matemático de Gompertz modificado se ajusta para predecir el comportamiento de ambos patógenos, y que el mejor modelo matemático para evaluar la inactivación microbiana es el modelo bifásico.

Zárate (2021) en su investigación modelaron las curvas de supervivencia no lineal para determinar la inactivación térmica de *Salmonella ssp*, *Escherichia coli* y bacterias ácido lácticas en la carne molida de pollo; se empleó 3 temperaturas (55, 60 y 65 °C); sus tratamientos fueron analizados en diferentes tiempos para obtener las curvas sigmoidales

de muerte celular las cuales fueron ajustadas con el modelo de Gompertz. Se obtuvo como resultado que la disminución de la población bacteriana en unidades logarítmicas (UL Log UFC/g) de la carne molida de pollo fue mayor para las bacterias ácido lácticas 5.35 UL, para *Salmonella ssp* fue de 4.83 UL y para *Escherichia coli* fue de 4.89 UL; posteriormente se empleó el modelo de Bigelow para obtener el valor de sobrevivencia (Valor D) para cada temperatura, donde el valor D para 65 °C tuvo mayor efecto sobre *Salmonella ssp* y bacterias ácido lácticas con 0.78 y 0.82 minutos respectivamente, mientras que para *Escherichia coli* el tiempo fue de 0.93 minutos. El autor concluye que las temperaturas mayores a 65 °C tienen mayor efecto sobre *Salmonella ssp* y las bacterias ácido lácticas.

Mejía y Romero (2020) evaluaron el tiempo de vida útil de la longaniza de pollo utilizando cebollín (Allium schoenoprasum) y sacha culantro (Eryngium foetidum), esta investigación consistió en realizar un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial, de 3x3 con 3R, los factores tuvieron 3 niveles (1%, 2%, 3%) y estos fueron A: Cebollín y el factor B: Culantro, obtuvieron un total de 9 tratamientos y 27 Ud. experimentales; los tratamientos fueron sometidos a la prueba de Kruskal-Wallis identificando que los 9 tratamientos tienen diferencias significativas. Los autores obtuvieron como resultado que el mejor tratamiento sensorial fue el T5 (20% culantro y 20% cebollín), a dicho tratamiento se le realizó los análisis microbiológicos para levaduras, hongos, Coliformes Totales y E. Coli, el resultado fue un crecimiento exponencial microbiano llegando al número máximo permisible de microorganismos (<10 UFC) a las 96 h, de acuerdo a la NTE INEN 1338-2012; este resultado fue comparado con una muestra control (sin especias) la cual tuvo el máximo permisible de microorganismos (<8 UFC) a las 72 h. Finalmente, los autores aplicaron el modelo

matemático Gompertz para determinar la vida útil de la longaniza de pollo, la cual fue de 7 días con 16 h para el T5 y 5 días con 18 h para la muestra control.

Soberon (2020) determinaron la calidad microbiológica y el tiempo de vida útil de las hamburguesas expendidas en mercados del distrito de Los Olivos; para ello evaluó microbiológicamente 36 muestras, y para la determinación de vida útil empleó el modelo matemático de Arrhenius utilizando como indicador el recuento de aerobios mesófilos a tres temperaturas de conservación 5, 15 y 25 °C durante 15 días. Lo que se obtuvo como resultado fue que el 58.33 % (21) de las hamburguesas fueron "no aptas" para el consumo humano; el 30.56 % (11) presentó más de 10^6 UFC/g de bacterias aerobias mesófilas, el 30.56 % (11) más de 50 NMP/g de *Escherichia coli* y el 13.89 % (05) más de 10^2 UFC/g de *Staphylococcus aureus*, el 2.78 % presentó *Salmonella* sp., el 8.33 % *Escherichia coli* O157:H7 y el 19.44 % *Listeria monocytogenes*. Finalmente, se concluyó que la vida útil de las hamburguesas fue de 13 días a 5 °C.

Yu et al. (2020) modelaron la cinética de crecimiento de *Staphylococcus aureus* en carne de vacuno cruda en diferentes empaques: envasado envuelto (WP), envasado en atmósfera modificada (MAP), envasado al vacío (VP) y envasado tipo skin al vacío (VSP). El experimento consistió en inocular *S. aureus* a la carne y almacenarla a 10, 15, 20 y 25°C. Los resultados mostraron que la carne en VP y VSP tuvo un recuento bacteriano bajo y un mayor tiempo de retardo en comparación con WP y MAP en todas las temperaturas. Para la cinética de crecimiento microbiano usaron los modelos primarios de Gompertz modificado y supervivencia de Gompertz reparametrizado, además de modelos secundarios que emplean la ecuación polinómica y el modelo de Davey. Los factores de sesgo (Bf), precisión (Af) y error cuadrático medio (RMSE) de los modelos secundarios fueron 0.91 – 1.09, 1.00 – 1.13 y 0.00 – 0.68 respectivamente. Concluyeron que estos modelos predicen correctamente el crecimiento de *S. aureus*.

Giménez (2019) en su investigación evaluó 2 métodos de conservación no térmicos: ozono gaseoso y altas presiones hidrostáticas (APH) para determinar la vida útil de la carne de res usando como indicador las UFC de la bacteria Listeria monocytogenes; la investigación consistió en cortar discos de carne de 6 cm diámetro × 3 mm espesor a los cuales se le adicionó 218–283 mg O_3/cm^3 en intervalos de tiempo de 3 a 5 hrs, la muestra fue evaluada por 2 semanas y mantenida a 4°C, el segundo tratamiento consistió en aplicar APH (300–600 MPa, 20 ± 5 °C), para la aplicación de APH se acondicionó una solución con 0.06 g $NaNO_2$/100 mL, 0.85 g ácido ascórbico/100 mL y 6 g NaCl/100 mL para preservar el color. La autora obtuvo como resultado que con el primer tratamiento se disminuyó hasta 2 ciclos logarítmicos de *Listeria monocytogenes* (10^3 UFC/ml), para el segundo tratamiento el resultado fue que a 400 MPa se alcanzó una vida útil de 4 semanas, mientras que a 600 MPa se duplicó el índice TBARS respecto a la carne fresca, aunque <1 mg MDA/kg. Para *L. monocytogenes* (10^3 y 10^5 UFC/ml), la reducción inicial fue mayor a 600 MPa, manteniendo la seguridad microbiológica durante el almacenamiento a 4°C, finalmente la autora aplicó el modelo matemático Gompertz para predecir la velocidad de crecimiento de *L. monocytogenes* confirmando que presiones ≥600 MPa ralentizan significativamente la multiplicación bacteriana.

Flores et al. (2017) caracterizaron la carne de cuy con la finalidad de evaluar su empleo como materia prima de un embutido fermentado, para ello evaluaron 3 razas de cuyes la criolla, andina y peruana mejorada. A la carne de cuy de estas 3 razas se le realizaron pruebas de humedad, grasa y ceniza por gravimetría, para la cantidad de proteínas emplearon el método de Kjeldahl, además se evaluó las características sensoriales y microbiológicas para microrganismos como Coliformes totales, *Escherichia coli, Salmonella spp y Staphylococcus aureus*. Los autores obtuvieron como resultado que la humedad para la raza andina fue de 75.6 %, 73.3 % en la peruana mejorada y 72.7 % en

la criolla; con respecto al contenido de proteínas el mayor puntaje lo obtuvo la raza criolla con 19.1 % esta raza también obtuvo el menor contenido de grasa (7.6 %). En cuanto a las características microbiológicas estas cumplieron con la norma RTE INEN 056 "Carne y productos cárnicos". Los autores concluyeron que la calidad de la carne de cuy permite su utilización en la formulación de un producto cárnico.

Pereira et al. (2017) elaboraron productos cárnicos a base de carne de cuy siendo esta materia prima la principal de su formulación, los productos elaborados fueron carne de hamburguesa y chorizo los cuales fueron adicionados a 10 recetas de cocina las cuales fueron: para chorizo: posta cartagenera rellena de chorizo, ballotine de pollo con chorizo, mini choripán en pan de yogurt, arroz atollado valluno con chorizo, llapingachos de chorizo y queso Paipa; para Hamburguesa: marranitas vallunas, carimañolas con suero, moussaka griega, mini hamburguesas en brioche y queso colby, canelones con cuy, champiñones y queso Paipa Saravena. Estas preparaciones fueron sometidas a una encuesta de aceptación. Las preparaciones más aceptadas fueron las mini hamburguesas y el choripán ya que estos lograban resaltar mejor el sabor de la carne; además identificaron que el 58.3% de los encuestados prefieren la carne de hamburguesa. Los autores concluyeron que la hamburguesa y el chorizo presentan buenas características de sabor, aroma y textura.

Los productos cárnicos son altamente susceptibles al deterioro por ser perecibles, lo que conlleva a no garantizar un adecuado aporte nutricional a la dieta alimenticia, debido a los diferentes microrganismos degradantes que pueden desarrollase en el alimento por diferentes motivos entre ellos su exposición a factores extrínsecos como la temperatura, el pH, la a_w; lo que impediría mantener las características organolépticas, calidad nutricional e inocuidad (Majumdar et al., 2018). Además del limitado aprovechamiento a nivel industrial de la carne de cuy que es expendida de forma artesanal.

La elaboración de un producto innovador a base de carne de cuy es una propuesta que puede satisfacer la creciente cultura de consumidores que buscan alimentos innovadores e inocuos (Naranjo y Arias, 2020), con atributos beneficiosos para el consumidor como lo es la carne de cuy por su aporte en colágeno, vitaminas y minerales; presentando baja cantidad de grasa 8.56% y un alto contenido de proteínas 17.78% (Flores et al., (2017); además de aprovechar la disponibilidad de la materia prima existente en la región (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2023b). Por otro lado, el empleo de modelos matemáticos como Gompertz hace posible las predicciones de crecimiento microbiano lo que es pieza importante para establecer programas de análisis de peligros y puntos críticos de control; ya que la carne cruda o procesada es un producto altamente susceptible a la contaminación por microorganismos patógenos en diferentes etapas de la cadena de producción, convirtiéndose en la principal causa de enfermedades gastrointestinales a nivel mundial (Heredia et al., 2014); además de poder realizar predicciones de vida útil en alimentos, donde el descriptor de calidad lo representa los microorganismos (Yarce, 2013).

El estudio tuvo como objetivo evaluar la cinética del crecimiento microbiano de hamburguesa a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*), asimismo, los objetivos específicos fueron realizar el análisis microbiológico para *Aerobios mesófilos*, *E. coli y Staphyloccocus aureus* de las hamburguesas de carne de cuy (*Cavia porcellus*) almacenadas a 30, 35 y 40 °C, analizar las características físico químico (pH y acidez titulable) de las hamburguesas de carne de cuy (*Cavia porcellus*) almacenadas a 30, 35 y 40 °C y determinar los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano por el modelo de Gompertz.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

En la Universidad Nacional de Jaén se emplearon los ambientes según detalle: en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias se realizó la elaboración de hamburguesa a base de carne de cuy, en el Laboratorio de Bromatología y Control de Calidad de la misma escuela se realizaron los análisis microbiológicos y fisicoquímicos.

2.2. Población, muestra y muestreo

2.2.1. Población

Producción de carcasa de cuy del mercado Los Ángeles ubicados en la calle Raymondi cuadra 13, distrito de Jaén, Provincia de Jaén y departamento de Cajamarca en el mes de diciembre de 2024.

Producción de carne de res y grasa de cerdo del mercado municipal Roberto Segura ubicado en la calle Orellana s/n piso 1, distrito de Jaén, Provincia de Jaén y departamento de Cajamarca en el mes de diciembre de 2024.

Producción de condimentos expendidos en el centro comercial “Mega Plaza” ubicado en la Av. Manuel Antonio Mesones Muro, distrito de Jaén, provincia de Jaén y departamento de Cajamarca en el mes de diciembre de 2024.

2.2.2. Muestra

3 375 g de carne de cuy, 1 350 g de carne de res, 1 350 g de grasa de cerdo, 675 g de condimentos (comino, pimienta blanca, páprica, ajo, sal común, cebolla, glutamato monosódico) y sal de cura (nitrato de sodio) adquirido en el mes de diciembre de 2024.

2.2.3. Muestreo

Para la adquisición de la carcasa de cuy, carne de res, grasa de cerdo y condimentos el muestreo fue no probabilístico, según conveniencia de los investigadores. Las hamburguesas analizadas microbiológicamente y fisicoquímicamente tenían 150 g cada una.

2.3. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos

2.3.1. Métodos, técnicas y procedimientos

La investigación se realizó en 3 etapas; la etapa 1 consistió en realizar el análisis microbiológico para *Aerobios mesófilos*, *Staphyloccocus aureus* y *E. coli* de las hamburguesas a base de carne de cuy (*Cavia porcellus)* almacenadas a 30, 35 y 40 °C; la etapa 2 fue analizar las características físico químico (pH y acidez titulable) de las hamburguesas de carne de cuy (*Cavia porcellus*) almacenadas a 30, 35 y 40 °C; y, finalmente la etapa 3 fue la determinación de los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano por el modelo de Gompertz

Etapa 1: Evaluación del análisis microbiológico para *Aerobios mesófilos*, *E. coli* y *Staphyloccocus aureus* de las hamburguesas de carne de cuy (*Cavia porcellus*) almacenadas a 30, 35 y 40 °C.

Elaboración de la carne de hamburguesa a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*) (Anexo 1).

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo para la elaboración de la carne de hamburguesa a base de carne de cuy; las etapas se describen a continuación:

- Recepción de materia prima

Las carnes de cuy, res y grasa de cerdo fueron compradas en los mercados Los Ángeles y Roberto Segura respectivamente y se trasladaron haciendo uso de un cooler para asegurar la conservación del producto.

- Curado

La curación de la carne de cuy, res y grasa de cerdo se realizó con sal común (20.1 %) y sal de cura (nitrato de sodio) (1%), ambas en fracción másica con respecto a 100 Kg de carne y el resto de agua (78,9 %) (Baulet Cintra y Cuberlo Hernández, 2023), las cuales pasaron 24 h sumergidas en el líquido de curación y en refrigeración. Posteriormente se separó (deshuesó) la carne de las carcasas de cuy y se cortó la carne de res y grasa de cerdo, en el laboratorio de Bromatología y Control de Calidad de la carrera profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén

- Pesado

Las carnes y los ingredientes fueron pesados en una balanza gramera (OHAUS modelo PAJ2102, Estados Unidos) en las siguientes cantidades: carne de cuy 3 375 g, 1 350 g de carne de res y 1 350 g de grasa de cerdo; y, para los condimentos las cantidades fueron: comino 101.25 g, pimienta blanca 13.5 g, páprica 114.75 g, ajo 114.75 g, sal común 162 g, cebolla 135 g y glutamato monosódico 33. 75 g.

- Molido

La carne de cuy, carne de res y grasa de cerdo fueron trituradas en una moledora de carne (Henkel modelo TK-22PLUS, Alemania).

- Mezclado y moldeado

La carne molida y los ingredientes fueron mezclados manualmente en un bol, luego, haciendo uso de una balanza gramera (OHAUS modelo PAJ2102, Estados Unidos) se pesó 150 g de la mezcla hasta completar 45 unidades y el moldeado se realizó empleando moldes de plástico.

- Empacado

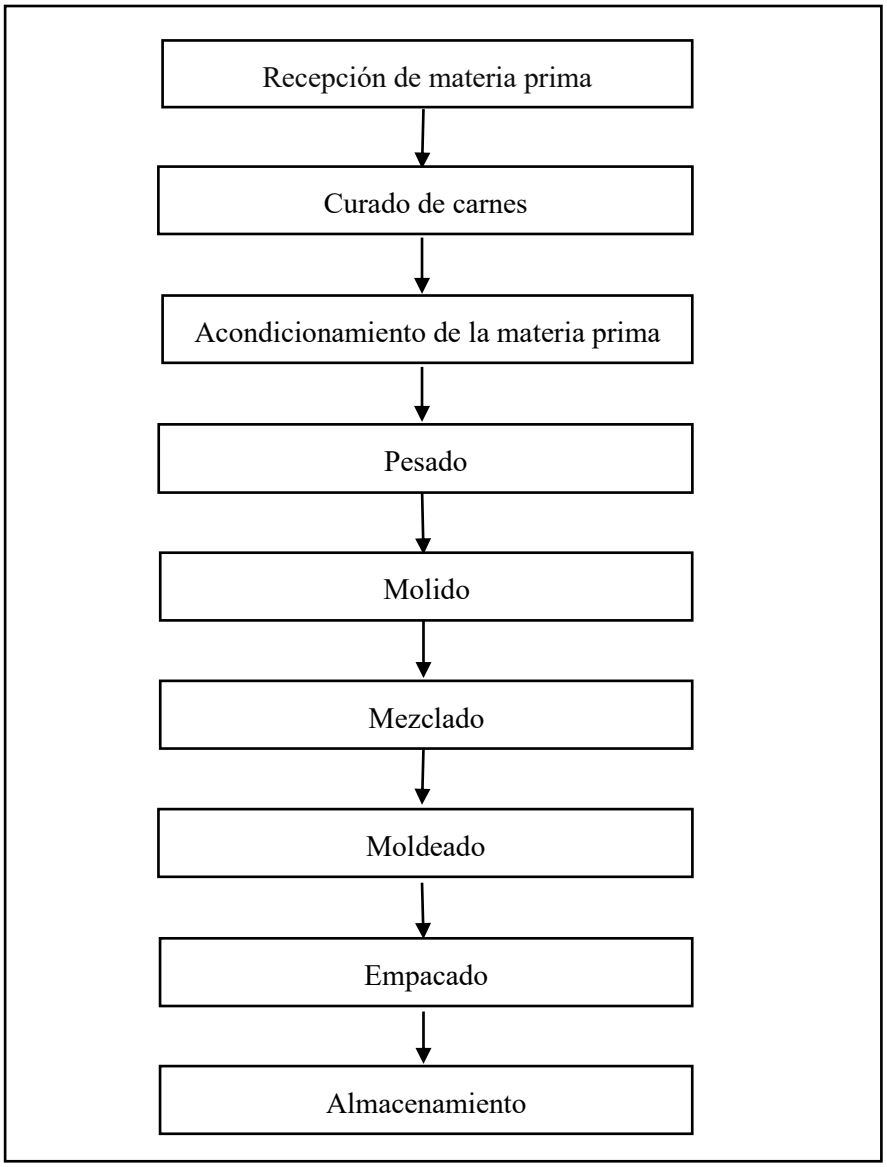
Las hamburguesas fueron empacadas en bolsas ziploc de polipropileno de 10 × 15 cm.

- Almacenamiento

Las hamburguesas fueron almacenadas en 3 estufas de secado (FAITHFUL, modelo GX-45BE, China) a temperaturas constantes de 30, 35 y 40 °C respectivamente por 5 días.

Figura 1

Diagrama de flujo para la elaboración de hamburguesa a base de carne de cuy (Cavia porcellus)



Nota. Adaptado de (Nuñez, 2020)

Evaluación microbiológica

Para el análisis microbiológico se tomó en consideración la NTS N° 071-MINSA/DIGESA-V.01 (DIGESA, 2001) (Anexo 2).

- Diluciones

De las 45 hamburguesas elaboradas se evaluaron 9, que fueron la muestra inicial (día 0), para ello se procedió a pesar 10g de cada uno y se colocaron en frascos de vidrios con tapa rosca conteniendo 90 mL de solución salina representado la primera dilución (10^{-1}), haciendo uso de jeringas estériles se sacó 1 mL de cada dilución y se pasó a un tubo de ensayo de 16x100 mm el cual contenía 9 mL de solución salina lo que representó la segunda dilución (10^{-2}), a continuación con otra jeringa estéril se procedió a pasar 1 mL de esta dilución a otro tubo de ensayo lo que representó la tercera dilución (10^{-3}), el proceso continuó hasta llegar a la quinta dilución (10^{-5}). El proceso se repitió para todas las muestras y para todos los días de evaluación (0-4 días).

- Siembra en placa

Preparadas las diluciones se procedió a inocular 1 mL de las 3 últimas diluciones (10^{-3},10^{-4} y10^{-5}) en placas Petri, haciendo uso de una pipeta volumétrica estéril, la siembra se realizó por duplicado.

Aerobios mesófilos

La siembra de los *Aerobios mesófilos* se realizó con la técnica de placa invertida, primero se colocó la muestra y luego se procedió a colocar el agar Plate Count hasta cubrir la base de la placa (20 mL), a continuación, se realizó la homogenización haciendo movimientos circulares para finalmente dejar enfriar y llevar a incubar a 37 °C por 24 h.

Staphylococcus aureus

Para la siembra de este microorganismo se realizó la técnica de "siembra en superficie", en el cual se agregó el medio de cultivo (Manitol salado) en una placa Petri (20 mL) y se dejó solidificar, a continuación, se vertió 1 mL de la

muestra y se homogenizó con un asa Driglaski de vidrio, finalmente, las placas con la muestra se incubaron a 37 °C por 24 h.

Escherichia coli

El proceso de siembra en placa para este microorganismo consistió en adicionar 20 mL de agar EMB (Eosina Azul de Metileno) a una placa Petri estéril y se dejó solidificar, posteriormente se adicionó 1 mL de la muestra y se homogenizó con un asa Driglaski de vidrio, finalmente, las placas con la muestra se incubaron a 37 °C por 24 h.

- Recuento de colonias

Se utilizó en conteo en placa de cada Unidad Formadora de Colonia (UFC) cuyos resultados fueron tabulados en una tabla (Anexo 3 y 4); para las colonias positivas de *Aerobios mesófilos* se contaron las de color blanco y redondas, las colonias de *S. aureus* fueron de color amarillo y circulares y en el caso de *E. coli* no hubo crecimiento en ningún día evaluado (las colonias positivas debieron ser de color verde metálico) (Anexo 21).

- Pruebas adicionales de confirmación para *S. aureus y E. coli*

Para la confirmación de *S. aureus* las colonias sospechosas fueron sometidas a dos pruebas: Catalasa y coagulasa; donde, la primera consistió colocar una colonia en una lámina portaobjeto y adicionar dos gotas de peróxido de hidrógeno, dando positivo al reaccionar y evidenciarse burbujas. La segunda prueba consistió en obtener plasma para el cual se centrifugó sangre donada por 33 personas (Anexo 31); del plasma obtenido se colocó 0. 5 mL en tubo de ensayo de 12x100 mm y se adicionó 0.5 mL se solución salina más una

colonia; los tubos fueron incubados por 24h a 37 °C, el resultado fue positivo ya que se evidenció la formación de coágulo (Anexo 12).

En la confirmación de *E. coli* se realizó pruebas bioquímicas, los reactivos empleados fueron: Agar hierro tres azúcares (TSI), medio de cultivo SIM, Agar citrato de Simmons; de cada medio se colocó 5 mL en tubos de ensayo de 12x100mm y se dejó solidificar con una ligera inclinación para TSI y Citrato, para SIM se dejó solidificar verticalmente. La siembra consistió en elegir una colonia de la cual se cogió una parte con el asa en punta y así realizar la siembra (misma colonia para todas las pruebas); para la prueba TSI se realizó la siembra por puntura y estriado, en la prueba citrato solo se estrió y la prueba de SIM se sembró mediante una puntura. El resultado fue negativo para TSI (formación de color negro), la prueba Citrato dio negativo (cambió de color de verde a azul) y la prueba SIM fue negativa (formación de anillo de color morado y cambio de color del medio a negro) (Anexo 21).

Tabla 1

Medios de cultivo empleados para análisis microbiológico

Microorganismos	Medios de cultivo
Aerobios mesófilos	Agar Plate count
Staphylococcus aureus	Agar Manitol Salado
Escherichia coli	Agar Eosina Azul de Metileno Agar Hierro Tres Azúcares Agar SIM (Sulfuro, Indol, Motilidad) Agar Citrato de Simmons

Etapa 2: Determinación de las características fisicoquímicas (pH y acidez titulable).

El análisis fisicoquímico de las hamburguesas de carne de cuy (*Cavia porcellus*) almacenadas a 30, 35 y 40 °C se llevó a cabo por triplicado, siguiendo la metodología propuesta por León et al. (2018) (Anexo 24).

- pH

Para determinar el pH se pesó 10 g de muestra, se colocó en un mortero para luego ser triturada, posteriormente se le añadió 100 mL de agua destilada y se filtró con una tela organza, de la muestra filtrada se tomó 25 mL, luego se realizó la lectura del pH en un potenciómetro (marca Mehtrohm) (Anexo 9).

- Acidez

Se realizó mediante el método de titulación, para ello se pesaron 10 g de muestra de hamburguesa, esta se colocó en un mortero para luego ser triturada y posteriormente se añadió 100 mL de agua destilada, luego se filtró con una tela organza limpia, una vez filtrada la muestra se tomó 25 mL y se colocó en tres matraces Erlenmeyer, se añadió 25 mL de agua destilada y 2 gotas de fenolftaleína al 2%. Luego se adicionó NaOH al 0,0478 N estandarizado, hasta virar a un ligero color grosella (Anexo 10). Los resultados se reportaron en porcentaje de acidez según la Ecuación 1:

$$\%(Acidez) = \frac{PE_{(ac)} \times V_{Til} \times N_{NaOH} \times V_{NaOH}}{10 \times M_m \times V_{Tit}} \qquad (1)$$

Donde:

- $PE_{(ac)} = Peso\ equivalente\ del\ ácido\ láctico$
- $V_{Til} = Volumen\ de\ la\ dilución\ de\ la\ muestra$
- N_{NaOH} = Normalidad de la solución NaOH
- V_{NaOH} = Volumen gastado de NaOH

- M_m= Masa de la muestra
- V_{Tit} = Volumen de la muestra titulada
- 10 = factor de conversión para expresar el resultado

Etapa 3: Determinación de los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano con el modelo de Gompertz para las hamburguesas a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*) almacenadas a 30, 35 y 40 °C

Los parámetros cinéticos del crecimiento microbiano para *Aerobios mesófilos* y *S. aureus* con el modelo de Gompertz se calcularon con las Ecuaciones 3, 4 y 5 propuesta por Castro et al. (2008), modificando el modelo empírico (Ecuación 2) propuesto por Gibson et al. (1987).

$$y_t = A + C * e^{-e^{-B(t-M)}} \quad (2)$$

$$N = N_0 + C * e^{-e^{-B(t-M)}} \quad (3)$$

$$\text{Log}(N) = \log(N_0) + C * e^{-e^{-B(t-M)}} \quad (4)$$

$$\text{Log}(\frac{N}{N_0}) = C * e^{-e^{-B(t-M)}} \quad (5)$$

Donde:

- *N*, es el número de microorganismos en un tiempo *t* expresados en log (UFC/mL)
- $N_o > 0$, es el número de microorganismos en el momento inicial, expresado en log (UFC/mL)
- *C*, logaritmo común de la diferencia entre la población inicial y final en la fase estacionaria
- *B*, representa la pendiente de la curva y describe la tasa de crecimiento.
- *M*, tiempo en el cual la tasa de crecimiento es de mayor magnitud.

Las curvas de crecimiento para cada temperatura (30, 35 y 40 °C) y microrganismo (*Aerobios mesófilos* y *S. aureus*) respectivamente, se representaron construyendo gráficas de regresión no lineal con los datos tabulados del recuento de colonias (UFC/mL), donde el eje y = log(N/N_0) y el eje x = t (tiempo en horas) en el cual se evaluaron las muestras.

Asimismo, se calcularon los parámetros de crecimiento a partir de los parámetros del modelo de Gompertz modificado, la velocidad especifica de crecimiento ($\mu_{máx}$), duración de la fase de latencia (λ) y el tiempo de generación (G) con las Ecuaciones 6, 7 y 8 respectivamente, según Gibson et al. (1987) y Juneja et al. (2019).

$$\mu_{máx} = \frac{(B * C)}{e} \tag{6}$$

$$\lambda = M - \frac{1}{B} \tag{7}$$

$$G = \frac{24 * log_{10}(2)e}{B * C} \tag{8}$$

El modelo se ajustó utilizando el paquete estadístico STATISTICA (Versión 12) en la caja de herramientas de ajuste de curvas de mínimos cuadrados no lineales con algoritmo trust-region.

2.3.2. Recolección de datos

Los valores obtenidos de la evaluación fisicoquímica y microbiológica se registraron en una ficha de recolección de datos tabulados en Excel (Anexo 3**,** 4 y 11).

2.4. Análisis de datos

El estudio empleó un diseño factorial teniendo como variable independiente a la temperatura con 3 niveles (30, 35 y 40 °C) y al tiempo (0, 24, 48, 72 y 96 h); como variable dependiente fueron a las UFC/mL de *S. aureus* y de *Aerobios mesófilos*, pH, Acidez titulable y los parámetros cinéticos. Los resultados se evaluaron por triplicado y se expresaron en medias ± desviaciones estándar. Para los resultados de la evaluación microbiológica las diferencias se confirmaron mediante ANOVA de dos vías con interacción significativa ($p < 0.001$) y prueba de Tukey con homogeneidad de varianzas (Levene, $p = 0.05$) y normalidad (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$). Para las variables físicas químicas (pH y acidez) la evaluación de los supuestos paramétricos se realizó con las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Breusch-Pagan), el pH no cumplió con el supuesto de normalidad, se utilizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar y analizar las diferencias significativas entre temperaturas y para la acidez que cumplió ambos supuestos, se aplicó un ANOVA bifactorial para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura. Para los parámetros cinéticos del modelo de Gompertz en el crecimiento de *aerobios mesófilos* previo al análisis de varianza (ANOVA), se verificaron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Levene), para los parámetros que no cumplieron estos supuestos, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis seguida de Dunn y para *S. aureus* incluyó pruebas de ANOVA (previo cumplimiento de supuestos) o Kruskal-Wallis con post-hoc de Dunn cuando fue necesario. Los datos obtenidos fueron procesados con el paquete estadístico STATISTICA (Versión 12.0).

III. RESULTADOS

3.1. Análisis microbiológico de las hamburguesas a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*).

Se realizó la evaluación microbiológica a las hamburguesas a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*) almacenadas a 30, 35 y 40 °C con tiempos de 0, 24, 48, 72 y 96 h **(**Anexo 2**)**, en la Tabla 2 se observa la presencia y ausencia de microorganismos patógenos (*Aerobios mesófilos*, *S. aureus* y *E. coli*) en las muestras de estudio y se evaluó el crecimiento microbiano con respecto a las temperaturas y los días de evaluación. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 2

Resultados del análisis inicial de la hamburguesa a base de carne de cuy (Cavia porcellus)

Tiempo	Microorganismo		
(h)	Aerobios mesófilos	S. aureus	E. coli
0	Presencia	Presencia	Ausencia

3.1.1. Análisis microbiológico de *Aerobios mesófilos*

Los resultados de la evaluación microbiológica para *Aerobios mesófilos* se muestran en la Tabla 3. El crecimiento de *aerobios mesófilos* en las hamburguesas mostró un patrón dependiente de la temperatura y el tiempo de almacenamiento. A las 24 h, el tratamiento a 30 °C presentó un crecimiento significativamente mayor (2.57×10^7 UFC/mL) en comparación con 35 y 40 °C ($p < 0.05$). Sin embargo, a las 48 h, se observó un incremento notable en 40 °C (8.56×10^8 UFC/mL), superando a las demás temperaturas ($p < 0.05$). En los tiempos posteriores (72 y 96 h), no hubo diferencias significativas entre los

tratamientos ($p > 0.05$), aunque todos alcanzaron niveles elevados ($>10^9$ UFC/mL). De donde se infiere que 30 y 35 °C favorecen un crecimiento acelerado en etapas iniciales (24–48 h), mientras que 40 °C promueve un aumento tardío pero significativo **(**Anexo 5, 7 y 9**).** Las diferencias se confirmaron mediante ANOVA de dos vías y prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), con homogeneidad de varianzas (Levene, $p > 0.05$) y normalidad (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$) (Anexo 11).

Tabla 3

Recuento de UFC/mL de Aerobios mesófilos durante el almacenamiento

UFC/mL, *Aerobios Mesófilos* dilución 10^{-5}			
Tiempo (h)	Temperatura		
	30°C	35°C	40°C
0	2.33E+06 ± 7.64E+05 [a]	2.33E+06 ± 7.64E+05 [a]	2.33E+06 ± 7.64E+05 [a]
24	2.57E+07 ± 1.70E+07 [a]	8.67E+06 ± 9.83E+06 [b]	1.20E+07 ± 7.21E+06 [b]
48	5.73E+08 ± 9.99E+07 [b]	2.37E+08 ± 1.27E+08 [b]	8.56E+08 ± 3.71E+08 [a]
72	1.19E+09 ± 5.06E+08 [b]	1.11E+09 ± 5.17E+08 [b]	1.09E+09 ± 3.38E+08 [b]
96	1.94E+09 ± 4.19E+08 [a]	1.64E+09 ± 4.02E+08 [a]	1.56E+09 ± 9.23E+08 [a]

Nota: Media ± desviación estándar. Letras de superíndice diferentes representan diferencias significativas entre los tratamientos según el test de Tukey ($p<0,05$).

3.1.2. Análisis microbiológico de *Staphyloccocus aureus*

Los resultados de la evaluación microbiológica para *S. aureus* se muestran en la Tabla 4. El crecimiento de *S. aureus* en las hamburguesas fue significativamente inhibido a 40 °C en comparación con 30 y 35 °C ($p < 0.05$). A partir de las 24 h, el tratamiento a 40 °C mostró recuentos bacterianos notablemente menores (1.50×10^5 UFC/mL) frente a los otros grupos (10^6–10^7 UFC/mL), manteniendo esta tendencia hasta las 96 h (1.75×10^6 UFC/mL vs 10^7 UFC/mL en 30°C/35°C). No se observaron diferencias significativas

entre 30 y 35 °C en ningún tiempo ($p > 0.05$), aunque ambos presentaron un crecimiento exponencial continuo. (Anexo 13, 15 y 17). Las diferencias se confirmaron mediante ANOVA de dos vías con interacción significativa ($p < 0.001$) y prueba de Tukey con homogeneidad de varianzas (Levene, $p = 0.05$) y normalidad (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$). (Anexo 19).

Tabla 4

Recuento de UFC/mL de Staphylococcus aureus durante el almacenamiento

UFC/mL *Staphylococcus aureus,* dilución 10^{-3}			
Tiempo	Temperatura		
(h)	30°C	35°C	40°C
0	8.11E+04 ± 3.85E+03[a]	8.11E+04 ± 3.85E+03[a]	8.11E+04± 3.85E+03[a]
24	1.79E+06 ± 1.76E+06[a]	1.05E+06 ± 1.56E+06[a]	1.50E+05± 8.67E+04[b]
48	1.25E+07 ± 6.97E+05[a]	7.95E+06 ± 1.29E+06[a]	3.48E+05 ± 5.86E+04[b]
72	2.42E+07 ± 2.73E+06[a]	3.82E+07 ± 1.07E+07[a]	6.28E+05 ± 8.75E+04[b]
96	3.63E+07 ± 1.65E+06[a]	5.05E+07 ± 1.45E+06[a]	1.75E+06 ± 5.77E+05[b]

Nota: Media ± desviación estándar. Letras de superíndice diferentes representan diferencias significativas entre los tratamientos según el test de Tukey ($p<0,05$).

3.1.3. Análisis microbiológico de *Escherichia coli*

En la Tabla 5, se muestra los resultados de presencia y/o ausencia de *E. coli* donde se evidencia que existe ausencia en los tratamientos evaluados.

Tabla 5

Identificación de Escherichia coli

Escherichia coli			
Tiempo	Temperaturas		
(h)	30°C	35°C	40°C
0	Ausencia	Ausencia	Ausencia
24	Ausencia	Ausencia	Ausencia
48	Ausencia	Ausencia	Ausencia
72	Ausencia	Ausencia	Ausencia
96	Ausencia	Ausencia	Ausencia

3.2. Análisis físico químico de las hamburguesas a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*)

Los resultados de la evaluación de pH y acidez de las hamburguesas a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*) (Anexo 22 y 23) se presentan en la Tabla 6, el pH presenta una tendencia general al descenso (Anexo 29), lo que indica una progresiva acidificación de la hamburguesa, no obstante, el comportamiento de la acidez titulable (% ácido láctico) (Anexo 30) a lo largo del tiempo refleja un aumento progresivo.

Tabla 6

Promedio de las características fisicoquímicas de la hamburguesa a base de carne de cuy (Cavia porcellus) durante el almacenamiento

Tiempo (h)	Características Fisicoquímicas					
	pH			*Acidez*		
	30 °C	35 °C	40 °C	30 °C	35 °C	40 °C
0	6.31 ± 0.002^{a}	6.31 ± 0.002^{a}	6.31 ± 0.002^{a}	0.53 ± 0.014^{a}	0.53 ± 0.014^{a}	0.53 ± 0.014^{a}
24	6.43 ± 0.082^{a}	6.34 ± 0.118^{b}	6.32 ± 0.018^{b}	0.74 ± 0.043^{a}	0.61 ± 0.008^{b}	0.63 ± 0.024^{b}
48	6.34 ± 0.035^{a}	6.45 ± 0.074^{b}	6.14 ± 0.052^{c}	0.79 ± 0.034^{a}	0.74 ± 0.038^{a}	0.62 ± 0.020^{b}
72	6.07 ± 0.068^{a}	6.07 ± 0.063^{a}	5.93 ± 0.051^{b}	1.08 ± 0.051^{a}	0.95 ± 0.040^{b}	0.75 ± 0.000^{c}
96	5.95 ± 0.048^{a}	5.59 ± 0.122^{b}	5.59 ± 0.122^{b}	1.17 ± 0.026^{a}	1.29 ± 0.154^{b}	1.12 ± 0.042^{a}

Nota: Media ± desviación estándar. Letras de superíndice diferentes representan diferencias significativas entre los tratamientos según el test de Tukey ($p<0,05$).

3.2.1. Estadística inferencial de los parámetros fisicoquímicos

De la evaluación de los supuestos paramétricos: normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Breusch-Pagan) (Anexo 25) los valores obtenidos para el pH no cumplieron con la normalidad ($p < 0.05$), pero sí con la homocedasticidad y la acidez cumplió con ambos supuestos. Dado que el pH no cumplió con el supuesto de normalidad, se utilizó una prueba no paramétrica

de Kruskal-Wallis (Anexo 26) para comparar y analizar las diferencias significativas entre temperaturas y para la acidez que cumplió ambos supuestos, se aplicó un ANOVA bifactorial para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura. Los resultados muestran que no hay diferencias estadísticamente significativas en los valores de pH entre temperaturas ($p > 0.05$) usando Kruskal-Wallis, No obstante, tanto el tiempo como la temperatura influyeron significativamente sobre la acidez de las hamburguesas a base de carne de cuy ($p < 0.05$) (Anexo 27).

A continuación, se realizó una comparación múltiple de medias (Tukey) para la acidez (Anexo 28) analizando las diferencias significativas entre pares de temperaturas específicas, los resultados mostraron que, si bien la temperatura influye significativamente en la acidez según el ANOVA, las comparaciones por pares de temperaturas no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$).

3.3. Determinación de los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano por el modelo de Gompertz

3.3.1. Modelamiento del crecimiento microbiano según el modelo de Gompertz para *Aerobios mesófilos*

En las figuras 2, 3 y 4 se muestra el ajuste del modelo de Gompertz según el arreglo logarítmico (Anexo 5, 7 y 9) de las poblaciones microbianas para *Aerobios mesófilos,* donde se observa el crecimiento microbiano.

Figura 2

Modelamiento de Gompertz para el crecimiento microbiano de Aerobios mesófilos a 30 °C

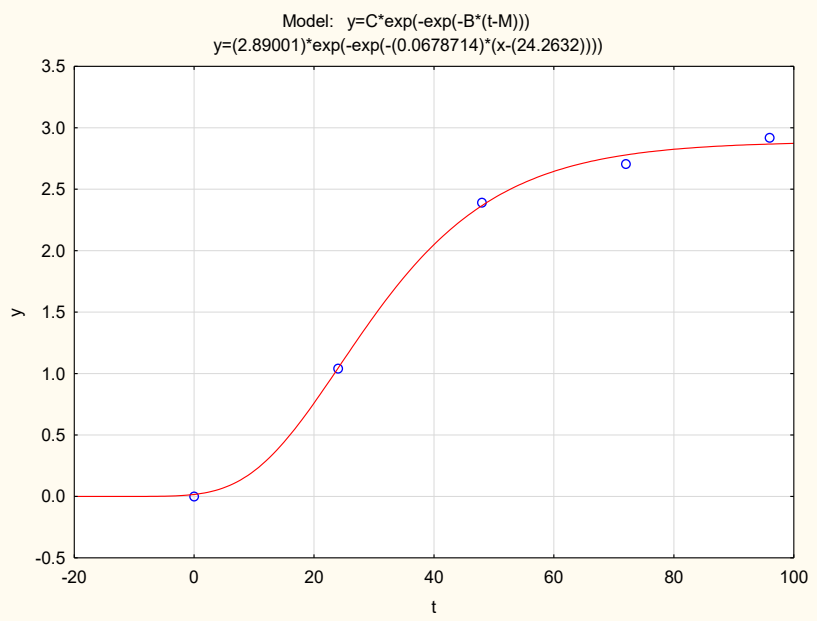


Figura 3

Modelamiento de Gompertz para el crecimiento microbiano de Aerobios mesófilos a 35 °C

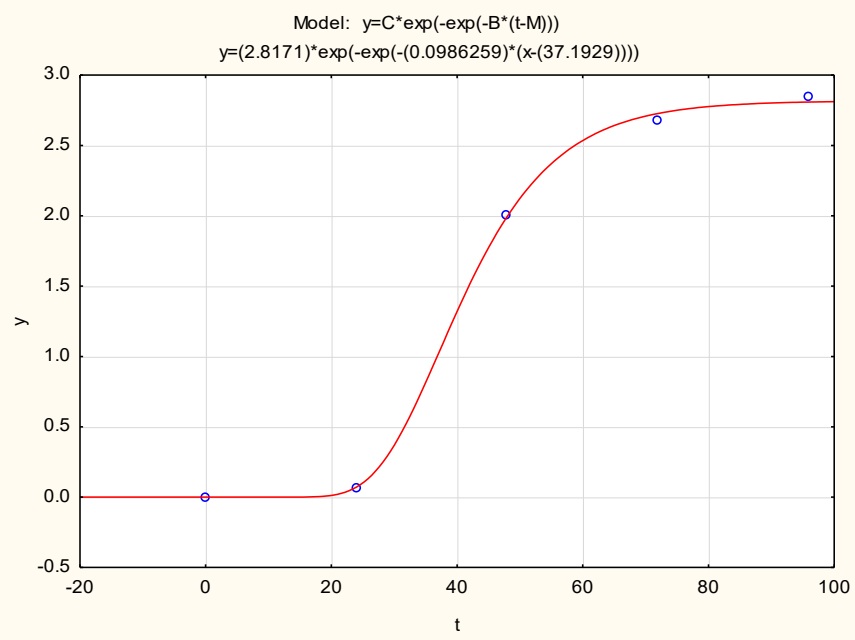
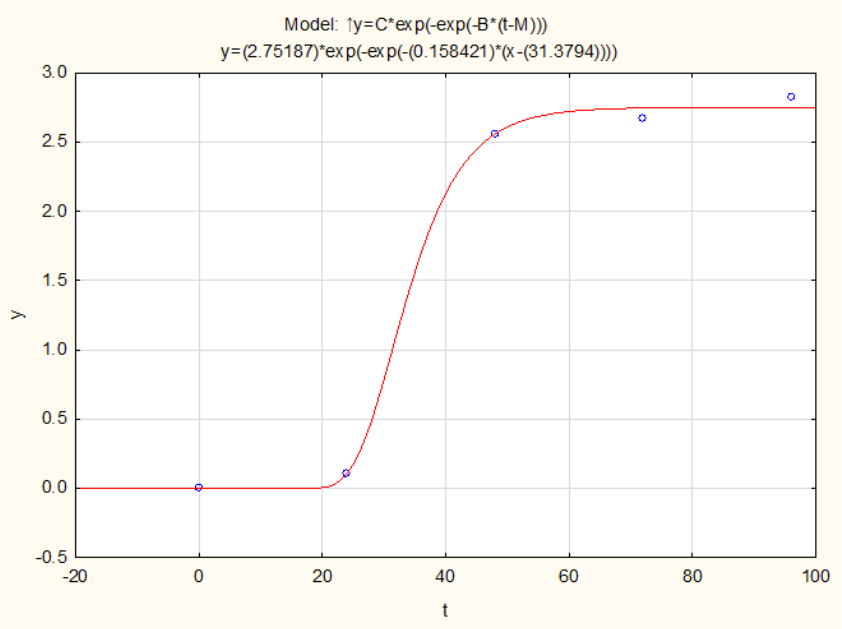


Figura 4

Modelamiento de Gompertz para el *crecimiento microbiano de Aerobios mesófilos a 40 °C*



En la tabla 7 se muestra los resultados de las constantes del modelo de Gompertz y los parámetros de crecimiento de *Aerobios mesófilos* calculados para cada tratamiento con las ecuaciones 5, 6, 7 y 8. Para el parámetro *C* el mayor crecimiento potencial se exhibe a 30 °C, decreciendo a mayor temperatura. La tasa máxima de crecimiento (*B*) se presenta a 40 °C. En el caso del tiempo para la tasa de crecimiento de mayor magnitud (*M*) la fase de adaptación es menor a 35 °C en relación a 30 y 40 °C. La mayor velocidad de crecimiento ($\mu_{máx}$) ocurre a 40 °C, y disminuye a medida que la temperatura se eleva. Los valores del coeficiente de determinación (R^2) > 0.999 confirman que el modelo describe adecuadamente los datos experimentales a las tres temperaturas de estudio, donde el mayor coeficiente se presenta a 35 °C. El tiempo de latencia (λ) es más prolongado a 35 °C. El tiempo de mayor generación (*G*) para la duplicidad de la población

microbiana durante la fase exponencial de crecimiento se produce a 40 °C (Anexo 6, 8 y 10).

Tabla 7

Determinación de las constantes de la ecuación de Gompertz y parámetros de crecimiento para Aerobios mesófilos en almacenamiento

Constantes	Temperaturas		
	30 °C	35 °C	40 °C
C	2.89 ± 0.1633^{a}	2.82 ± 0.2275^{a}	2.75 ± 0.2345^{a}
B	0.07 ± 0.0154^{b}	0.10 ± 0.0337^{b}	0.16 ± 0.0076^{a}
M	24.26 ± 4.3783^{b}	37.19 ± 1.6825^{a}	31.38 ± 1.4591^{b}
R^2	0.99928 ± 0.00196^{a}	0.99974 ± 0.00847^{a}	0.99931 ± 0.00223^{a}
N_0	6.37 ± 0.1560^{a}	6.37 ± 0.1560^{a}	6.37 ± 0.1560^{a}
$\mu_{máx}$	0.07 ± 0.0135^{b}	0.10 ± 0.0323^{b}	0.16 ± 0.0176^{a}
λ	9.53 ± 5.8034^{b}	27.05 ± 10.0446^{ab}	25.07 ± 1.4958^{a}
G	100.12 ± 16.9211^{a}	70.68 ± 50.6279^{ab}	45.05 ± 8.8063^{b}

Nota. Media ± desviación estándar. C: Asíntota (máximo crecimiento microbiano en log UFC/mL, B: Tasa máxima de crecimiento en h^{-1}, M: Tiempo de latencia en h, R^2: Coeficiente de determinación de la bondad de ajuste del modelo, N_0: número de microorganismos en el momento inicial en log UFC/mL, $\mu_{máx}$: máxima velocidad específica de crecimiento en h^{-1}, λ: tiempo de latencia en h, G: tiempo de generación en h. Letras de superíndice diferentes representan diferencias significativas entre los tratamientos según el test de Tukey ($p<0,05$).

El análisis estadístico de los parámetros cinéticos del modelo de Gompertz para el crecimiento de *Aerobios mesófilos* (Anexo 20), mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) en los parámetros B, M, $\mu_{máx}$, λ y G. En particular, $\mu_{máx}$ fue significativamente mayor a 40 °C en comparación con 30 y 35 °C y G significativamente mayor a 30 °C frente a 35 y 40 °C. El parámetro M presentó su mayor valor a 35 °C, seguido de 40 °C y 30 °C. Por otro lado, los parámetros C y R^2 no mostraron diferencias significativas entre temperaturas.

3.3.2. Modelamiento del crecimiento microbiano según el modelo de Gompertz para *Staphyloccocus aureus*

En las figuras 5, 6 y 7 se observa el modelamiento de Gompertz para el crecimiento microbiano de *S. aureus* a las temperaturas de estudio, según el arreglo logarítmico (Anexo 13, 15, 17).

Figura 5

Modelamiento de Gompertz para el crecimiento microbiano de Staphyloccocus aureus a 30 °C

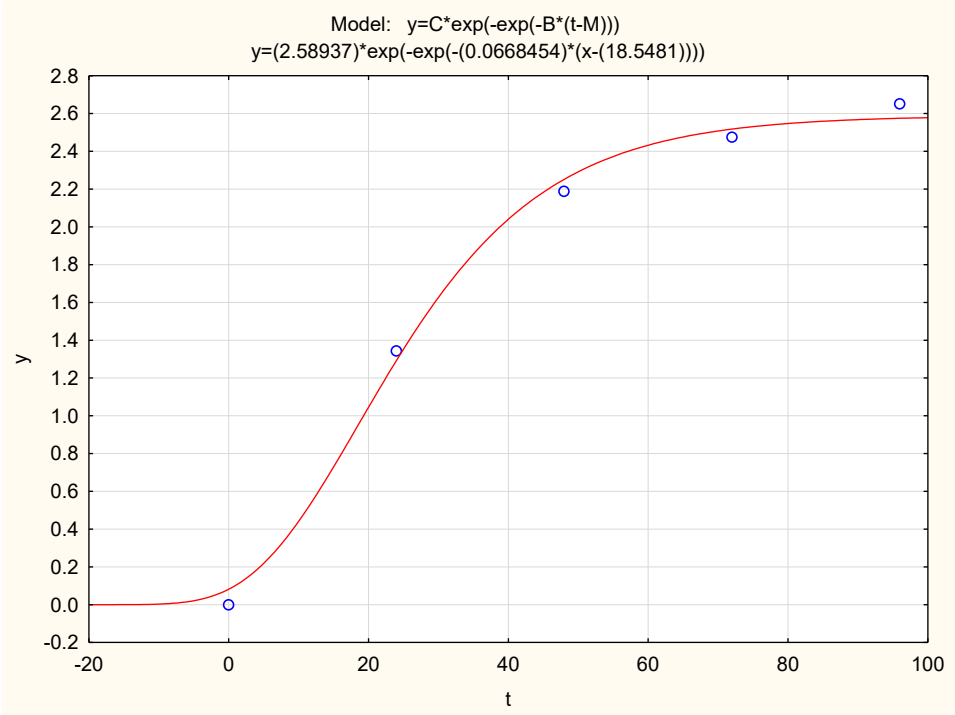


Figura 6

Modelamiento de Gompertz para el crecimiento microbiano de Staphyloccocus aureus a 35 °C

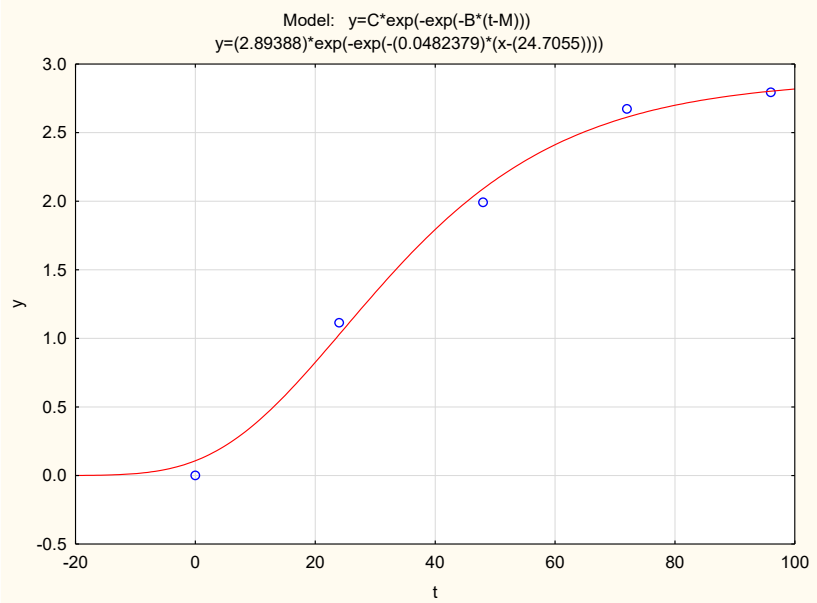
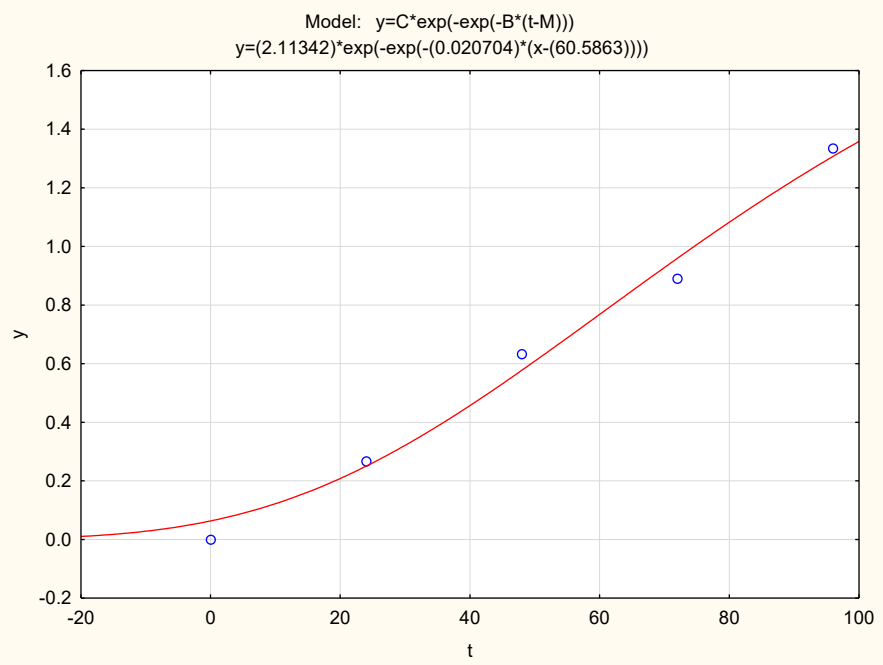


Figura 7

Modelamiento de Gompertz para el crecimiento microbiano de Aerobios mesófilos a 35 °C



En la Tabla 8 se aprecia los valores de los parámetros del modelo de Gompertz y las constantes calculadas para las temperaturas de estudio. El parámetro *C* representa el incremento máximo de población microbiana respecto al inicial, mostrando para 35 °C mayor crecimiento potencial que a 40 °C. La tasa máxima de crecimiento (*B*) ocurre a 30 °, evidenciando una disminución de la tasa de crecimiento a medida que la temperatura incrementa. En el caso del tiempo para la tasa de crecimiento de mayor magnitud (*M*) a 30 °C, la fase de adaptación es más corta en relación a 35 y 40 °C. La mayor velocidad de crecimiento ($\mu_{máx}$) ocurre a 30 °C, y disminuye a medida que la temperatura se eleva. Los altos valores del coeficiente de determinación (R^2) > 0.99 confirman que el modelo describe adecuadamente los datos experimentales a las tres temperaturas de estudio. Para el tiempo de latencia (λ), el crecimiento exponencial es más prolongado a 40 °C. El tiempo de generación (*G*) indica que el crecimiento microbiano se ralentiza a 40 °C (Anexo 14, 16 y 18).

Tabla 8

Determinación de las constantes de la ecuación de Gompertz para las diferentes temperaturas de 30, 35 y 40 °C en Staphyloccocus aureus

Constantes	Temperaturas		
	30 °C	35 °C	40 °C
C	2.59 ± 0.2628^{b}	2.89 ± 0.0417^{a}	2.11 ± 1.2833^{b}
B	0.07 ± 0.7459^{a}	0.05 ± 0.0157^{a}	0.02 ± 0.0218^{b}
M	$18.55^{b} \pm 10.8240^{b}$	24.71 ± 10.2560^{b}	60.59 ± 27.5971^{a}
R^2	$0.99779^{a} \pm 0.1023^{a}$	0.99703 ± 0.0074^{a}	0.9939 ± 0.0099^{a}
N_0	$4.91^{a} \pm 0.02090^{a}$	4.91 ± 0.0209^{a}	4.91 ± 0.02090^{a}
$\mu_{máx}$	$0.06^{a} \pm 0.5680^{a}$	0.05 ± 0.0166^{a}	0.02 ± 0.0062^{b}
λ	$3.59^{b} \pm 4.3567^{b}$	3.97 ± 13.2761^{b}	12.29 ± 15.0731^{a}
G	$113.46^{b} \pm 54.7324^{b}$	140.68 ± 21.9254^{b}	448.82 ± 139.6668^{a}

Nota. Media ± desviación estándar. *C*: Asíntota (máximo crecimiento microbiano en log UFC/mL), *B*: Tasa máxima de crecimiento en h^{-1}, *M*: Tiempo de latencia en h, R^2: Coeficiente de determinación de la bondad de ajuste del modelo, N_0: número de microorganismos en el momento inicial en log UFC/mL, $\mu_{máx}$: máxima velocidad específica de crecimiento en h^{-1}, λ: tiempo de latencia en h, *G*: tiempo de generación en h. Letras de superíndice diferentes representan diferencias significativas entre los tratamientos según el test de Tukey ($p<0,05$).

El análisis estadístico de los parámetros de crecimiento de *S. aureus* (Anexo 20) evidenció diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los parámetros evaluados, excepto en λ entre 35 y 40 °C. El parámetro *C* presentó diferencias significativas, siendo mayor a 35 °C que a 30 y 40 °C. La $\mu_{máx}$ fue significativamente mayor a 30 °C en comparación con 35 y 40 °C, sugiriendo un crecimiento más rápido a temperatura más baja. El parámetro *M* mostró un incremento notable a 40 °C, indicando un cambio en la dinámica de crecimiento a mayor temperatura. Además, el tiempo de generación (*G*) fue significativamente mayor a 40 °C, lo que sugiere un retraso en la duplicación bacteriana en comparación con 30 y 35 °C.

IV. DISCUSIÓN

Dentro de los estudios que han analizado derivados cárnicos como la hamburguesa con carne de cuy en investigaciones previas se tiene a Flores et al. (2017) y Pereira et al. (2017) denotando un potencial uso para este producto, que se derivó de la importancia nutricional de la materia prima.

La cinética de crecimiento microbiano para *Aerobios mesófilos* a 30 °C presentó el incremento más constante y alto desde las primeras 24 h y a las 96 h alcanzó el recuento más alto de 1.94 x 10^9 UFC/mL. A 35 °C mostró un crecimiento más lento entre las 24 y 48 h, paro luego equipararse con las otras temperaturas a las 72 h, y a las 96 h exhibió el segundo recuento más alto entre los tratamientos de 1.64 x 10^9 UFC/mL. Además, para 40 °C el recuento fue bajo en las primeras 24 h de 3.0 x 10^6 UFC/mL, pero incrementó bruscamente a 8.56 x 10^8 UFC/mL a las 48 h, además a las 96 h se produjo un aumento de 1.56 x 10^9 UFC/mL. En consecuencia, las implicancias en el almacenamiento a 30 y 40 °C favorece un crecimiento microbiano rápido, lo cual podría comprometer la estabilidad de las hamburguesas en condiciones no refrigeradas y el comportamiento a 35 °C sugiere un retardo inicial en el crecimiento, lo que podría deberse a una fase de adaptación más prolongada, se podría suponer que los microorganismo hayan reprogramado su metabolismo lo que derivó en el retraso en la fase de latencia (Robinson et al., 1998). El estudio se asemeja a lo reportado por Barbosa et al. (2022) que indican la temperatura óptima de desarrollo para *Aerobios mesófilos* está entre 30 - 35 °C, a mayor tiempo de almacenamiento a estas temperaturas, mayor será el nivel de crecimiento de las células vegetativas, a diferencia de temperaturas elevadas donde se evidencia menor crecimiento posiblemente por efectos de estrés térmico en fases tardías. Asimismo el estudio muestra resultados

similares a los obtenidos por Fernández et al. (2006) donde el recuento microbiano osciló entre 5.78 y 6.12 log UFC/g a 5 y 15°C respectivamente para hamburguesas de carne de vacuno y también con lo reportado por Grispoldi et al. (2020) donde el recuento inicial fue de 6.86 log UFC/g en hamburguesas de carne de vacuno, frente a 6.37 y 9.29 log UFC/g durante 96 h a 30, 35 y 40 °C de la investigación. No obstante, existen reportes en diversos tipos de carnes como lo indicado por Orkusz et al. (2024) que mostraron el crecimiento microbiano para el cuarto y sexto día de 3.5×10^5 y 1.82×10^7 UFC/g respectivamente en músculos de muslo de pavo almacenados a 1 °C durante seis días, valores similares a los exhibidos en el estudio pero que se encuentran dentro del rango de 0 a 24 h para 30, 35 y 40 °C; de igual manera Enkhbold et al. (2023) reportaron para carne fresca de vacuno almacenada a 4 °C durante 17 días recuentos de 4.25 log UFC/g en la muestra inicial y de 6.83 log UFC/g tras 17 días de almacenamiento, valores que se asemejan a las del estudio dentro del rango de 0 a 24 h de 6.43 log UFC/g (35 °C) y de 6.38 log UFC/g (40 °C). Asimismo Dasiewicz et al. (2024) reportaron para salchichas tipo salami la presencia dominante de *Aerobios mesófilos* que concuerda con el estudio, evidenciando la influencia de las temperaturas altas en el aceleramiento del crecimiento y el retardo a temperaturas bajas.

El crecimiento microbiano de *S. aureus* mostró un comportamiento sostenido del recuento a 30 °C pasando de 8.11×10^4 inicialmente a 3.63×10^7 UFC/mL a las 96 h, indicando condiciones ideales de crecimiento sin estrés térmico significativo. A 35 °C el crecimiento fue acelerado a partir de las 48 h, alcanzando el valor más alto al final del almacenamiento de 5.05×10^7 UFC/mL y para 40 °C mostró el crecimiento más limitado, si bien hubo incremento hasta 1.75×10^6 UFC/mL, los recuentos fueron considerablemente menores, mostrando que esta

temperatura pudo generar estrés térmico o condiciones subóptimas para la proliferación. Las implicancias de las temperaturas de 30 y 35 ° C favorecen notablemente la proliferación microbiana de esta bacteria, representando un riesgo microbiológico si el producto no es adecuadamente conservado y que el efecto inhibitorio parcial a 40 °C indica que a temperaturas elevadas pueden frenar el crecimiento de esta bacteria, aunque no lo eliminan, como se confirma en los estudios realizados por Schmitt et al. (1990) y Todd et al. (2008), además concuerda con los rangos establecidos de pH para el crecimiento con un óptimo entre 6.0 y 7.0 (Valero et al., 2009). Además la investigación muestra resultados mayores a lo reportado por Grispoldi et al. (2020) con un recuento inicial de 3.62 log UFC/g en hamburguesas de carne de vacuno frente a 4.91 log UFC/g, contrastando con lo obtenido por Fernández et al. (2006) donde el recuento microbiano osciló entre 0 y 0.44 log UFC/g a 5 y 15°C respectivamente para hamburguesas de carne de vacuno, frente a 4.91 y 7.96 log UFC/g durante 96 h a 30, 35 y 40 °C de la investigación.

Con respecto a la ausencia de *E. coli* en las hamburguesas, la investigación muestra resultados similares a los reportados por Zambrano et al. (2024) en el cual evaluaron microbiológicamente discos de hamburguesas y con García et al. (2023) en hamburguesas a base de carne de res y cerdo, pero difiere de lo reportado por Fernández et al. (2006) y Soberon (2020) donde observaron presencia de *E. coli* en hamburguesas de carne de vacuno.

La evaluación de los parámetros físicos químicos mostró para el pH una tendencia general al descenso, lo que indica una progresiva acidificación del producto, asociada al crecimiento microbiano y a procesos bioquímicos como la fermentación de compuestos nitrogenados y la producción de ácidos orgánicos. Si

bien se aprecia una reducción continua del pH a lo largo del tiempo y las temperaturas de estudio, esta es más pronunciada a mayor temperatura. A 30 °C, el pH bajó de 6.44 a 5.95 en 96 horas, a 35 °C, la caída fue de 6.33 a 5.59 y a 40 °C, se inició en 6.31 y descendió hasta 5.59, aunque con una disminución más rápida a partir de las 48 h. La mayor velocidad de disminución del pH a 40 °C sugiere una actividad microbiana más acelerada y con mayor deterioro y la similitud del valor final de a 35 y 40 °C (5.59) estima un umbral de acidificación, probablemente vinculado a una estabilización del crecimiento microbiano o agotamiento de nutrientes. Además, una disminución pronunciada del pH puede impactar negativamente en la calidad sensorial y microbiológica del producto. Es por ello que el almacenamiento a temperaturas elevadas no es recomendable si se busca conservar la estabilidad del pH y, por ende, la calidad del alimento. La investigación se asemeja a lo reportado por Jang y Lee (2012) en el cual indicaron que en pechugas de pollo almacenadas a 10 °C durante 24 semanas los valores de pH disminuyeron con el tiempo de almacenamiento.

Con respecto a la acidez titulable a lo largo del tiempo reflejó un aumento progresivo, lo cual es un indicador del desarrollo de procesos fermentativos y de deterioro microbiológico en las hamburguesas similar a lo reportado por Karslıoğlu et al. (2024). Asimismo, en todas las temperaturas se observó un aumento constante de la acidez, siendo más notorio a temperaturas más elevadas. A 30 °C, la acidez aumentó de 0.72% a 1.17%, a 35 °C, se incrementó de 0.57% a 1.29% y a 40 °C, el valor pasó de 0.52% a 1.12%. el valor más alto al final del almacenamiento se presentó a 35 °C (1.29%), lo que podría atribuirse a condiciones óptimas para el crecimiento de bacterias ácido-lácticas específicas a esa temperatura concordante al estudio realizado por Capita et al. (2006) en

chorizo y salchichón. Temperaturas de 30 °C y 40 °C son recomendables para crecimiento microbiano de *Aerobios mesófilos* y para el crecimiento microbiano de S. aureus la temperatura oscila entre 30° C y 35°C; estas temperaturas generan cambios en la acidez, en sabor, textura y seguridad correlacionándose con el crecimiento de microorganismos alterantes que influyeron en el pH de la hamburguesa, con un incremento del pH asociado a la metabolización microbiana. El comportamiento ascendente en acidez es coherente con la disminución del pH observado, reafirmando la relación entre ambos parámetros como indicadores de deterioro microbiológico en concordancia a lo reportado por Chang et al. (2020) y Terefe (2017).

Diversos estudios han evaluado la cinética de crecimiento microbiano en matrices alimentarias mediante distintos modelos, tal es el caso de Yu et al. (2020) que modelaron la cinética de crecimiento de *S. aureus* en carne de vacuno cruda con los modelos primarios de Gompertz modificado y supervivencia de Gompertz reparametrizado, Beldarraín et al. (2022), determinaron la capacidad inhibidora del Lactobacillus acidophilus en el crecimiento de *Escherichia coli spp.* y *Staphylococcus aureus* en un embutido fermentado (chorizo) usando las ecuaciones de Gompertz y el modelo bifásico, Giménez (2019) evaluó 2 métodos de conservación no térmicos como el ozono gaseoso y las altas presiones hidrostáticas (APH) para determinar la vida útil de la carne de res, empleando la ecuación de Gompertz para predecir la velocidad de crecimiento de *Listeria monocytogenes*; y, Mejía y Romero (2020) evaluaron el tiempo de vida útil de longaniza de pollo con cebollín (*Allium schoenoprasum*) y sacha culantro (*Eryngium foetidum*), usando Gompertz para determinar la vida útil en base a las UFC de levaduras, hongos, Coliformes Totales y E. Coli. En los cuales han

reportado la estimación de los parámetros de los modelos y predicción del crecimiento microbiano. Los resultados del estudio muestran el modelamiento de la cinética de crecimiento mediante el modelo de Gompertz para *Aerobios mesófilos* en el cual el parámetro *C* (mayor crecimiento potencial) se exhibió a 30 °C, decreciendo a mayor temperatura. La tasa máxima de crecimiento (*B*) se presentó a 40 °C. En el caso del tiempo para la tasa de crecimiento de mayor magnitud (*M*) la fase de adaptación es menor a 35 °C en relación a 30 y 40 °C. La mayor velocidad de crecimiento ($\mu_{máx}$) ocurrió a 40 °C, y disminuyó a medida que la temperatura se elevó. Los valores del R^2 fueron mayores a 0.999 y confirmaron que el modelo describió adecuadamente los datos experimentales a las tres temperaturas de estudio, donde el mayor coeficiente se presentó a 35 °C. El tiempo de latencia (λ) fue más prolongado a 35 °C y el tiempo de mayor generación (*G*) para la duplicidad de la población microbiana durante la fase exponencial de crecimiento se produjo a 40 °C. Para *S. aureus* el parámetro *C* representó el incremento máximo de población microbiana respecto al inicial, mostrando para 35 °C mayor crecimiento que a 40 °C, donde el estrés térmico limita el desarrollo, la tasa máxima de crecimiento (*B*) ocurrió a 30 °C constituyendo la temperatura óptima para el desarrollo, evidenciando una disminución de la tasa de crecimiento a medida que la temperatura incrementa. En el caso del tiempo para la tasa de crecimiento de mayor magnitud (*M*) a 30 °C, la fase de adaptación es más corta en relación a 35 y 40 °C, donde el calor retrasó la adaptación microbiana. La mayor velocidad de crecimiento ($\mu_{máx}$) ocurrió a 30 °C, y disminuyó a medida que la temperatura se elevó, indicando que las condiciones térmicas más altas redujeron la eficiencia del crecimiento microbiano bajo estos parámetros. El R^2 mayor a 0.99 confirmó que el modelo describió

adecuadamente los datos experimentales a las tres temperaturas de estudio, no obstante, se evidenció que a mayor temperatura disminuyó el valor del coeficiente. Para el tiempo de latencia (λ), donde las bacterias se adaptaron al medio antes de comenzar su crecimiento exponencial fue más prolongado a 40 °C; estos resultados también son evidenciados con análisis estadístico de Tukey donde para 0h: no hay diferencias entre temperaturas (todas 'a'), en 24 – 96 h: 40 °C (b) difiere significativamente de 30 °C y 35 °C (a) y 30 °C vs 35 °C nunca muestran diferencias significativas entre sí en ningún tiempo; al realizar el análisis horizontal por temperatura se observó que a 30 °C y 35 °C hay un crecimiento exponencial con el tiempo, en cambio a 40 °C el crecimiento fue significativamente inhibido en todos los tiempos posteriores a la inicial. Los tiempos de generación (G) calculados para cada temperatura, según los parámetros del modelo indicaron que, a medida que la temperatura incrementó los parámetros B y C disminuyeron notablemente, lo que produjo un aumento considerable en el tiempo de generación. Esto indicó que el crecimiento microbiano se ralentiza significativamente a 40 °C bajo estas condiciones. Resultados similares a lo reportado por Cayré et al. (2007) que describieron la curva de crecimiento de bacterias lácticas y *Brochothrix thermosphacta* sobre emulsiones cárnicas cocidas, con Juneja et al. (2019), Abdullah et al. (1994), Colque Cruz et al. (2023), Ding et al. (2010) y Castillejo et al. (2002) los cuales indicaron un buen ajuste del modelo de Gompertz según los valores del R^2.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se realizó el análisis microbiológico para *Aerobios mesófilos*, *S. aureus* y *E. coli* de las hamburguesas a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*), exhibiendo ausencia de *E. coli* y presencia de *Aerobios mesófilos*, *S. aureus* durante el almacenamiento de 96 h, El crecimiento de *aerobios mesófilos* mostró un patrón dependiente de la temperatura y el tiempo de almacenamiento. A las 24 h, el tratamiento a 30°C presentó un crecimiento significativamente mayor en comparación con 35°C y 40°C ($p < 0.05$). Sin embargo, a las 48 h, se observó un incremento notable en 40°C, superando a las demás temperaturas ($p < 0.05$). En los tiempos posteriores (72 h y 96 h), no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$), aunque todos alcanzaron niveles elevados y el crecimiento *de S. aureus* fue significativamente inhibido a 40 °C en comparación con 30°C y 35°C ($p < 0.05$). A partir de las 24 h, el tratamiento a 40 °C mostró recuentos menores frente a los otros grupos, manteniendo esta tendencia hasta las 96 h. No se observaron diferencias significativas entre 30 y 35°C en ningún tiempo ($p > 0.05$), aunque ambos presentaron un crecimiento exponencial continuo.

Se caracterizó fisicoquímicamente (pH y acidez titulable) las hamburguesas a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*) almacenadas a 30, 35 y 40 °C durante 96 h, los valores encontrados detectaron un efecto significativo del tiempo y de la temperatura en la evolución de la acidez reportando que ambos factores influyeron en la acidez del producto durante el almacenamiento; para los resultados del pH no se encontraron diferencias significativas entre las temperaturas de estudio.

Se determinaron las constantes del modelo de Gompertz: C, B y M y los parámetros cinéticos de crecimiento, λ, G y $\mu_{máx}$ para *Aerobios mesófilos* y *S. aureus*; en el caso de los *Aerobios mesófilos* la tasa máxima de crecimiento (B) se presentó a 40 °C., la mayor

velocidad de crecimiento ($\mu_{máx}$) ocurrió a 40 °C, y disminuyó a medida que la temperatura se elevó, para *S. aureus* el parámetro *C* representó el incremento máximo de población microbiana respecto al inicial, mostrando para 35 °C mayor crecimiento que a 40 °C. La tasa máxima de crecimiento (*B*) ocurrió a 30 °C, evidenciando una disminución de la tasa de crecimiento a medida que la temperatura incrementa, la mayor velocidad de crecimiento ($\mu_{máx}$) ocurrió a 30 °C, y disminuyó a medida que la temperatura se elevó. El análisis estadístico de los parámetros cinéticos reveló diferencias significativas en la mayoría de los parámetros en función de la temperatura de almacenamiento para ambos microorganismos estudiados.

Los valores del coeficiente de determinación (R^2) > 0.999 confirmaron que el modelo describió adecuadamente los datos experimentales del crecimiento microbiano a las tres temperaturas de estudio. El modelamiento mostró que para *S. aureus* las condiciones térmicas más altas reducen la eficiencia del crecimiento a diferencia de los *Aerobios mesófilos* en el cual se evidencia un incremento.

Recomendaciones

A estudiantes con afinidad a la investigación, orientar estudios similares con la finalidad de evaluar la cinética de crecimiento microbiano en productos cárnicos y evaluar el comportamiento bacteriano en diferentes condiciones de almacenamiento, para estimar y predecir el deterioro microbiológico lo cual es crucial para establecer la vida útil sensorial o microbiológica del producto y mejorar las condiciones de conservación; asimismo, se recomienda complementar el estudio con análisis sensoriales que permitan correlacionar los resultados y establecer condiciones adecuadas de conservación y aceptabilidad.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias y profesionales afines, ejecutar investigaciones multidisciplinarias relacionadas con la identificación y cuantificación de microrganismos en matrices alimentarias de origen

cárnico acorde a la normativa alimentaria y a los límites microbiológicos permisibles exigidos.

A investigadores, promover estudios afines a la línea de investigación realizada que logre predecir el comportamiento microbiano específico mediante el modelamiento matemático de Gompertz y otros, con el cual se identifique y reduzca los riesgos microbiológicos de un producto alimentario de origen cárnico. Además, seguir investigando técnicas de almacenamiento en condiciones específicas de temperatura, estudiando el impacto de la utilización de distintos materiales de envasado (con diferentes propiedades de barrera) o la aplicación de conservantes naturales.

A los empresarios de la industria cárnica, desarrollar productos con incorporación de aditivos naturales como los aceites esenciales debido a su acción antibacteriana y de conservación.

VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Abdullah, B., Gardini, F., Paparella, A., y Guerzoni, M. E. (1994). Growth modelling of the predominant microbial groups in hamburgers in relation to the modulation of atmosphere composition, storage temperature, and diameter of meat particle. *Meat science*, *38*(3), 511-526.

Barbosa, A. D., Alexandre, B., Tondo, E. C., y Malheiros, P. da S. (2022). Microbial survival in *gourmet* hamburger thermally processed by different degrees of doneness. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *28*, 100501. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100501

Baulet Cintra, L., y Cuberlo Hernández, C. (2023). Modificación del proceso de elaboración de carne curada tipo tasajo. *SciELO Analytics*.

Beldarraín, T., Sevillano, E., García, S., Santos, R., y Ramos, M. (2022). Cuantificación de patógenos en embutido fermentado con cultivo iniciador. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, *32*(1), 40–48. https://revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/es/article/view/357/302

Bölük, E., Akdeniz, E., Gunes, R., Palabiyik, I., Konar, N., y Toker, O. S. (2024). Determination of the process effect on cocoa butter crystallization by rheometer: Kinetic modeling by Gompertz equation. *Journal of Food Science*, *89*(5), 2867-2878. https://doi.org/10.1111/1750-3841.17040

Capita, R., Llorente-Marigómez, S., Prieto, M., y Alonso-Calleja, C. (2006). Microbiological profiles, pH, and titratable acidity of chorizo and salchichón (two Spanish dry fermented sausages) manufactured with ostrich, deer, or pork meat. *Journal of food protection*, *69*(5), 1183-1189.

Cárdenas Araque, J. J., y Cárdenas Merizalde, D. S. (2017). *Industrialización del cuy*. http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4220

Castillejo-Rodríguez, A. M., García Gimeno, R. M., Cosano, G. Z., Alcalá, E. B., y Rodríguez Pérez, M. R. (2002). Assessment of Mathematical Models for Predicting *Staphylococcus aureus* Growth in Cooked Meat Products. *Journal of Food Protection*, *65*(4), 659-665. https://doi.org/10.4315/0362-028X-65.4.659

Castro, G., Valbuena, E., Sánchez, E., Briñez, W., Vera, H., y Leal, M. (2008). Comparación de modelos sigmoidales aplicados al crecimiento de lactococcus lactis subsp: Lactis. *Revista Científica*, *18*(5), 582-588.

Cayré, M. E., Vignolo, G. M., y Garro, O. A. (2007). Selección de un modelo primario para describir la curva de crecimiento de bacterias lácticas y Brochothrix thermosphacta sobre emulsiones cárnicas cocidas. *Información tecnológica*, *18*(3), 23-29.

Chang, H.-S., Song, K.-Y., Kim, Y.-J., Chon, J.-W., Kim, H., Jang, K.-I., Kim, E.-S., y Seo, K.-H. (2020). Influence of sodium reduction and storage temperature on the growth of total microbes and Bacillus cereus in naturally contaminated hamburger patty and loaf bread. *Food Science and Biotechnology*, *29*(10), 1433-1438. https://doi.org/10.1007/s10068-020-00783-x

Colque Cruz, E. J., Chambi-Rodriguez, A. D., y Pampa-Quispe, N. B. (2023). Caracterización y modelado del crecimiento microbiano en el desarrollo de una bebida probiótica no láctea de extracto vegetal de tarwi (Lupinus mutabilis S.). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, *25*(1), 41-48.

Dasiewicz, K., Szymanska, I., Slowinski, M., Górska, A., y Dasiewicz, B. (2024). Effect of Fermentation Technology and Storage Time on the Quality of Salami-Type Sausages. *Applied Sciences (Switzerland)*, *14*(18). Scopus. https://doi.org/10.3390/app14188510

DIGESA. (2001). Manual de Analisis Microbiologico de Alimentos. En *Metodologia Analitica Oficial* (Vol. 1999, Número December).

Ding, T., Shim, Y.-H., Choi, N.-J., Ha, S.-D., Chung, M.-S., Hwang, I.-G., y Oh, D.-H. (2010). Mathematical modeling on the growth of Staphylococcus aureus in sandwich. *Food Science and Biotechnology*, *19*(3), 763-768. https://doi.org/10.1007/s10068-010-0107-x

Enkhbold, M., Lőrincz, A., Elayan, M., Friedrich, L., Surányi, J., y Tóth, A. (2023). IMPROVEMENT OF SHELF-LIFE OF BEEF USING LACTIC ACID, ASCORBIC ACID MIXTURE AND POTASSIUM SORBATE. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, *42*, 45-50. Scopus.

Fernández Ramírez, A., Izquierdo Córser, P., Valero Leal, K., Allara Cagnasso, M., Piñero González, M., y García Urdaneta, A. (2006). Efecto del Tiempo y Temperatura de Almacenamiento Sobre la Calidad Microbiológica de Carne de Hamburguesa. *Revista Científica*, *16*(4), 315-324.

Flores Mancheno, C. I., Duarte, C., y Salgado Tello, I. P. (2017). Characterization of the guinea pig (Cavia porcellus) meat for fermented sausage preparation. *Ciencia y Agricultura*, *14*(1 SE-PAPERS), 39-45. https://doi.org/10.19053/01228420.v14.n1.2017.6086

García, K. F. C., Alvarado, M. del P. Q., Delgado, R. R. J., Rivera, J. C. T., y Huerta, J. A. A. (2023). Estudio de vida útil de una hamburguesa con especias en la planta de procesos del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila.: Shelf life study of a hamburger with spices in the process plant of the Tsa'chila Higher Technological Institute. *Revista Científica Multidisciplinar G-nerando*, *4*(2). https://revista.gnerando.org/revista/index.php/RCMG/article/view/134

Gibson, A. M., Bratchell, N., y Roberts, T. A. (1987). The effect of sodium chloride and temperature on the rate and extent of growth of Clostridium botulinum type A in pasteurized pork slurry. *Journal of Applied Bacteriology*, *62*(6), 479-490. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1987.tb02680.x

Giménez, M. B. (2019). *Efectos de la aplicación de tecnologías no térmicas (altas presiones hidrostáticas y ozono gaseoso) en las características fisicoquímicas, microbiológicas y parámetros de calidad de carnes bovinas* [Universidad Nacional de La Plata]. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/88305

Grispoldi, L., Karama, M., Sechi, P., Iulietto, M. F., y Cenci-Goga, B. (2020). Effect of the addition starter cultures to ground meat for hamburger preparation. *Microbiology Research*, *11*(1), 1-6. Scopus. https://doi.org/10.4081/mr.2020.8623

Heredia, N., Dávila, J. E., Solís, L., y García, S. (2014). Productos cárnicos: principales patógenos y estrategias no térmicas de control. *Nacameh*, *8*(1), 20–42. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6032880

Jang, D. H., y Lee, K. T. (2012). Quality characteristics of retorted chicken breast products packaged in a multilayer barrier tray during chilled storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, *32*(4), 483-490. Scopus. https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.4.483

Juneja, V. K., Golden, C. E., Mishra, A., Harrison, M. A., Mohr, T., y Silverman, M. (2019). Predictive model for growth of *Bacillus cereus* during cooling of cooked rice. *International Journal of Food Microbiology*, *290*, 49-58. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.09.023

Karslıoğlu, B., Soncu, E. D., Nekoyu, B., Karakuş, E., Bekdemir, G., y Şahin, B. (2024). From waste to consumption: Tomato peel flour in hamburger patty production. *Foods*, *13*(14), 2218.

Lara Ramos, K. (2020). *Evaluación de dos conservantes naturales y dos tiempos de marinado en la estabilidad de la carne de cuy (Cavia porcellus)*. Universidad Agraria del Ecuador.

León, M., Orduz, A., y Velandia, M. (2018). COMPOSICIÓN FISICOQUIMICA DE LA CARNE DE OVEJO, POLLO, RES Y CERDO. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, *15*(2), Article 2. https://doi.org/10.24054/16927125.v2.n2.2017.2969

Llorente, E. S., Lozano, L. P., Vera, L. N., y Hinojosa, L. C. (2025). Influencia del pH y la temperatura en los músculos de res y cerdo durante el proceso de faenado: Una revisión sistemática. *AgroScience Research*, *3*(1), Article 1. https://doi.org/10.17268/agrosci.2025.008

Majumdar, A., Pradhan, N., Sadasivan, J., Acharya, A., Ojha, N., Babu, S., y Bose, S. (2018). Food Degradation and Foodborne Diseases: A Microbial Approach. *Microbial Contamination and Food Degradation*, 109-148. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811515-2.00005-6

Mejía Segovia, C. D., y Romero Ruíz, S. L. (2020). *Evaluación del tiempo de vida útil de la Longaniza de Pollo, utilizando Cebollín (Allium schenoprasum) y Sacha Culantro (Eryngium foetidum).* [Universidad Estatal Amazónica]. https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/893

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2023a). *Gobierno impulsa campaña "El Perú come cuy" para beneficio de más de 800 mil familias dedicadas a esta cadena productiva*. https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/1033948-

gobierno-impulsa-campana-el-peru-come-cuy-para-beneficio-de-mas-de-800-mil-familias-dedicadas-a-esta-cadena-productiva

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2023b). *Razas de cuyes del INIA incrementan en 20% productividad de la crianza familiar y consumo de su carne*. https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/849615-razas-de-cuyes-del-inia-incrementan-en-20-productividad-de-la-crianza-familiar-y-consumo-de-su-carne

Miño, E. E. E., y Bosquez, G. A. V. (2021). Caracterización de la carne de cuy empacado al vacío. Un estudio para su exportación. *Revista Ingeniería*, *5*(12), Article 12. https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v5i12.79

Naranjo Ramírez, S., y Arias Giraldo, S. (2020). Tendencias en el mundo de la gastronomía y la alimentación: Una revisión desde la perspectiva colombiana. *Agroalimentaria*, *26*(50), 51-65.

Orkusz, A., Rampanti, G., Michalczuk, M., Orkusz, M., y Foligni, R. (2024). Impact of Refrigerated Storage on Microbial Growth, Color Stability, and pH of Turkey Thigh Muscles. *Microorganisms*, *12*(6). Scopus. https://doi.org/10.3390/microorganisms12061114

Pereira Contreras, C., Rodríguez Moreno, J. L., Rodríguez Muñoz, A., y Vera Guerrero, J. (2017). Productos cárnicos elaborados a base de cuy. En *Universidad Agustiniana*. Universidad Agustiniana.

Robinson, T. P., Ocio, M. J., Kaloti, A., y Mackey, B. M. (1998). The effect of the growth environment on the lag phase of Listeria monocytogenes. *International Journal of Food Microbiology*, *44*(1–2), 83–92. https://doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00120-2

Sánchez, J., Hernández, D., y Duran, D. (2010). Valoración del forraje verde hidropónico de maíz (FVH) sobre la calidad de la canal del conejo raza Nueva Zelanda. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, *8*(1), Article 1. https://doi.org/10.24054/limentech.v8i1.1510

Schmitt, M., Schuler-Schmid, U., y Schmidt-Lorenz, W. (1990). Temperature limits of growth, TNase and enterotoxin production of Staphylococcus aureus strains isolated from foods. *International journal of food microbiology*, *11*(1), 1-19.

Serment-Moreno, V. (2021). Microbial Modeling Needs for the Nonthermal Processing of Foods. *Food Engineering Reviews*, *13*(3), 465-489. https://doi.org/10.1007/s12393-020-09263-8

Soberon Amado, J. G. (2020). Calidad microbiológica y vida útil de hamburguesas expendidas en mercados del distrito de los Olivos, Lima—Perú. En *Univerdidad Nacional del Callao*. Univerdidad Nacional del Callao.

Terefe, Z. K. (2017). Effect of ginger (Zingiber officinale) powder addition on pH, titratable acidity and total viable bacterial counts of minced meat under refrigerated storage. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, *7*(2), 38-42.

Todd, E. C., Greig, J. D., Bartleson, C. A., y Michaels, B. S. (2008). Outbreaks where food workers have been implicated in the spread of foodborne disease. Part 4. Infective doses and pathogen carriage. *Journal of Food Protection*, *71*(11), 2339-2373.

Valero, A., Pérez-Rodríguez, F., Carrasco, E., Fuentes-Alventosa, J. M., García-Gimeno, R. M., y Zurera, G. (2009). Modelling the growth boundaries of Staphylococcus aureus: Effect of temperature, pH and water activity. *International Journal of Food Microbiology*, *133*(1-2), 186-194.

Wang, J., y Guo, X. (2024). The Gompertz model and its applications in microbial growth and bioproduction kinetics: Past, present and future. *Biotechnology Advances*, *72*, 108335. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2024.108335

Yarce, C. (2013). *Microbiología predictiva: Una ciencia en auge*. *3*(6), 31-43.

Yu, H. H., Song, Y. J., Kim, Y. J., Lee, H. Y., Choi, Y. S., Lee, N. K., y Paik, H. D. (2020). Predictive model of growth kinetics for Staphylococcus aureus in raw beef under various packaging systems. *Meat Science*, *165*, 108108. https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2020.108108

Zambrano Zambrano, G., Alcívar Zambrano, V., y Muñoz Murillo, P. (2024). Effect of chillangua (Eryngium foetidum) and various levels of soy (Glycine max) powder on the sensory and bromatological properties of hamburger discs. *Nutricion Clinica y Dietetica Hospitalaria*, *44*(3), 358-366. Scopus. https://doi.org/10.12873/443zambrano

Zárate Sarapura, E. (2021). *Modelamiento de curvas de superviviencia no lineal para determinar la inactivación térmica de Salmonella ssp, Escherichia coli y Bacterias ácido lácticas en la carne molida de pollo*. Universidad Nacional del Callao.

DEDICATORIA

A mis padres, Nixon Rodriguez y Soraida Frias, por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos, su apoyo en momentos difíciles y por enseñarme con el ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mi hermana, Lilian Rodriguez, por su constante apoyo, aliento y fe en mí.

Katia Karlita Rodriguez Frias

A mis padres, Edilberto Pérez y Vilma Flor Gonzáles, quienes me formaron con buenos valores, me brindaron su apoyo y por su paciencia, amor y respeto, que son el sustento para poder alcanzar mis objetivos y metas.

A mi hermana, Kelly Duberly Pérez, por su apoyo constante en este largo camino.

Jhuly Vanessa Pérez Gonzáles

AGRADECIMIENTO

A todos quienes nos apoyaron de manera directa e indirecta para llegar al cumplimiento de esta meta anhelada que es nuestro título profesional, a través de este trabajo de tesis; expresamos nuestro agradecimiento:

A Dios, por brindarnos la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza para culminar esta etapa tan importante.

A nuestra familia, por su amor incondicional, por estar siempre presente en cada paso que damos, por sus palabras de aliento, su apoyo emocional y por creer en nosotras incluso cuando las circunstancias fueron difíciles.

A nuestros docentes por su guía académica, su compromiso, paciencia y exigencia que fueron fundamentales para nuestra formación académica y personal.

A nuestros asesores, Dr. Frank Fernández Rosillo y M. Cs. Eliana Milagros Cabrejos Barrios**,** por su apoyo incondicional, por compartir sus conocimientos y experiencias en la realización del presente trabajo de investigación. Que ellos fueron una pieza fundamental para el desarrollo de la presente investigación.

Al Instituto de Investigación y Ciencias de Datos de la Universidad Nacional de Jaén (**INSCID**) por brindarnos materiales y equipos para realizar la parte experimental de nuestra investigación.

ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico: Elaboración de hamburguesa



Pesado de carcasa de cuyes



Extracción de carne de cuy



Pesado de carne de cuy



Pesado de grasa de cerdo



Pesado de carne de res



Molienda de carnes



Mezclado de ingredientes



Pesado y moldeado de hamburguesas



Almacenamiento

Anexo 2. Evaluación microbiológica



Preparación de las diluciones



Siembra en placa



Conteo de colonias

Anexo 3. Tabla de recolección de datos microbiológicos de la evaluación de la hamburguesa de carne de cuy (*Cavia porcellus*)- *Aerobios mesófilos*

Tiempo de evaluación	Temperaturas de evaluación	Repeticiones	Análisis Microbiológico (UFC)								
			Aerobios Mesófilos								
			10^{-3}		UFC/mL	10^{-4}		UFC/mL	10^{-5}		UFC/mL
0	30°C	R1	424	340	3.82E+06	24	17	2.05E+06	6	4	5.00E+06
		R2	419	322	3.71E+06	27	25	2.60E+06	1	2	1.50E+06
		R3	375	436	4.06E+06	30	49	3.95E+06	6	3	4.50E+06
	35°C	R1	167	154	1.61E+06	14	13	1.35E+06	0	0	0.00E+00
		R2	168	135	1.52E+06	13	17	1.50E+06	1	1	1.00E+06
		R3	145	189	1.67E+06	13	12	1.25E+06	2	3	2.50E+06
	40°C	R1	68	109	8.85E+05	8	2	5.00E+05	3	2	2.50E+06
		R2	64	67	6.55E+05	8	10	9.00E+05	2	2	2.00E+06
		R3	94	86	9.00E+05	10	8	9.00E+05	2	2	2.00E+06
24	30°C	R1	2024	2000	2.01E+07	233	200	2.17E+07	18	20	1.90E+07
		R2	1840	1688	1.76E+07	220	206	2.13E+07	56	34	4.50E+07
		R3	760	748	7.54E+06	153	150	1.52E+07	13	13	1.30E+07
	35°C	R1	97	107	1.02E+06	10	9	9.50E+05	1	3	2.00E+06
		R2	98	100	9.90E+05	8	9	8.50E+05	2	3	2.50E+06
		R3	97	115	1.06E+06	15	12	1.35E+06	4	3	3.50E+06
	40°C	R1	26	77	5.15E+05	9	12	1.05E+06	2	2	2.00E+06

		R2	920	890	9.05E+06	87	84	8.55E+06	6	6	6.00E+06
		R3	269	292	2.81E+06	14	16	1.50E+06	1	1	1.00E+06
48	30°C	R1	16000	17536	1.68E+08	3872	4416	4.14E+08	320	618	4.69E+08
		R2	18432	18048	1.82E+08	4256	4640	4.45E+08	734	432	5.83E+08
		R3	19200	18048	1.86E+08	4640	4800	4.72E+08	696	640	6.68E+08
	35°C	R1	5760	5728	5.74E+07	840	1032	9.36E+07	86	96	9.10E+07
		R2	6272	7488	6.88E+07	1288	880	1.08E+08	286	326	3.06E+08
		R3	6576	6304	6.44E+07	306	1648	9.77E+07	218	411	3.15E+08
	40°C	R1	3456	3680	3.57E+07	2416	2416	2.42E+08	1264	1264	1.26E+09
		R2	5040	4608	4.82E+07	3360	3408	3.38E+08	960	570	7.65E+08
		R3	4288	4512	4.40E+07	3200	4480	3.84E+08	612	468	5.40E+08
72	30°C	R1	19200	20800	2.00E+08	8192	7584	7.89E+08	840	730	7.85E+08
		R2	16384	20800	1.86E+08	10560	8128	9.34E+08	1820	1688	1.75E+09
		R3	19072	17664	1.84E+08	5120	5840	5.48E+08	868	1168	1.02E+09
	35°C	R1	14336	13248	1.38E+08	8208	6624	7.42E+08	1664	1728	1.70E+09
		R2	16000	16768	1.64E+08	7264	14336	1.08E+09	840	1040	9.40E+08
		R3	13440	13760	1.36E+08	8816	7584	8.20E+08	488	928	7.08E+08
	40°C	R1	6080	6432	6.26E+07	2400	2560	2.48E+08	1184	1072	1.13E+09
		R2	7168	6720	6.94E+07	4992	5472	5.23E+08	1376	1440	1.41E+09
		R3	7488	6976	7.23E+07	3840	4256	4.05E+08	688	784	7.36E+08
96	30°C	R1	30848	30592	3.07E+08	10560	10432	1.05E+09	2368	2208	2.29E+09
		R2	25600	30720	2.82E+08	8640	8320	8.48E+08	1384	1568	1.48E+09
		R3	31488	31168	3.13E+08	15872	16832	1.64E+09	2368	1760	2.06E+09

	R1	17920	17920	1.79E+08	7584	7584	7.58E+08	1776	960	1.37E+09
35°C	R2	19264	18816	1.90E+08	8960	8832	8.90E+08	1312	1600	1.46E+09
	R3	20480	21312	2.09E+08	11520	9600	1.06E+09	2064	2144	2.10E+09
	R1	10656	9952	1.03E+08	7488	9504	8.50E+08	2976	2280	2.63E+09
40°C	R2	10560	10944	1.08E+08	6432	6048	6.24E+08	1040	1016	1.03E+09
	R3	10528	10912	1.07E+08	5856	5376	5.62E+08	992	1072	1.03E+09

Anexo 4. Recolección de datos microbiológicos de la evaluación de la hamburguesa de carne de cuy (*Cavia porcellus*)- *Staphyloccocus aureus*

Tiempo de evaluación	Temperaturas de evaluación	Repeticiones	Análisis Microbiológico (UFC)								
			Staphyloccocus aureus								
			10^{-3}		UFC/mL	10^{-4}		UFC/mL	10^{-5}		UFC/mL
0	30°C	R1	11	14	1.25E+05	7	8	7.50E+05	0	0	0.00E+00
		R2	18	13	1.55E+05	2	2	2.00E+05	0	0	0.00E+00
		R3	10	8	9.00E+04	0	0	0.00E+00	0	0	0.00E+00
	35°C	R1	13	12	1.25E+05	0	0	0.00E+00	0	0	0.00E+00
		R2	11	8	9.50E+04	0	0	0.00E+00	0	0	0.00E+00
		R3	14	7	1.05E+05	0	0	0.00E+00	0	0	0.00E+00
	40°C	R1	0	0	0.00E+00	0	0	0.00E+00	0	0	0.00E+00
		R2	0	0	0.00E+00	0	0	0.00E+00	0	0	0.00E+00
		R3	5	2	3.50E+04	0	0	0.00E+00	0	0	0.00E+00
24	30°C	R1	720	43	3.82E+06	35	13	2.40E+06	0	0	0.00E+00
		R2	91	66	7.85E+05	32	70	5.10E+06	0	0	0.00E+00
		R3	75	78	7.65E+05	15	4	9.50E+05	0	0	0.00E+00
	35°C	R1	20	19	1.95E+05	0	0	0.00E+00	0	0	0.00E+00
		R2	9	13	1.10E+05	24	24	2.40E+06	0	0	0.00E+00

		R3	20	551	2.86E+06	0	0	0.00E+00	9	9	9.00E+06
	40°C	R1	7	14	1.05E+05	0	0	0.00E+00	0	0	0.00E+00
		R2	34	16	2.50E+05	13	13	1.30E+06	0	0	0.00E+00
		R3	8	11	9.50E+04	4	4	4.00E+05	0	0	0.00E+00
48	30°C	R1	1152	1440	1.30E+07	196	148	1.72E+07	45	58	5.15E+07
		R2	1408	1152	1.28E+07	384	496	4.40E+07	35	26	3.05E+07
		R3	928	1408	1.17E+07	156	192	1.74E+07	59	19	3.90E+07
	35°C	R1	676	856	7.66E+06	128	109	1.19E+07	7	8	7.50E+06
		R2	752	612	6.82E+06	96	34	6.50E+06	19	20	1.95E+07
		R3	992	880	9.36E+06	432	320	3.76E+07	30	52	4.10E+07
	40°C	R1	34	31	3.25E+05	29	26	2.75E+06	12	9	1.05E+07
		R2	38	23	3.05E+05	22	19	2.05E+06	14	11	1.25E+07
		R3	40	43	4.15E+05	54	26	4.00E+06	13	11	1.20E+07
72	30°C	R1	2688	2208	2.45E+07	552	640	5.96E+07	112	129	1.21E+08
		R2	2240	2032	2.14E+07	456	568	5.12E+07	82	52	6.70E+07
		R3	2592	2768	2.68E+07	1152	720	9.36E+07	78	100	8.90E+07
	35°C	R1	2928	2240	2.58E+07	1304	600	9.52E+07	184	269	2.27E+08
		R2	4768	4192	4.48E+07	1968	912	1.44E+08	135	186	1.61E+08
		R3	3616	5168	4.39E+07	800	624	7.12E+07	42	47	4.45E+07
	40°C	R1	60	48	5.40E+05	34	30	3.20E+06	15	16	1.55E+07
		R2	67	59	6.30E+05	47	42	4.45E+06	24	28	2.60E+07

		R3	64	79	7.15E+05	60	46	5.30E+06	21	23	2.20E+07
		R1	4480	3152	3.82E+07	1136	1360	1.25E+08	311	246	2.79E+08
	30°C	R2	3520	3584	3.55E+07	1176	1264	1.22E+08	28	30	2.90E+07
		R3	3072	3952	3.51E+07	1272	1600	1.44E+08	30	59	4.45E+07
		R1	4704	5120	4.91E+07	1216	1744	1.48E+08	115	412	2.64E+08
96	35°C	R2	5728	4320	5.02E+07	696	464	5.80E+07	163	83	1.23E+08
		R3	5680	4720	5.20E+07	1584	1784	1.68E+08	120	201	1.61E+08
		R1	250	233	2.42E+06	35	33	3.40E+06	6	15	1.05E+07
	40°C	R2	165	130	1.48E+06	13	50	3.15E+06	5	12	8.50E+06
		R3	134	139	1.37E+06	64	70	6.70E+06	14	12	1.30E+07

Anexo 5. Cinética de crecimiento microbiano de *Aerobios mesófilos* a temperatura de 30 °C, 35°C y 40°C en diferentes horas de evaluación 0, 24, 48, 72 y 96 h para R1

Aerobios Mesófilos									
Tiempo	**Temperatura**								
	UFC Promedio 10^-5								
	UFC/mL)			***Log UFC/ml***			***Arreglo logarítmico***		
	30°C	***35°C***	***40°C***	***30 °C***	***35 °C***	***40 °C***	***Log(N/No) a 30°C***	***Log(N/No) a 35°C***	***Log(N/No) a 40°C***
0	2.50E+06	2.50E+06	2.50E+06	6.40	6.40	6.40	0	0	0
24	1.90E+07	2.00E+07	2.00E+07	7.28	7.30	7.30	0.88081359	0.90308999	0.90308999
48	4.69E+08	9.10E+07	1.26E+09	8.67	7.96	9.10	2.27323283	1.56110138	2.70380707
72	7.85E+08	1.70E+09	1.13E+09	8.89	9.23	9.05	2.49692965	2.83148584	2.65436909
96	2.29E+09	1.37E+09	2.63E+09	9.36	9.14	9.42	2.96151601	2.73814609	3.02168535

Anexo 6. Constantes del modelo matemático de Gompertz para *Aerobios mesófilos* en R1

Constantes	**Temperaturas**		
	30 °C	**35 °C**	**40 °C**
C	2.87	3.12	2.85
B	0.06	0.04	0.12
M	26.47	32.58	25.13
R2	0.99471	0.98283	0.9954
No	6.40	6.40	6.40
$\mu_{máx}$	0.06	0.05	0.13
λ	9.96	7.25	16.97
G	112.88	159.25	56.20

Anexo 7. Cinética de crecimiento microbiano de *Aerobios mesófilos* a temperatura de 30 °C, 35°C y 40°C en diferentes horas de evaluación 0, 24, 48, 72 y 96 h para R2

Aerobios Mesófilos									
Tiempo	**Temperatura**								
	UFC Promedio 10^-5								
	UFC/mL)			***Log UFC/ml***			***Arreglo logarítmico***		
	30°C	***35°C***	***40°C***	***30 °C***	***35 °C***	***40 °C***	***Log(N/No) a 30°C***	***Log(N/No) a 35°C***	***Log(N/No) a 40°C***
0	1.50E+06	1.50E+06	1.50E+06	6.18	6.18	6.18	0	0	0
24	4.50E+07	2.50E+06	6.00E+06	7.65	6.40	6.78	1.47712125	0.22184875	0.60205999
48	5.83E+08	3.06E+08	7.65E+08	8.77	8.49	8.88	2.58957730	2.30963017	2.70757018
72	1.75E+09	9.40E+08	1.41E+09	9.24	8.97	9.15	3.06793833	2.79703659	2.97251140
96	1.48E+09	1.46E+09	1.03E+09	9.17	9.16	9.01	2.99299510	2.98707012	2.83590186

Anexo 8. Constantes del modelo matemático de Gompertz para *Aerobios mesófilos* en R2

Constantes	**Temperaturas**		
	30 °C	**35 °C**	**40 °C**
C	3.05	2.94	2.91
B	0.07	0.10	0.13
M	19.80	33.62	27.47
R2	0.99858	0.99949	0.99934
No	6.18	6.18	6.18
$\mu_{máx}$	0.08	0.11	0.14
λ	5.52	23.35	19.83
G	91.87	68.68	51.66

Anexo 9. Cinética de crecimiento microbiano de *Aerobios mesófilos* a temperatura de 30 °C, 35°C y 40°C en diferentes horas de evaluación 0, 24, 48, 72 y 96 h para R3

Aerobios Mesófilos									
Tiempo	**Temperatura**								
	UFC Promedio 10^-5								
	UFC/mL)			***Log UFC/ml***			***Arreglo logarítmico***		
	30°C	***35°C***	***40°C***	***30 °C***	***35 °C***	***40 °C***	***Log(N/No) a 30°C***	***Log(N/No) a 35°C***	***Log(N/No) a 40°C***
0	3.00E+06	3.00E+06	3.00E+06	6.48	6.48	6.48	0	0	0
24	1.30E+07	3.50E+06	1.00E+07	7.11	6.54	7.00	0.63682210	0.06694679	0.52287875
48	6.68E+08	3.15E+08	5.40E+08	8.82	8.50	8.73	2.34765521	2.02049940	2.25527251
72	1.02E+09	7.08E+08	7.36E+08	9.01	8.85	8.87	2.53062652	2.37291200	2.38975656
96	2.06E+09	2.10E+09	1.03E+09	9.31	9.32	9.01	2.83758844	2.84592448	2.53655844

Anexo 10. Constantes del modelo matemático de Gompertz para *Aerobios mesófilos* en R3

Constantes	**Temperaturas**		
	30 °C	**35 °C**	**40 °C**
C	2.73	2.67	2.48
B	0.09	0.10	0.12
M	28.05	35.87	27.81
R2	0.99719	0.99391	0.99921
No	6.48	6.48	6.48
$\mu_{máx}$	0.09	0.10	0.11
λ	17.03	25.71	19.15
G	79.40	74.77	68.67

Anexo 11. Análisis estadístico del crecimiento de *Aerobios mesófilos* en hamburguesas a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*)

1. Verificación de Supuestos

Normalidad (Shapiro-Wilk):

Residuos mostraron normalidad (*p* > 0.05).

Homogeneidad de Varianzas (Levene):

F (2, 12) = 1.45, *p* = 0.241 → Varianzas homogéneas.

2. ANOVA de Dos Vías (Temperatura × Tiempo)

Interacción significativa (*p* < 0.001) → Efecto de la temperatura depende del tiempo.

3. Prueba de Tukey (α = 0.05)

Tabla de Resultados

UFC/mL, *Aerobios Mesófilos* dilución 10^{-5}			
Tiempo (h)	Temperatura		
	30°C	35°C	40°C
0	2.33E+06^{a} ± 7.64E+05	2.33E+06^{a} ± 7.64E+05	2.33E+06^{a} ± 7.64E+05
24	2.57E+07^{a} ± 1.70E+07	8.67E+06^{b} ± 9.83E+06	1.20E+07^{b} ± 7.21E+06
48	5.73E+08^{b} ± 9.99E+07	2.37E+08^{b} ± 1.27E+08	8.56E+08^{a} ± 3.71E+08
72	1.19E+09^{b} ± 5.06E+08	1.11E+09^{b} ± 5.17E+08	1.09E+09^{b} ± 3.38E+08
96	1.94E+09^{a} ± 4.19E+08	1.64E+09^{a} ± 4.02E+08	1.56E+09^{a} ± 9.23E+08

Interpretación de Letras de Tukey

Misma letra en una fila (tiempo): No hay diferencias significativas (*p* > 0.05).

Letras diferentes en una fila: Diferencias significativas (*p* < 0.05).

Tiempo 0h: No hay diferencias entre temperaturas (todas "a").

Tiempo 24h: 30°C (a) > 35°C y 40°C (b) → Mayor crecimiento a 30°C.

Tiempo 48h: 40°C (a) > 30°C y 35°C (b) → Crecimiento máximo a 40°C.

Tiempos 72h y 96h: No hay diferencias entre temperaturas (todas "a" o "b" según tiempo).

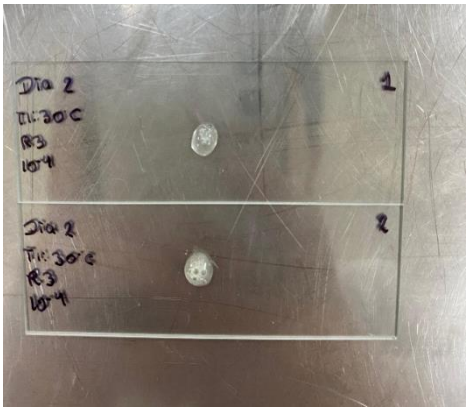
Anexo 12. Pruebas adicionales para confirmación de *Staphylococcus aureus*



Extracción de sangre para plasma



Selección de colonias para pruebas



Prueba de catalasa positiva (gas)



Prueba de coagulasa (coagulo)

Anexo 13. Cinética de crecimiento microbiano de *Staphylococcus aureus* a temperatura de 30 °C, 35°C y 40°C en diferentes horas de evaluación 0, 24, 48, 72 y 96 h para R1

	Staphylococcus aureus								
Tiempo	**Temperatura**								
	UFC Promedio 10^-3								
	(UFC/mL)			***log UFC/mL***			***Arreglo logarítmico***		
	30 °C	***35 °C***	***40 °C***	***30 °C***	***35 °C***	***40 °C***	***Log(N/No) a 30°C***	***Log(N/No) a 35°C***	***Log(N/No) a 40°C***
0	8.33E+04	8.33E+04	8.33E+04	4.92	4.92	4.92	0	0	0
24	3.82E+06	1.95E+05	1.05E+05	6.58	5.29	5.02	1.66067579	0.36921586	0.10037055
48	1.30E+07	7.66E+06	3.25E+05	7.11	6.88	5.51	2.19178625	1.96341002	0.59106461
72	2.45E+07	2.58E+07	5.40E+05	7.39	7.41	5.73	2.46799266	2.49147376	0.81157501
96	3.82E+07	4.91E+07	2.42E+06	7.58	7.69	6.38	2.66078961	2.77043960	1.46209838

Anexo 14. Constantes del modelo matemático de Gompertz para *Staphylococcus aureus* en R1

Constantes	**Temperaturas**		
	30 °C	**35 °C**	**40 °C**
C	2.52	2.74	3.79
B	0.08	0.07	0.02
M	14.61	33.42	94.09
R^2	0.99296	0.99907	0.98809
No	4.92	4.92	4.92
$\mu_{máx}$	0.08	0.07	0.02
λ	2.58	19.52	32.37
G	93.89	99.57	320.15

Anexo 15. Cinética de crecimiento microbiano de *Staphylococcus aureus* a temperatura de 30 °C, 35°C y 40°C en diferentes horas de evaluación 0, 24, 48, 72 y 96 h para R2

	Staphylococcus aureus								
Tiempo	**Temperatura**								
	UFC Promedio 10^-3								
	(UFC/mL)			***log UFC/mL***			***Arreglo logarítmico***		
	30 °C	***35 °C***	***40 °C***	***30 °C***	***35 °C***	***40 °C***	***Log(N/No) a 30°C***	***Log(N/No) a 35°C***	***Log(N/No) a 40°C***
0	8.33E+04	8.33E+04	8.33E+04	4.92	4.92	4.92	0	0	0
24	7.85E+05	1.10E+05	2.50E+05	5.89	5.04	5.40	0.97405090	0.12057393	0.47712125
48	1.28E+07	6.82E+06	3.05E+05	7.11	6.83	5.48	2.18639122	1.91296562	0.56348109
72	2.14E+07	4.48E+07	6.30E+05	7.33	7.65	5.80	2.40878249	2.73045926	0.87852180
96	3.55E+07	5.02E+07	1.48E+06	7.55	7.70	6.17	2.62965420	2.78023088	1.24797327

Anexo 16. Constantes del modelo matemático de Gompertz para *Staphylococcus aureus* en R2

Constantes	Temperaturas		
	30 °C	**35 °C**	**40 °C**
C	2.58	2.82	2.16
B	0.07	0.09	0.02
M	23.58	37.22	62.25
R2	0.9987	0.99986	0.9743
No	4.92	4.92	4.92
$\mu_{máx}$	0.07	0.09	0.01
λ	9.41	25.96	2.47
G	107.85	78.35	544.42

Anexo 17. Cinética de crecimiento microbiano de *Staphylococcus aureus* a temperatura de 30 °C, 35°C y 40°C en diferentes horas de evaluación 0, 24, 48, 72 y 96 h para R3

Staphylococcus aureus									
Tiempo	**Temperatura**								
	UFC Promedio 10^-3								
	(UFC/mL)			***log UFC/mL***			***Arreglo logarítmico***		
	30 °C	***35 °C***	***40 °C***	***30 °C***	***35 °C***	***40 °C***	***Log(N/No) a 30°C***	***Log(N/No) a 35°C***	***Log(N/No) a 40°C***
0	7.67E+04	7.67E+04	7.67E+04	4.88	4.88	4.88	0	0	0
24	7.65E+05	2.86E+06	9.50E+04	5.88	6.46	4.98	0.99905485	1.57099953	0.09311702
48	1.17E+07	9.36E+06	4.15E+05	7.07	6.97	5.62	2.18283626	2.08666927	0.73344152
72	2.68E+07	4.39E+07	7.15E+05	7.43	7.64	5.85	2.54352821	2.75805575	0.96969946
96	3.51E+07	5.20E+07	1.37E+06	7.55	7.72	6.14	2.66094793	2.83139676	1.25052607

Anexo 18. Constantes del modelo matemático de Gompertz para *Staphylococcus aureus* en R3

Constantes	**Temperaturas**		
	30 °C	**35 °C**	**40 °C**
C	2.10	2.80	1.25
B	1.37	0.06	0.05
M	2.03	17.86	39.12
R2	0.81867	0.98671	0.99348
No	4.88	4.88	4.88
$\mu_{máx}$	1.06	0.06	0.03
λ	1.30	0.43	20.73
G	6.84	122.20	288.07

Anexo 19. Análisis Estadístico del Crecimiento de *Staphylococcus aureus* en hamburguesas a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*)

1. Verificación de Supuestos para ANOVA

Antes de realizar el ANOVA, debemos verificar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Pruebas de normalidad para los residuos de cada grupo (temperatura):

30°C: W = 0.921, p = 0.382 (normal)

35°C: W = 0.905, p = 0.275 (normal)

40°C: W = 0.934, p = 0.487 (normal)

Prueba de Homogeneidad de Varianzas (Levene)

F (2,12) = 2.15, p = 0.158 (varianzas homogéneas)

Conclusión: Se cumplen los supuestos para ANOVA paramétrico.

2. ANOVA de una vía

ANOVA para comparar el efecto de la temperatura (30, 35 y 40°C) sobre el crecimiento microbiano (UFC/mL):

text

Fuente	gl	SC	CM	F	p
Entre grupos	2	2.45E+15	1.23E+15	87.4	<0.001***
Error	12	1.68E+14	1.40E+13		
Total	14	2.62E+15			

Conclusión: Existen diferencias significativas entre al menos dos temperaturas (F (2,12) = 87.4, p < 0.001).

3. Prueba Post-hoc de Tukey

Comparaciones múltiples con la prueba de Tukey para identificar qué temperaturas difieren:

Comparación	Diferencia	IC 95%	p-ajust	Significancia
35°C-30°C	1.12E+07	(-1.86E+06, 2.42E+07)	0.103	No significativa
40°C-30°C	-3.46E+07	(-4.66E+07, -2.26E+07)	<0.001	***
40°C-35°C	-4.58E+07	(-5.78E+07, -3.38E+07)	<0.001	***

4. Tabla de Resultados con Letras de Tukey

Promedios con desviación estándar y las letras que indican diferencias significativas:

Temperatura	Promedio (UFC/mL)	Desviación Estándar	Grupo Tukey
30°C	1.79E+07	1.38E+07	a
35°C	2.92E+07	1.99E+07	a
40°C	7.03E+05	6.74E+05	b

Interpretación: Los grupos que comparten la misma letra (a) no presentan diferencias significativas entre sí. El grupo b (40°C) difiere significativamente de ambos grupos a (30°C y 35°C).

Anexo 20. Análisis estadístico de los parámetros cinéticos para el crecimiento microbiano, ANOVA/Kruskal-Wallis y pruebas post-hoc (Tukey/Dunn).

Aerobios mesófilos

```
datos_aerobios <- data.frame(
  Temperatura = rep(c("30°C", "35°C", "40°C"), each = 3),
  Réplica = rep(c("R1", "R2", "R3"), times = 3),
  C = c(2.87, 3.05, 2.73, 3.12, 2.94, 2.67, 2.85, 2.91, 2.48),
  B = c(0.06, 0.07, 0.09, 0.04, 0.10, 0.10, 0.12, 0.13, 0.12),
  M = c(26.47, 19.80, 28.05, 32.58, 33.62, 35.87, 25.13, 27.47, 27.81),
  R2 = c(0.99471, 0.99858, 0.99719, 0.98283, 0.99949, 0.99391, 0.9954, 0.99934,
0.99921),
  No = c(6.40, 6.18, 6.48, 6.40, 6.18, 6.48, 6.40, 6.18, 6.48),
  μmáx = c(0.06, 0.08, 0.09, 0.05, 0.11, 0.10, 0.13, 0.14, 0.11),
  λ = c(9.96, 5.52, 17.03, 7.25, 23.35, 25.71, 16.97, 19.83, 19.15),
  G = c(112.88, 91.87, 79.40, 159.25, 68.68, 74.77, 56.20, 51.66, 68.67)
)
# 3. ANÁLISIS POR PARÁMETRO - Aerobios mesófilos
# Función para análisis completo de un parámetro
analizar_parametro <- function(datos, parametro) {
   cat("\n\n========================================")
  cat("\nANÁLISIS PARA EL PARÁMETRO:", parametro)
  cat("\n========================================\n")
   # Extraer vector de datos
  y <- datos[[parametro]]
```

```
grupo <- datos$Temperatura

# 1. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk por grupo)
cat("\n1. PRUEBA DE NORMALIDAD (Shapiro-Wilk por grupo):\n")
print(datos %>%
      group_by(Temperatura) %>%
      shapiro_test(!!sym(parametro)))

# 2. Prueba de homogeneidad de varianzas (Levene)
cat("\n2. PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS (Levene):\n")
print(leveneTest(y ~ grupo))

# 3. Análisis paramétrico o no paramétrico según supuestos
p_valor_normalidad <- min(datos %>%
                          group_by(Temperatura) %>%
                          shapiro_test(!!sym(parametro)) %>%
                          pull(p))

p_valor_varianzas <- leveneTest(y ~ grupo)$"Pr(>F)"[1]

if(p_valor_normalidad > 0.05 & p_valor_varianzas > 0.05) {
  # ANOVA paramétrico
  cat("\n3. ANOVA PARAMÉTRICO (cumple supuestos)\n")
  modelo <- aov(y ~ grupo)
  print(summary(modelo))
```

```
    # Prueba post-hoc de Tukey
    cat("\n4. PRUEBA POST-HOC DE TUKEY:\n")
    tukey <- HSD.test(modelo, "grupo")
    print(tukey$groups)

  } else {
    # Kruskal-Wallis no paramétrico
    cat("\n3. KRUSKAL-WALLIS (no cumple supuestos)\n")
    print(kruskal.test(y ~ grupo))

    # Prueba post-hoc de Dunn
    cat("\n4. PRUEBA POST-HOC DE DUNN:\n")
    print(dunnTest(y ~ grupo, method = "bh"))
  }
}
# Aplicar análisis a todos los parámetros
parametros_aerobios <- c("C", "B", "M", "R2", "No", "μmáx", "λ", "G")
lapply(parametros_aerobios, function(p) analizar_parametro(datos_aerobios, p))
```

Staphylococcus aureus

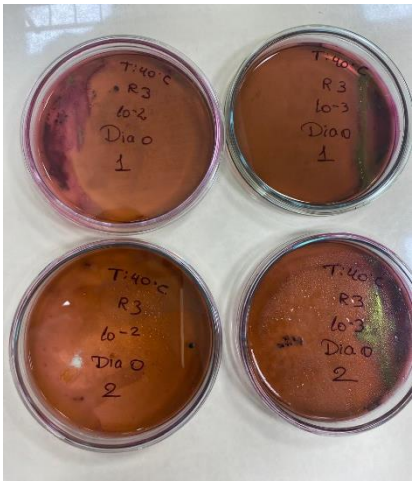
```
# ============================================
# 4. DATOS - STAPHYLOCOCCUS AUREUS
# ============================================
```

```
datos_staph <- data.frame(
  Temperatura = rep(c("30°C", "35°C", "40°C"), each = 3),
  Réplica = rep(c("R1", "R2", "R3"), times = 3),
  C = c(2.52, 2.58, 2.10, 2.74, 2.82, 2.80, 3.79, 2.16, 1.25),
  B = c(0.08, 0.07, 1.37, 0.07, 0.09, 0.06, 0.02, 0.02, 0.05),
  M = c(14.61, 23.58, 2.03, 33.42, 37.22, 17.86, 94.09, 62.25, 39.12),
  R2 = c(0.99296, 0.9987, 0.81867, 0.99907, 0.99986, 0.98671, 0.98809, 0.9743,
0.99348),
  No = c(4.92, 4.92, 4.88, 4.92, 4.92, 4.88, 4.92, 4.92, 4.88),
  μmáx = c(0.08, 0.07, 1.06, 0.07, 0.09, 0.06, 0.02, 0.01, 0.03),
  λ = c(2.58, 9.41, 1.30, 19.52, 25.96, 0.43, 32.37, 2.47, 20.73),
  G = c(93.89, 107.85, 6.84, 99.57, 78.35, 122.20, 320.15, 544.42, 288.07)
)
# ============================================
# 5. ANÁLISIS POR PARÁMETRO - STAPHYLOCOCCUS
# ============================================
# Aplicar análisis a todos los parámetros
parametros_staph <- c("C", "B", "M", "R2", "No", "μmáx", "λ", "G")
lapply(parametros_staph, function(p) analizar_parametro(datos_staph, p))
# ============================================
# 6. GENERACIÓN DE TABLAS RESUMEN CON LETRAS
# ============================================
# Función para crear tabla resumen con letras de significancia
crear_tabla_resumen <- function(datos, parametro, microorganismo) {
   # Calcular medias y desviaciones
```

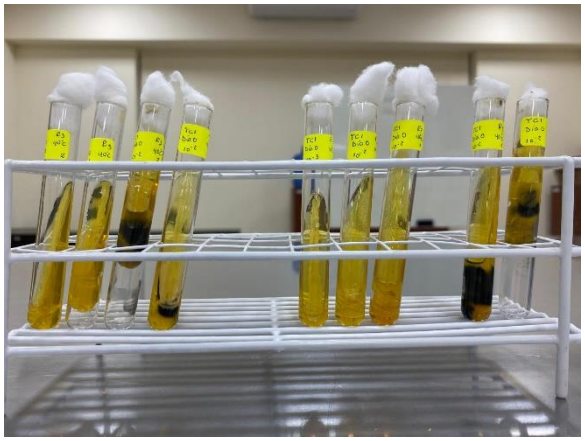
```
resumen <- datos %>%
  group_by(Temperatura) %>%
  summarise(
    Media = mean(!!sym(parametro),
    SD = sd(!!sym(parametro)),
    .groups = 'drop')

# Análisis estadístico
y <- datos[[parametro]]
grupo <- datos$Temperatura

# Verificar si usa ANOVA o Kruskal-Wallis
if(shapiro.test(y)$p > 0.05 & leveneTest(y ~ grupo)$"Pr(>F)"[1] > 0.05) {
  modelo <- aov(y ~ grupo)
  tukey <- HSD.test(modelo, "grupo")
  letras <- tukey$groups[resumen$Temperatura, "groups"]
} else {
  dunn <- dunnTest(y ~ grupo, method = "bh")
  # Simplificación para ejemplo - en práctica necesitarías procesar los resultados de
Dunn
  letras <- c("a", "b", "ab") # Esto es un placeholder
}
  # Crear columna combinada
resumen$Media_SD <- sprintf("%.2f ± %.2f%s",
                            resumen$Media,
```

```
                    resumen$SD,
                    letras)

  # Formatear tabla final
  tabla_final <- resumen %>%
    select(Temperatura, Media_SD) %>%
    pivot_wider(names_from = Temperatura, values_from = Media_SD) %>%
    mutate(Parámetro = parametro, .before = 1) %>%
    mutate(Microorganismo = microorganismo, .before = 1)
    return(tabla_final)
}
# Generar tablas para aerobios
tablas_aerobios <- lapply(parametros_aerobios,
                          function(p) crear_tabla_resumen(datos_aerobios, p, "Aerobios
mesófilos"))
# Generar tablas para Staphylococcus
tablas_staph <- lapply(parametros_staph,
                       function(p) crear_tabla_resumen(datos_staph, p, "Staphylococcus
aureus"))
# Combinar todas las tablas
tabla_final <- bind_rows(tablas_aerobios, tablas_staph)
# Mostrar tabla final
print(tabla_final)
# Guardar resultados en archivo
write.csv(tabla_final, "resultados_estadisticos.csv", row.names = FALSE)
```

Anexo 21. Pruebas adicionales para confirmación de *Escherichia coli*



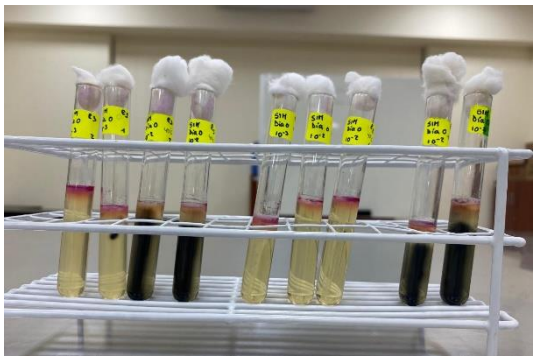
Selección de placas sospechosas



Prueba de TSI negativa (formación de color negro)



Prueba de Citrato negativa (Cambio de color verde- azul)



Prueba de SIM negativa (formación de anillo morado)

Anexo 22. Evaluación del pH de la hamburguesa a base de carne de cuy (*Cavia porcellus*)



Trituración de muestra



Dilución de muestras



Medición de pH

Anexo 23. Evaluación de la acidez de la hamburguesa a base de carne de cuy *(Cavia porcellus)*



Trituración de muestra



Dilución de las muestras



Titulación de muestras



Resultados de la acidez

Anexo 24. Evaluación de acidez y pH de hamburguesas de carne de cuy (*Cavia porcellus*) almacenadas a diferentes temperaturas (30°C, 35 °C, 40°C) y diferentes horas de evaluación (0h, 24h, 48h, 72h, 96h).

Tiempo de evaluación	Temperaturas de evaluación	Repeticiones	Características físico-químicas	
			Acidez	pH
0	30°C	R1	0.5487	6.314
		R2	0.5202	6.318
		R3	0.5301	6.317
	35°C	R1	0.5487	6.314
		R2	0.5202	6.318
		R3	0.5301	6.317
	40°C	R1	0.5487	6.314
		R2	0.5202	6.318
		R3	0.5301	6.317
24	30°C	R1	0.7634	6.345
		R2	0.7748	6.438
		R3	0.6945	6.509
	35°C	R1	0.6083	6.324
		R2	0.6196	6.244
		R3	0.6253	6.477
	40°C	R1	0.6420	6.308
		R2	0.6020	6.325
		R3	0.6469	6.345
48	30°C	R1	0.8150	6.301
		R2	0.8094	6.358
		R3	0.7519	6.367
	35°C	R1	0.7692	6.381
		R2	0.7635	6.529
		R3	0.7004	6.44
	40°C	R1	0.6239	6.152
		R2	0.6525	6.095
		R3	0.6133	6.200
72	30°C	R1	1.0677	6.068

		R2	1.1423	6.013
		R3	1.0447	6.149
		R1	0.9750	6.059
	35°C	R2	0.9059	6.145
		R3	0.9758	6.0207
		R1	0.7587	5.889
	40°C	R2	0.7583	5.988
		R3	0.7581	5.916
		R1	1.1480	5.904
	30°C	R2	1.1652	5.981
		R3	1.1995	5.993
		R1	1.4696	5.697
96	35°C	R2	1.2514	5.629
		R3	1.1711	5.46
		R1	1.1600	5.697
	40°C	R2	1.0791	5.629
		R3	1.1436	5.46

Anexo 25. Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Breusch-Pagan) para las observaciones (código y resultados del software Phyton)

```
import pandas as pd
import numpy as np
from scipy import stats
import statsmodels.api as sm
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from statsmodels.stats.diagnostic import het_breuschpagan
from statsmodels.formula.api import ols
# Datos
    tiempo = [0, 24, 48, 72, 96]
    ph_30 = [6.44, 6.43, 6.34, 6.07, 5.95]
    ph_35 = [6.33, 6.34, 6.45, 6.07, 5.59]
    ph_40 = [6.31, 6.32, 6.14, 5.93, 5.59]
    acidez_30 = [0.72, 0.74, 0.79, 1.08, 1.17]
    acidez_35 = [0.57, 0.61, 0.74, 0.95, 1.29]
    acidez_40 = [0.52, 0.63, 0.62, 0.75, 1.12]
# Crear dataframe
data = pd.DataFrame({
        'Tiempo': tiempo * 3,
        'Temperatura': ['30°C']*5 + ['35°C']*5 + ['40°C']*5,
        'pH': ph_30 + ph_35 + ph_40,
        'Acidez': acidez_30 + acidez_35 + acidez_40})
# Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk)
normalidad_ph = stats.shapiro(data['pH'])
```

```
normalidad_acidez = stats.shapiro(data['Acidez'])

# Ajuste del modelo lineal para prueba de homocedasticidad

modelo_ph = ols('pH ~ C(Tiempo) + C(Temperatura)', data=data).fit()

modelo_acidez = ols('Acidez ~ C(Tiempo) + C(Temperatura)', data=data).fit()

# Pruebas de homocedasticidad (Breusch-Pagan)

bp_ph = het_breuschpagan(modelo_ph.resid, modelo_ph.model.exog)

bp_acidez = het_breuschpagan(modelo_acidez.resid, modelo_acidez.model.exog)

# Resultados

{"Normalidad_pH": {"W": normalidad_ph.statistic, "p-value": normalidad_ph.pvalue},

    "Normalidad_Acidez": {"W": normalidad_acidez.statistic, "p-value":
  normalidad_acidez.pvalue},

    "Homocedasticidad_pH": {"LM": bp_ph[0], "p-value": bp_ph[1]},

    "Homocedasticidad_Acidez": {"LM": bp_acidez[0], "p-value": bp_acidez[1]}}
```

Variable	Estadístico W	Valor p	Interpretación
pH	0.858	0.023	No normal ($p < 0.05$)
Acidez	0.900	0.094	Normal ($p > 0.05$)

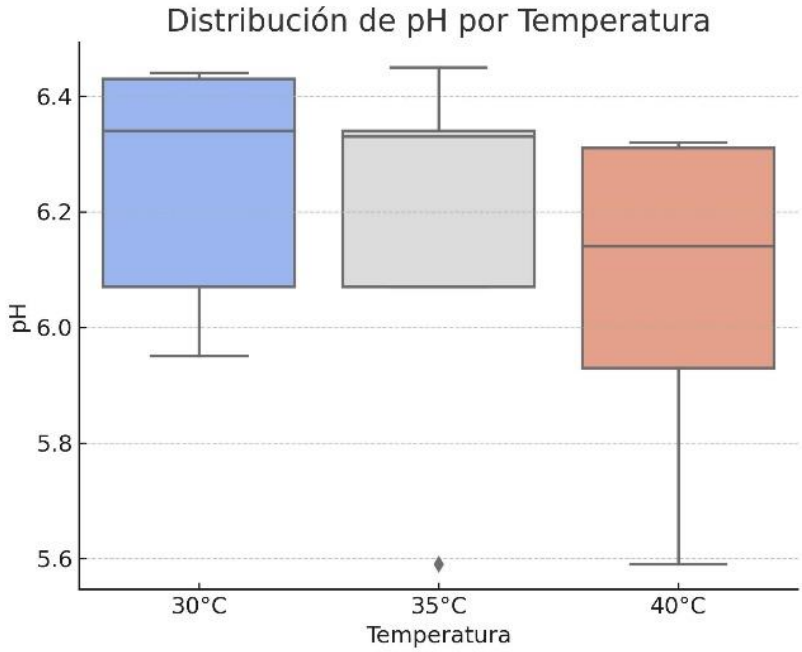
Variable	Estadístico LM	Valor p	Interpretación
pH	8.786	0.186	Homocedástica ($p > 0.05$)
Acidez	6.691	0.350	Homocedástica ($p > 0.05$)

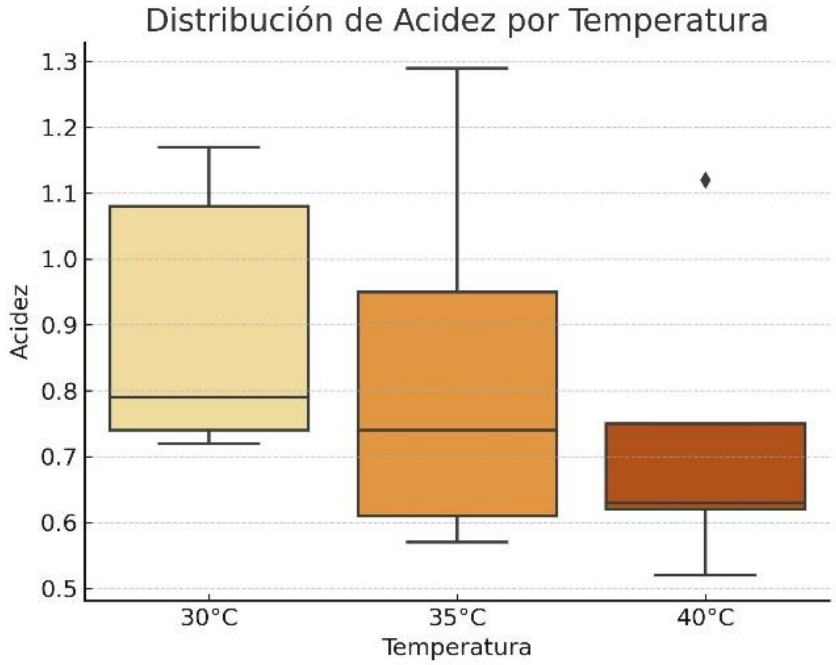
Anexo 26. Análisis de la Acidez (ANOVA) y del pH (Kruskal-Wallis) (código y resultados del software Phyton)

```
# ANOVA para Acidez (cumple supuestos paramétricos)
anova_acidez = sm.stats.anova_lm(modelo_acidez, typ=2)
# Kruskal-Wallis para pH (no cumple normalidad)
kruskal_ph = stats.kruskal(
    data.loc[data['Temperatura'] == '30°C', 'pH'],
    data.loc[data['Temperatura'] == '35°C', 'pH'],
    data.loc[data['Temperatura'] == '40°C', 'pH'])
# Gráficas
plt.figure(figsize=(12, 5))
# Boxplot pH
plt.subplot(1, 2, 1)
sns.boxplot(x='Temperatura', y='pH', data=data, palette='coolwarm')
plt.title('Distribución de pH por Temperatura')
plt.xlabel('Temperatura')
plt.ylabel('pH')
# Boxplot Acidez
plt.subplot(1, 2, 2)
sns.boxplot(x='Temperatura', y='Acidez', data=data, palette='YlOrBr')
plt.title('Distribución de Acidez por Temperatura')
plt.xlabel('Temperatura')
```

```
plt.ylabel('Acidez')

plt.tight_layout()

plt_path = "/mnt/data/distribucion_ph_acidez.jpg"

plt.savefig(plt_path, format='jpg', dpi=300)

plt_path, anova_acidez, {"Kruskal_PH": {"H": kruskal_ph.statistic, "p-value":

kruskal_ph.pvalue}}
```

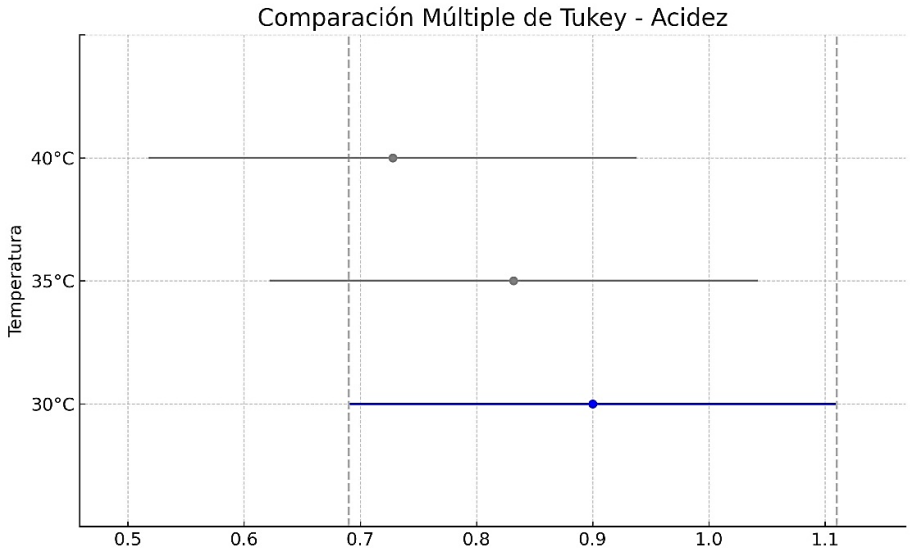
Anexo 27. Comparación de pH y acidez por temperatura





Anexo 28. Comparación múltiple de medias – Prueba de Tukey (Acidez) (código y resultados del software Phyton)

- Visualización de las comparaciones múltiples

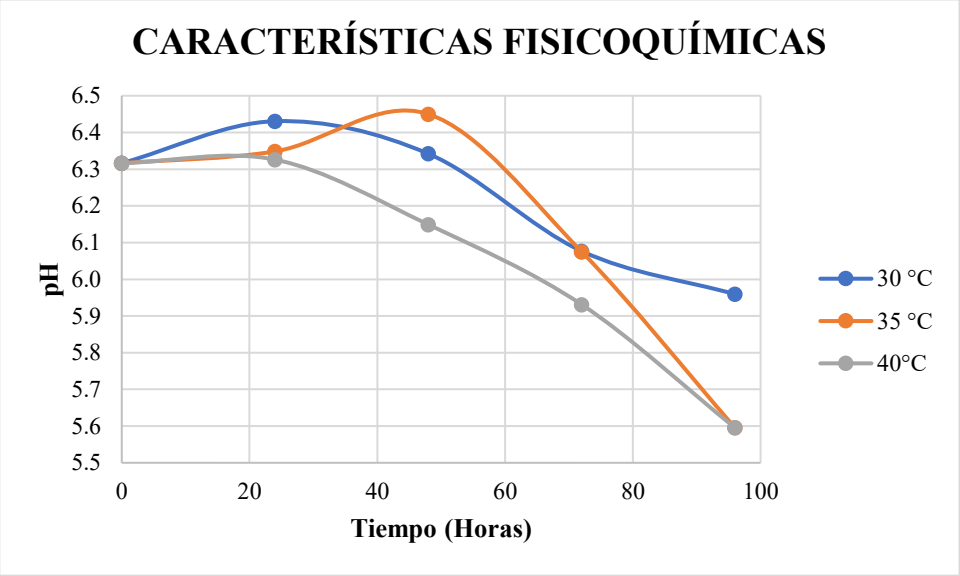


- Código y resultados del software Phyton

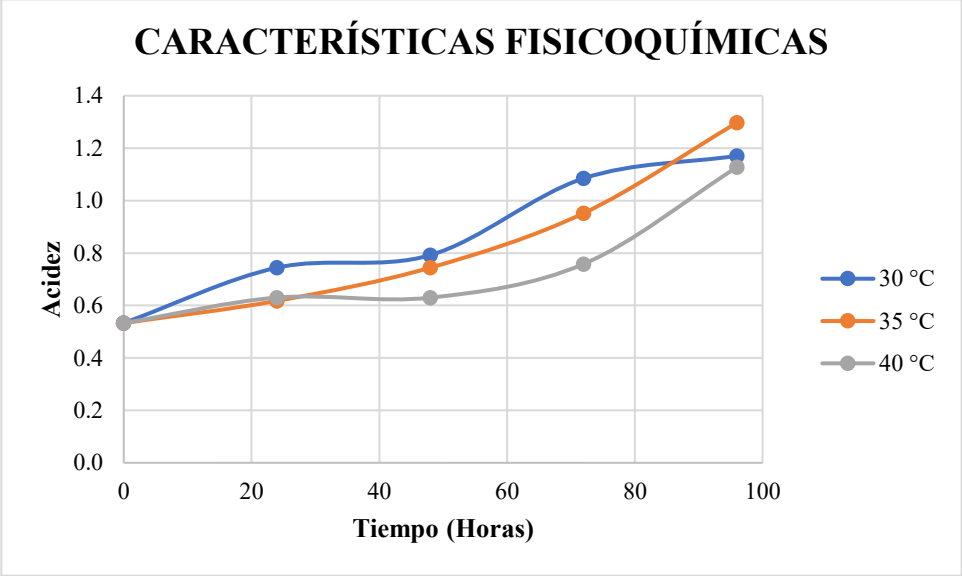
```
from statsmodels.stats.multicomp import pairwise_tukeyhsd

# Prueba de Tukey para Acidez entre temperaturas

tukey_acidez = pairwise_tukeyhsd(endog=data['Acidez'],
groups=data['Temperatura'], alpha=0.05)

# Gráfica de los resultados de Tukey

plt.figure(figsize=(8, 5))

tukey_acidez.plot_simultaneous(comparison_name='30°C', ylabel='Temperatura')

plt.title('Comparación Múltiple de Tukey - Acidez')

plt.grid(True)
```

```
# Guardar gráfico
tukey_plot_path = "/mnt/data/tukey_acidez_temperatura.jpg"
plt.savefig(tukey_plot_path, format='jpg', dpi=300)
tukey_acidez.summary(), tukey_plot_path
```

Anexo 29. Promedio del pH de la hamburguesa a base de carne de cuy *(Cavia porcellus)*



Anexo 30. Promedio de la acidez de la hamburguesa a base de carne de cuy *(Cavia porcellus)*



Anexo 31. QR para visualizar el consentimiento informado de los participantes que colaboraron con la investigación

