



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA
QUÍMICA

**“EFECTO COMBINADO DEL OZONO GASEOSO Y EL SECADO POR AIRE
CALIENTE ASISTIDO POR INFRARROJO EN PROPIEDADES DE
CALIDAD DE CARNE DE JIBIA (*DOSIDICUS GIGAS*)”**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS EN LOS
ALIMENTOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS

MATÍAS ANTONIO CHAMORRO CATALÁN

PROFESORES GUÍA:

DIRECTOR: LUIS PUENTE DÍAZ

CODIRECTOR: CIELO CHAR AUBRY

SANTIAGO DE CHILE 2023

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

INFORME DE APROBACIÓN DE AFE A TESIS DE MAGÍSTER.

Se informa a la Dirección de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas que la AFE a Tesis de Magíster y Memoria de Título presentada por el candidato

Matías Antonio Chamorro Catalán

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluadora de AFE a Tesis como requisito para optar al grado de Magíster en Ciencias de los Alimentos área de especialización (si corresponde), en el examen público rendido el día

Director de Tesis:

Luis Puente Díaz

Co-director de Tesis:

Cielo Char Aubry

Comisión Evaluadora de Tesis:

Roberto Lemus Mondaca

Felipe Oyarzún Ampuero

Alicia Rodríguez Melis

RESUMEN

“EFECTO COMBINADO DEL OZONO GASEOSO Y EL SECADO POR AIRE CALIENTE ASISTIDO POR INFRARROJO EN PROPIEDADES DE CALIDAD DE CARNE DE JIBIA (*DOSIDICUS GIGAS*)”

El ozono gaseoso está tomando importancia en la industria de los alimentos, la cual es consecuencia de la eficacia antimicrobiana que este posee. Este gas está catalogado por la Administración de Alimentos y Medicamentos de USA (FDA) como una sustancia Generalmente Reconocida como Segura (GRAS), esto significa que puede utilizarse como aditivo antimicrobiano y además puede tener contacto directo con los alimentos. Utilizar ozono como única medida antimicrobiana no es suficiente, es por esto por lo que existe la necesidad de investigar el uso de ozono en combinación con otros tratamientos tales como la deshidratación mediante aire caliente.

La carne del calamar gigante (jibia) es rica en proteínas y su composición aminoacídica contiene todos los aminoácidos esenciales. Además, posee un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, donde estos juegan un rol esencial en la dieta. Por lo que utilizar esta proteína es relevante por los beneficios que entrega a los consumidores.

Este estudio tuvo como finalidad demostrar si el tratamiento previo de ozono gaseoso en combinación con secado por aire caliente asistido con infrarrojo mejora los parámetros microbiológicos de la jibia deshidratada y determinar el efecto del uso de esta tecnología (ozono) sobre parámetros de calidad tales como cinética de secado, color, microscopía, textura y rehidratación. Las muestras de jibia se pretrataron con ozono gaseoso a una concentración de 0,6 ppm en tiempos de 0, 30 y 60 minutos para luego ser deshidratadas a 60, 70 y 80 °C asistidos por luz infrarroja de una potencia de 200 Watts.

La difusividad de las muestras varió entre 2,08 y 5,08 10^{-10} m²s⁻¹ y los datos experimentales ajustaron de buena manera al modelo de Hii según las pruebas estadísticas y no existieron diferencias estadísticas de humedad a los 330 minutos de secado para todos los tratamientos. En cuanto a los parámetros de calidad, la diferencia de color se vio afectada al aumentar el tiempo de exposición de ozono solo para las muestras tratadas a 60 °C. Microscópicamente, se observó que un aumento en el tiempo de ozonificación es correlativo con el daño en el tejido al deshidratar a 60 y 70 °C, para 80 °C el ozono no influyó en el deterioro estructural, más bien solo influyó la alta temperatura.

Respecto a textura, la dureza fluctuó entre 1,109 y 22,540 kg-f, y se demostró que un tiempo de prolongado de ozonificación junto con una temperatura elevada de secado aumentan de manera significativa la dureza (80 °C y 60 minutos de ozono gaseoso). La rehidratación disminuyó de forma significativa al aumentar el tiempo de pretratamiento; sin embargo, no existieron diferencias significativas entre 30 y 60 minutos de ozonificación. Los porcentajes de rehidratación variaron de 69,66 a 21,20 % y se ajustaron de buena manera tanto al modelo de Weibull como Peleg

Finalmente, en relación con el recuento microbiológico, todos los tratamientos tuvieron recuentos significativamente menores en comparación con muestras frescas tanto para aerobios mesófilos y enterobacterias como para *Staphylococcus aureus*. Dentro de las muestras deshidratadas el tratamiento con 60 minutos de ozonificación y secado a 80 °C fue el que tuvo una mayor disminución en el conteo respecto a la muestra fresca, con una reducción de 2,67, 1,60 y 3,01 unidades logarítmicas para aerobios mesófilos, enterobacterias y *Staphylococcus aureus* respectivamente.

En particular, la muestra deshidratada a 70 °C con 30 minutos de ozonificación de pretratamiento dio como resultado muestras secas con parámetros microbiológicos aceptables junto con una menor influencia negativa en parámetros de calidad.

ABSTRACT

“COMBINED EFFECT OF GASEOUS OZONE AND INFRARED-ASSISTED HOT AIR DRYING ON JUMBO SQUID (*DOSIDICUS GIGAS*) MEAT QUALITY PROPERTIES”

Ozone gas is gaining importance in the food industry because of its antimicrobial efficacy. This gas is classified by the U.S. Food and Drug Administration (FDA) as a Generally Recognized as Safe (GRAS) substance, which means that it can be used as an antimicrobial additive and can also have direct contact with food. Using ozone as the only antimicrobial measure is not sufficient, which is why there is a need to investigate the use of ozone in combination with other treatments such as hot air dehydration.

Giant squid (cuttlefish) meat is rich in protein and its amino acid composition contains all the essential amino acids. In addition, it has a high content of polyunsaturated fatty acids, which play an essential role in the diet. Therefore, the use of this protein is relevant for the benefits it provides to consumers.

The purpose of this study was to demonstrate whether gaseous ozone pretreatment in combination with infrared-assisted hot air drying improves the microbiological parameters of dehydrated cuttlefish and to determine the effect of the use of this technology (ozone) on quality parameters such as drying kinetics, color, microscopy, texture and rehydration. Cuttlefish samples were pretreated with gaseous ozone at a concentration of 0.6 ppm at times of 0, 30 and 60 minutes and then dehydrated at 60, 70 and 80 °C assisted by infrared light with a power of 200 Watts.

The diffusivity of the samples ranged from 2,08 to 5,08 10^{-10} m²s⁻¹ and the experimental data fitted the Hii model well according to statistical tests and there were no statistical differences in moisture at 330 minutes of drying for all treatments. As for the quality parameters, the color difference was affected by increasing the ozone exposure time only for samples treated at 60 °C. Microscopically, it was observed that an increase in ozonation time is correlated with tissue damage when dehydrating at 60 and 70 °C, for 80 °C ozone did not influence structural deterioration, rather only the high temperature did.

Regarding texture, the hardness fluctuated between 1,109 and 22,540 kg-f, and it was demonstrated that a prolonged ozonation time together with a high drying temperature significantly increased the hardness (80 °C and 60 minutes of gaseous ozone). Rehydration decreased significantly with increasing pretreatment time; however, there was no significant difference between 30 and 60 minutes of ozonation. Rehydration percentages ranged from 69.66 to 21.20 % and were in good agreement with both the Weibull and Peleg models.

Finally, in relation to microbiological counts, all treatments had significantly lower counts compared to fresh samples for both mesophilic aerobes and enterobacteria and *Staphylococcus aureus*. Among the dehydrated samples, the treatment with 60 minutes of ozonation and drying at 80 °C had the greatest decrease in counts compared to the fresh sample, with a reduction of 2,67, 1,60 and 3,01 log units for mesophilic aerobes, enterobacteria and *Staphylococcus aureus*, respectively.

In particular, the sample dehydrated at 70 °C with 30 minutes of pretreatment ozonation resulted in dry samples with acceptable microbiological parameters along with a lower negative influence on quality parameters.

DEDICATORIA

A mi familia pasada, representando los que no están físicamente...Lina, gracias por tu complicidad, mi infancia, adolescencia y por aprovechar hasta la última gota de ambos. Pipi, gracias por el cariño, cuidados y favoritismo sesgado.

A mi familia presente, Roxana, Johnny, María, Susana, Dionisio, Ernesto abuelo, Ernesto hijo y Vicente...gracias por darme lo que no tuvieron en su pasado, desde algo importante y complejo como el afecto, compañía y amor hasta algo simple como lo material. Gracias por darme su apoyo incondicional, sus enseñanzas y facilidades, gracias por hacer este proceso lo más liviano posible para mí.

A mi familia futura no tan lejano...Constanza, Bucky, Milo y los que vengan. Gracias por enseñarme lo que es la lealtad, comprensión, amor, fidelidad, crecimiento personal, paciencia, constancia y sacrificio hacia una persona que no es de tu sangre. Los vuelvo a elegir todos los días.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad por la oportunidad.

A los profesores guías por su apadrinamiento, de la comisión por su crítica totalmente constructiva y a los profesores del plan común y carrera por entregar conocimiento y herramientas para poder desarrollarme académicamente.

A los funcionarios por su ayuda, buenos ratos, compañía y risas.

A mis amigos, por acompañarme y ser un apoyo mutuo en los momentos de alegría, dificultosos y de estudio en la Universidad y la vida.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	II
ABSTRACT	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
TABLA DE CONTENIDOS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 FUNDAMENTOS DEL OZONO	1
1.2 GENERACIÓN Y PRODUCCIÓN DE OZONO	3
1.3 EFECTO DEL OZONO EN LA TEXTURA DE LOS ALIMENTOS	7
1.4 EL OZONO Y SU INFLUENCIA EN LA OXIDACIÓN DE LÍPIDOS	10
1.5 APLICACIÓN DE OZONO GASEOSO EN ALIMENTOS.....	11
1.6 REACCIÓN ANTIMICROBIANA	12
1.7 FUNDAMENTOS DEL SECADO.....	17
1.8 SECADORES POR AIRE CALIENTE	18
1.9 SECADO POR RADIACIÓN INFRARROJA.....	19
1.10 SECADO POR AIRE CALIENTE ASISTIDO POR INFRARROJOS	23
1.11 FACTORES QUE AFECTAN AL SECADO	24
1.12 CINÉTICA DE SECADO	25
1.13 RAZÓN DE HUMEDAD (MR)	26
1.14 ESTIMACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA (DEFF) Y ENERGÍA DE ACTIVACIÓN (EA).....	28
1.15 MODELAMIENTO MATEMÁTICO	31
1.16 MODELOS TEÓRICOS	32
1.17 MODELOS SEMITEÓRICOS.....	32
1.18 MODELOS EMPÍRICOS.....	32
1.19 MODELO DE NEWTON (LEWIS)	34
1.20 MODELO DE PAGE.....	35
1.21 HENDERSON-PABIS.....	35
1.22 MODELO LOGARÍTMICO (ASINTÓTICO).....	36
1.23 MODELO DE MIDILLI MODIFICADO	36
1.24 MODELO DE HII	36
1.25 ANÁLISIS DE DATOS Y ELECCIÓN DEL MODELO	37
1.26 JIBIA (<i>DOSIDICUS GIGAS</i>).....	39

2	HIPÓTESIS.....	44
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	44
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	44
3	MATERIALES Y MÉTODOS	45
3.1	RESUMEN ILUSTRATIVO	45
3.2	PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS	46
3.3	EXPERIMENTO DE SECADO.....	47
3.4	SECADOR POR AIRE CONVECTIVO ASISTIDO POR INFRARROJO	47
3.5	HUMEDAD INICIAL	48
3.6	CURVAS DE SECADO	48
3.7	CÁLCULO DE LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA.....	49
3.8	CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN	49
3.9	MODELAMIENTO DE LAS CURVAS DE SECADO	49
3.10	TRATAMIENTO DE OZONO	50
3.11	ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD.....	51
3.12	ANÁLISIS DE COLOR	51
3.13	ANÁLISIS DE MICROSCOPIA	52
3.14	ANÁLISIS DE TEXTURA	54
3.15	REHIDRATACIÓN.....	55
3.16	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.....	57
3.17	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	58
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
4.1	ANÁLISIS DE CINÉTICA DE SECADO	59
4.2	ANÁLISIS DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA (D_{EFF})	66
4.3	ANÁLISIS DE ENERGÍA DE ACTIVACIÓN	68
4.4	MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LAS CURVAS DE SECADO	71
4.5	ANÁLISIS DE COLOR	78
4.6	ANÁLISIS DE MICROSCOPIA	82
4.7	ANÁLISIS DE TEXTURA	84
4.8	ANÁLISIS DE REHIDRATACIÓN.....	86
4.9	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.....	91
4.10	ELECCIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO	99
5	CONCLUSIONES	101
6	BIBLIOGRAFÍA.....	104
7	ANEXOS	116

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE DIFERENTES MÉTODOS DE GENERACIÓN DE OZONO (MOUELE ET AL., 2021; ZAMBELLI, 2023).....	7
TABLA 2: EXPERIMENTOS DE APLICACIÓN DE OZONO A ALIMENTOS Y LA INACTIVACIÓN DE DIFERENTES BACTERIAS.	16
TABLA 3: EXPERIMENTOS DE PROCESOS DE SECADO POR AIRE CALIENTE ASISTIDO POR IR.	24
TABLA 3: MODELOS SEMITEÓRICOS Y EMPÍRICOS MÁS UTILIZADOS. DONDE SÍ AL NOMBRE DEL MODELO LO ACOMPAÑA UN *, CORRESPONDE A MODELO EMPÍRICO.	33
TABLA 4: ANÁLISIS PROXIMAL DE LA JIBIA (SALCEDO PALOMINO, 2015).....	41
TABLA 5: ANÁLISIS AMINOACÍDICO DE LA JIBIA (SALCEDO PALOMINO, 2015).....	41
TABLA 6: ANÁLISIS DE ÁCIDOS GRASOS DE LA JIBIA (SALCEDO PALOMINO, 2015). ..	41
TABLA 7: COMPOSICIÓN FÍSICA DE LA JIBIA (CRUZ, 2022).....	42
TABLA 8: RENDIMIENTOS (CRUZ, 2022).	42
TABLA 9: COMBINACIÓN DE EXPERIMENTOS DE SECADO REALIZADOS.	47
TABLA 10: MODELOS UTILIZADOS PARA REALIZAR EL MODELAMIENTO MATEMÁTICO.....	50
TABLA 11: RAZÓN DE HUMEDAD A 430 MINUTOS DE TRATAMIENTO.	62
TABLA 12: VALORES DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA PARA TODOS LOS TRATAMIENTOS.	66
TABLA 13: VALORES DE ENERGÍA DE ACTIVACIÓN PARA LOS TRATAMIENTOS.	68
TABLA 14: VALORES DE MODELAMIENTO CINÉTICO DE DESHIDRATACIÓN COMPLETO.....	71
TABLA 15: VALORES DE PARÁMETRO L* (LUMINOSIDAD).....	78
TABLA 16: VALORES DE PARÁMETRO A* (VERDE A ROJO).....	78
TABLA 17: VALORES DE PARÁMETRO B* (AZUL A AMARILLO).....	78
TABLA 18: VALORES DE PARÁMETRO ΔE (DIFERENCIA DE COLOR).....	78
TABLA 19: REPRESENTACIÓN VISUAL DE COLOR LAB.	79
TABLA 20: NÚMERO DE PÍXELES EN ESCALA DE GRISES (VALOR 150 A 256) EN 0,1 X 0,1 MM DE MUESTRA.	82
TABLA 21: COMPARACIÓN MICROSCÓPICA DE LAS MUESTRAS.....	84
TABLA 22: DUREZA DE LAS MUESTRAS MEDIDA EN KILOGRAMOS-FUERZA.....	84
TABLA 23: PORCENTAJE DE REHIDRATACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	86
TABLA 24: VALORES DE MODELAMIENTO DE REHIDRATACIÓN COMPLETO.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: MECANISMO DEL FUNCIONAMIENTO DE GENERACIÓN DE OZONO POR DESCARGA CORONA, ADAPTACIÓN (POPA ET AL., 2021).	4	
FIGURA 2: FORMACIÓN DE OZONO MEDIANTE DESCARGA CORONA.....	4	
FIGURA 3: ILUSTRACIÓN DE GENERACIÓN DE OZONO MEDIANTE LÁMPARAS ULTRAVIOLETA Y SU MECANISMO.	5	
FIGURA 4: DIFERENTES CONFIGURACIONES DE UNA DESCARGA DBD, ADAPTACIÓN (MOUELE ET AL., 2021)).....	6	
FIGURA 5: OZONIZACIÓN DE UN ÁCIDO GRASO EN PRESENCIA Y AUSENCIA DE AGUA, ADAPTACIÓN (CALDERÓN-GUZMÁN ET AL., 2000; PRYOR, 1994)	11	
FIGURA 6: EFECTO DEL OZONO EN AMINOÁCIDOS.....	13	
FIGURA 7: EFECTO DEL OZONO EN BASE NITROGENADA TIMINA.....	14	
FIGURA 8: ACCIÓN DEL OZONO EN CÉLULA MICROBIANA, ADAPTADO DE (SIVARANJANI ET AL., 2021).....	15	
FIGURA 9: MECANISMO DE ACCIÓN DE UN SECADO POR AIRE CALIENTE DE TIPO BATCH, ADAPTADO (KERR, 2019).	19	
FIGURA 10: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO, ADAPTADO (DELFIYA ET AL., 2022)..	20	
FIGURA 11: INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN INFRARROJA SOBRE UN CUERPO, ADAPTADO (DELFIYA ET AL., 2022).	21	
FIGURA 12: TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN SECADOR DE AIRE CALIENTE ASISTIDO POR INFRARROJO.	23	
FIGURA 13: CURVA DE SECADO TÍPICA DE MR, VS Y T EN RAZÓN AL TIEMPO, ADAPTADO DE (ONWUDE ET AL., 2016).....	27	
FIGURA 14: RELACIÓN TALLA PESO (INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ & INSTITUTO TECNOLÓGICO PESQUERO DEL PERÚ, 1996).	39	
FIGURA 15: ZONA GEOGRÁFICA DE LA JIBIA (SUBPESCA, 2017).....	39	
FIGURA 16: JIBIA (<i>DOSIDICUS GIGAS</i>) (SUBPESCA, 2018).....	40	
FIGURA 17: TOTAL DE DESEMBARQUES ARTESANALES E INDUSTRIALES ENTRE 2000 Y 2017 (SUBPESCA, 2018).....	43	
FIGURA 18: LOCALIZACIÓN DE LOS PRINCIPALES DESEMBARQUES DE JIBIA (SUBPESCA, 2017).	43	
FIGURA 19: DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE LA METODOLOGÍA RESUMIDA.....	45	
FIGURA 20: DIAGRAMA DE FLUJO	FIGURA 21: MATERIA PRIMA UTILIZADA	46
FIGURA 22: ESQUEMA SIMPLIFICADO DE SECADOR DE AIRE CONVECTIVO ASISTIDO POR IR.		48
FIGURA 23: IMAGEN REFERENCIAL DEL GENERADOR DE OZONO UTILIZADO.		51
FIGURA 24: GRAFICA DE COLOR DE ESPACIO CIELAB.		52
FIGURA 25: MICROSCOPIO BINOCULAR (DM500, LEICA, ALEMANIA) UTILIZADO.		53
FIGURA 26: TEXTUROMETRO TAXT PLUS (STABLE MICRO SYSTEMS LTD, ANAME SL, INGLATERRA).		54
FIGURA 27: PROCESO DE REHIDRATACIÓN.		57

FIGURA 28: CURVAS DE SECADO DE LOS PROCESOS A 60 °C.....	59
FIGURA 29: CURVAS DE SECADO DE LOS PROCESOS A 70 °C.....	59
FIGURA 30: CURVAS DE SECADO DE LOS PROCESOS A 80 °C.....	60
FIGURA 31: CURVAS DE SECADO SIN TRATAMIENTO DE OZONO.	60
FIGURA 32: CURVAS DE SECADO CON 30 MINUTOS DE TRATAMIENTO DE OZONO. ...	61
FIGURA 33: CURVAS DE SECADO CON 60 MINUTOS DE TRATAMIENTO DE OZONO. ...	61
FIGURA 34: CURVAS DE SECADO DE TODOS LOS PROCESOS DE SECADO DE JIBIA. .	62
FIGURA 35: COMPARATIVA DE CURVAS MR EXPERIMENTAL VS MR CALCULADA (HII) A 60 °C.....	75
FIGURA 36: COMPARATIVA DE CURVAS MR EXPERIMENTAL VS MR CALCULADA (HII) A 60 °C / 30' OZONO.....	75
FIGURA 37: COMPARATIVA DE CURVAS MR EXPERIMENTAL VS MR CALCULADA (HII) A 60 °C / 60' OZONO.....	75
FIGURA 38: COMPARATIVA DE CURVAS MR EXPERIMENTAL VS MR CALCULADA (HII) A 70 °C.....	76
FIGURA 39: COMPARATIVA DE CURVAS MR EXPERIMENTAL VS MR CALCULADA (HII) A 70 °C / 30' OZONO.....	76
FIGURA 40: COMPARATIVA DE CURVAS MR EXPERIMENTAL VS MR CALCULADA (HII) A 70 °C / 60' OZONO.....	76
FIGURA 41: COMPARATIVA DE CURVAS MR EXPERIMENTAL VS MR CALCULADA (HII) A 80 °C.....	77
FIGURA 42: COMPARATIVA DE CURVAS MR EXPERIMENTAL VS MR CALCULADA (HII) A 80 °C / 30' OZONO.....	77
FIGURA 43: COMPARATIVA DE CURVAS MR EXPERIMENTAL VS MR CALCULADA (HII) A 80 °C / 60' OZONO.....	77
FIGURA 44: FOTOS MUESTRAS 70 °C / 0, 30 Y 60' O3 / 200 W IR.....	79
FIGURA 45: CURVAS DE REHIDRATACIÓN DE TODOS LOS TRATAMIENTOS EN LA REHIDRATACIÓN DE JIBIA.....	86
FIGURA 46: RECUENTO DE AEROBIOS MESÓFILOS (LOG UFC/G)	91
FIGURA 47: RECUENTO DE ENTEROBACTERIAS (LOG UFC/G)	91
FIGURA 48: RECUENTO DE <i>STAPHYLOCOCCUS AUREUS</i> (LOG UFC/G)	91

1 INTRODUCCIÓN

1.1 FUNDAMENTOS DEL OZONO

El ozono está tomando importancia en la industria de los alimentos, la cual es consecuencia de la eficacia antimicrobiana que este posee, ya sea con su aplicación de forma gaseosa o acuosa. Este gas está catalogado por la FDA como una sustancia GRAS, la cual proviene de sus siglas en inglés “Generally Recognized as Safe”, esto significa que puede utilizarse como aditivo antimicrobiano y además puede tener contacto directo con los alimentos. Su uso en la elaboración de alimentos ha sido aprobado en países como Estados Unidos, Japón, Francia y Canadá, entre otros (İbanoğlu, 2023; Oner & Demirci, 2016; Tiwari et al., 2010)

Respecto a Chile el Programa General de Técnicas y Métodos de Desinfección de Afluentes y Efluentes, sus Métodos de Control y Tratamientos de Residuos Sólidos Orgánicos (PSG AE) menciona la utilización de sistemas de desinfección como Luz Ultravioleta (UV), Ozono (O₃), Hipoclorito de sodio (Cloro libre) y Dióxido de Cloro, junto con sus dosis respectivas, entregando diferentes criterios para controlar la introducción y/o diseminación de enfermedades de alto riesgo (SERNAPESCA, 2014). Este programa el cual se basa en la resolución 4866 exenta, es el único documento local el cual hace mención a la regulación y utilización de ozono a los afluentes de pisciculturas que incuben ovas y afluentes de wellboats, así como a efluentes de pisciculturas, de centros de experimentación y centros de acopio en tierra y de plantas procesadoras, reductoras y centros de faenamiento que realicen transformación, desangrado y eviscerado de salmones (Ministerio de Economía-Fomento y Turismo, 2015).

Por otro lado, no se encontró información sobre la regulación en su uso en contacto directo en alimentos; sin embargo, en USDA CFR título 173.368 indica que el ozono se puede utilizar de forma segura en el tratamiento, almacenamiento y procesamiento de alimentos (CFR, 2001).

De esta forma, es considerado como seguro en la aplicación en diversos tipos de productos alimenticios. No se han determinado efectos adversos para la salud humana en alimentos por la reacción del ozono con compuestos orgánicos como: aldehídos, cetonas o ácidos carboxílicos, los cuales están presentes en alimentos (Pascual et al., 2007).

El ozono es producto del reordenamiento a nivel atómico de las moléculas de oxígeno las cuales son expuestas a descargas de tipo eléctricas con un alto nivel de voltaje. Consecuencia de esto, se inicia el proceso de ionización, donde los átomos de oxígeno se dividen y reordenan para dar origen al ozono (Tiwari et al., 2010).

Esta molécula se compone de un enlace doble y otro simple, dando la posibilidad de poseer dos resonancias las cuales son interconvertibles. Estas características hacen del ozono capaz de reaccionar como un agente dipolo en formas nucleofílicas o electrofílicas, en otras palabras, puede actuar como un agente oxidante fuerte con capacidad biocida modificando el ADN y ARN de virus y bacterias entre otros (Marriott et al., 2006).

Esta capacidad de reacción hacia compuestos nucleofílicos o electrofílicos es consecuencia al cambio electrónico entre las tres moléculas de oxígeno la cual está formado, garantizando de esta manera una mayor movilidad molecular (Mansas et al., 2020). Los átomos de oxígeno en las zonas terminales poseen seis electrones, esto quiere decir que la molécula tiene facilidad para recibir electrones oxidando de esta manera a los agentes donantes teniendo un potencial de oxidación promedio de 2,07 V (B. Liu et al., 2022).

Debido a su inestabilidad electrónica, este tiene una vida media de 22 minutos, pasado este periodo de tiempo la molécula vuelve a su estado basal o más estable energéticamente (estado diatómico), mediante la liberación de un átomo de oxígeno (J. G. Kim et al., 2003). Esto lo convierte en un excelente agente desinfectante para la industria alimentaria debido a la rapidez en que vuelve a su estado inicial como

oxígeno molecular (Prabha et al., 2015). De esta forma el ozono al ser un gas altamente reactivo no se puede almacenar, por lo que su utilización se verá limitada al sitio donde será generado (Zhu et al., 2020).

1.2 GENERACIÓN Y PRODUCCIÓN DE OZONO

Los métodos más utilizados para la generación de ozono son la descarga corona, la absorción de luz UV y la descarga de barrera dieléctrica (Yan et al., 2020). Sin embargo, el método con un mayor uso a nivel comercial es la tecnología de descarga corona (Zambelli, 2023).

El método antes mencionado consiste en una descarga de alto voltaje en una fase gaseosa que contiene oxígeno diatómico permitiendo la formación de radicales libres proveniente del oxígeno para así a través de estos formar ozono (Zambelli, 2023). Para complementar otros métodos químicos menos tradicionales, existe el térmico quimio-nuclear y el electrolítico entre otros (J. G. Kim et al., 1999).

Retomando el método mediante el efecto corona, este se puede apreciar en la figura 1 donde existen dos electrodos, en los cuales uno corresponde al de alta tensión y el restante a uno de baja tensión. Estos se encuentran separados por un medio dieléctrico donde en la mayoría de los casos es de cerámica dando así un espacio acotado para la descarga (Tiwari et al., 2010).

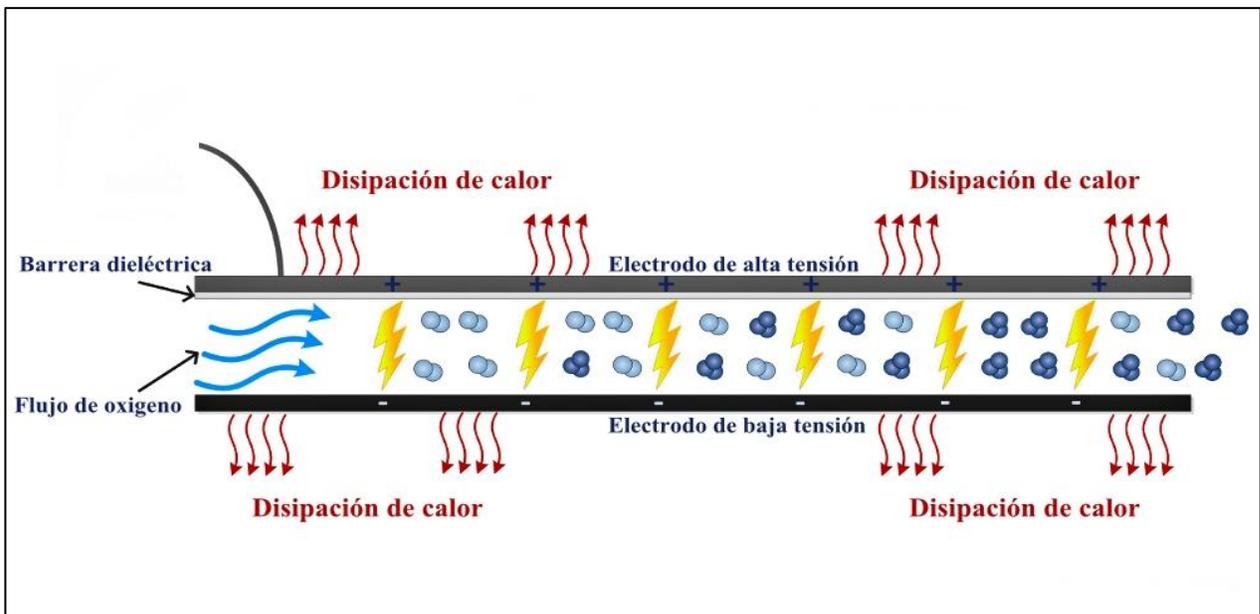


Figura 1: Mecanismo del funcionamiento de generación de ozono por descarga corona, adaptación (Popa et al., 2021).

La descarga corona inicia una vez que el campo eléctrico es suficiente para ionizar las especies gaseosa (en este caso aire), como se observa la figura 2 una vez ocurrido esto, los electrones obtienen energía cinética para que comience la disociación de la molécula de oxígeno, estos radicales libres colisionarán otras moléculas de oxígeno dando una molécula de ozono a partir de una de oxígeno (Tiwari et al., 2010).

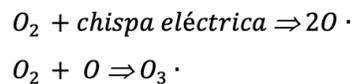


Figura 2: Formación de ozono mediante descarga corona.

Este proceso en general demanda una cantidad no despreciable de electrones, los cuales pueden ser generados por fotoemisión por parte del electrodo de descarga, fotoionización del gas o por bombardeo de la superficie de descarga por iones positivos. A pesar de ello, el método de fotoemisión desde la superficie del electrodo de descarga es que se utiliza con mayor frecuencia por temas de eficiencia (Zambelli, 2023). Esto quiere decir que el proceso de ionización ocurre con mayor rendimiento en las zonas con mayor cercanía al electrodo debido a que en esta región existe una mayor producción de electrones (Chen & Chang, 2003).

Un parámetro de importancia a tomar en cuenta al momento de estudiar este método es el límite de ionización, el cual se especifica como el radio en que la tasa de ionización se equilibra con la tasa de unión de los electrones (Chen & Chang, 2003). Existen diferencias significativas de rendimiento de este proceso si se utiliza aire atmosférico u oxígeno puro como alimentación. Utilizar aire atmosférico tiene rendimientos entre un 1% y 3% mientras que utilizar oxígeno puro se logra hasta un 6% (Zambelli, 2023).

Otro método utilizado en la producción de ozono es mediante luz ultravioleta, donde se utilizan lámparas UV fabricadas de mercurio a baja presión las cuales tienen una longitud de onda entre 180 y 190 nm. El gas de alimentación pasa a través de las lámparas donde es irradiado, trayendo como consecuencia la disociación fotoquímica de la molécula de oxígeno, estas moléculas disociadas se unen a moléculas no disociadas formando el ozono, esto se puede observar en la figura 3. Se puede obtener o producir en concentraciones de magnitudes de 0,03 ppm (O'Donnell et al., 2012).

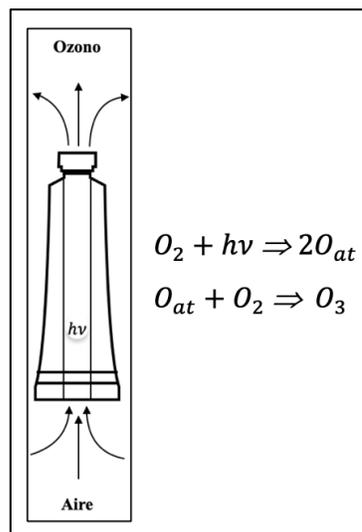


Figura 3: Ilustración de generación de ozono mediante lámparas Ultravioleta y su mecanismo.

Por último, la descarga de barrera dieléctrica es un método ampliamente estudiado para generación de ozono. Son descargas de tipo no térmicas que tienen forma entre dos electrodos metálicos en donde entre ellos aloja un aislante de tipo dieléctrico. Estos aislantes tienen como función generar forzosamente la descarga mediante

voltajes alternos, debido a que la corriente de tipo continua no puede atravesar un material de este tipo (Kogelschatz, 2003; Méndez & De Damas, 2014).

Este material tiene la función de limitar la corriente para así evitar la formación de arcos térmicos, favoreciendo la formación del plasma en el espacio libre que queda entre los electrodos (Gómez-Ramírez et al., 2014). Este tipo de mecanismos tienen una gran diversidad en lo que se refiere a su presión, temperatura de trajo, operación y geometría como se aprecia en la figura 4 (Mouele et al., 2021).

Este tratamiento tiene como objetivo proporcionar especies moleculares como el ozono, peróxido de hidrógeno, oxígeno, iones hidroxilo entre otros (Kogelschatz, 2003). También puede generar otras especies radicales como electrones y fotones UV los cuales se descomponen en forma directa o indirecta. En general esta metodología le da énfasis en la generación de radicales hidroxilos, los cuales no presentan selectividad y una excelente capacidad de oxidación, siendo mayor a la del ozono (Kogelschatz, 2003).

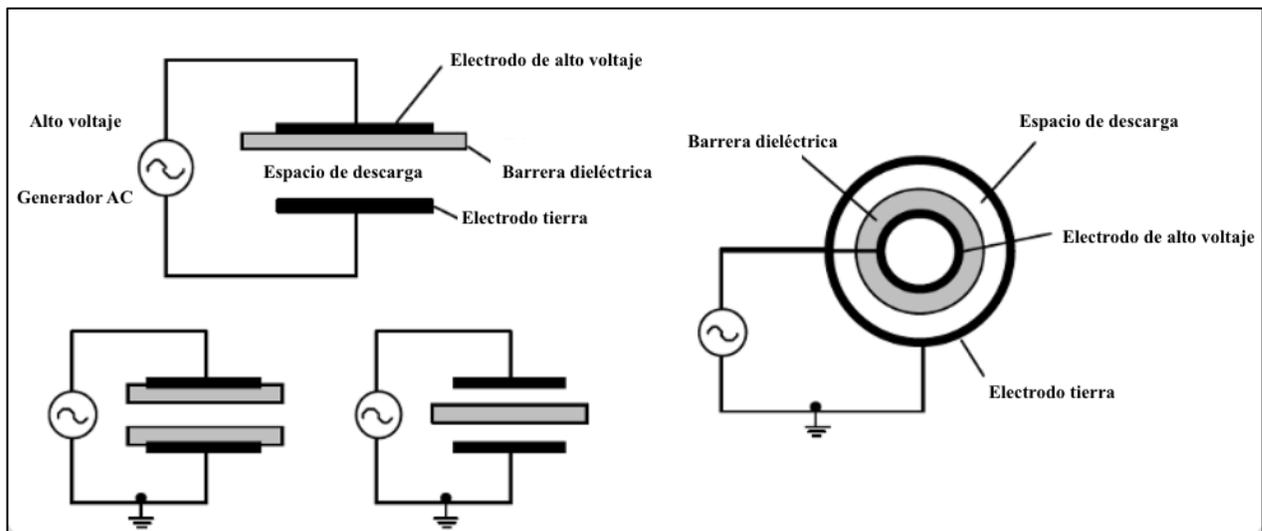


Figura 4: Diferentes configuraciones de una descarga DBD, adaptación (Mouele et al., 2021)).

Una vez visto esto, se presentará a continuación una tabla resumen con las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos revisados.

Tabla 1: Ventajas y desventajas de diferentes métodos de generación de ozono (Mouele et al., 2021; Zambelli, 2023).

Método	Ventajas	Desventajas
Descarga corona	<ul style="list-style-type: none"> • Genera una buena concentración de ozono de hasta 30% (dependiendo de las condiciones). • Bajo costo de mantenimiento. • Costo-beneficio en operaciones al largo plazo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de inversión inicial. • Generación de calor la cual se debe eliminar para incrementar la eficiencia. • Para lograr altos porcentajes de rendimiento, el gas que brinde el oxígeno debe estar limpio y seco.
Fotoquímica (radiación UV)	<ul style="list-style-type: none"> • Alto potencial en la generación de radicales hidroxilos. • Seguridad del operador. • No existe efecto tóxico en el medio ambiente. • Buena eficacia frente a paracitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de inversión inicial y operativo. • Menos eficaz contra virus. • Genera una baja cantidad de ozono.
Descarga de barrera dieléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Potente método para producir ozono. • Proceso escalable y rentable. • Favorable con el medio ambiente. • Proceso no térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta inversión inicial. • Alto costo en catalizadores. • Baja durabilidad y selectividad de catalizadores.

1.3 EFECTO DEL OZONO EN LA TEXTURA DE LOS ALIMENTOS

La textura en los alimentos es una característica del tipo sensorial la cual tiene una importancia en la aceptación del consumidor. La textura está ligada a la estructura y composición del alimento, y el efecto que puede causar un tratamiento a esta se puede observar tanto a nivel microscópico como macroscópico dependiendo del caso (C. Pan et al., 2019). Esta cualidad del tipo cognitiva es donde sentidos como la visión, el tacto y el procesamiento oral interactúan entre sí junto con el alimento, donde atributos reológicos y estructurales del producto convergen (Pandiselvam et al., 2022).

Evaluar la textura de forma instrumental es una alternativa conveniente, de buenos resultados al método de evaluación sensorial. Como se describió anteriormente, la

textura de un alimento se puede medir de forma subjetiva mediante un panel entrenado (organoléptico) o de forma objetiva a través de propiedades las cuales están definidas y medidas por instrumentos. En general las propiedades de textura se analizan por medio de un perfil de textura (TPA), prueba la cual incluye la medición de dureza, elasticidad, cohesión, gomosidad y la masticabilidad (Pandiselvam et al., 2022).

Los productos provenientes del mar tienen una composición lipídica y proteica completa en comparación con otras materias primas animales y/o vegetales terrestres, lo que los hace tener una vida útil corta perdiendo con rapidez su calidad debido a la acción microbiana y enzimas endógenas entre otros (Liao et al., 2018).

Dentro de la investigación de productos frescos, una arista poco estudiada es la física de la seguridad de los alimentos, donde la tasa de penetración de los desinfectantes como el ozono en el área en donde existen microorganismos es importante de estudiar. Por esta razón el desinfectante debe ser capaz de llegar a los sitios más inaccesibles de la matriz alimentaria con el objetivo de poder actuar sobre el microorganismo de interés dentro del rango de tiempo de acción de este (Shynkaryk et al., 2015).

Si bien los desinfectantes líquidos como los a base de ácidos orgánicos, cloro, biocidas y ozono disuelto entre otros, poseen ventajas tales como su capacidad para eliminar suciedad visible en la superficie de los alimentos, estos no tienen eficacia en la penetración sobre el producto para actuar frente a microorganismos profundamente internalizados (Ortega et al., 2011; Singh et al., 2002; Zhao et al., 2009).

El lavado realizado con surfactantes da la posibilidad de que las burbujas producidas se alojen debajo de los alimentos en las canales de lavado y que estas burbujas actúen como barrera o aislante impidiendo de esta forma que el desinfectante actúe frente a los microorganismos (Shynkaryk et al., 2015).

De esta manera, a pesar de las ventajas antes mencionadas, estos no pueden competir frente a la capacidad de penetración de un desinfectante gaseoso, los cuales tienen difusividades de masa de un orden de cuatro magnitudes mayor a los líquidos dependiendo del caso ($\sim 1,76 \times 10^{-9}$ frente a $\sim 1,46 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ a 20°C) y tiempos de vida media de 2 órdenes mayor en magnitud ($\sim 1,2 \times 10^3$ frente a $\sim 2,6 \times 10^5 \text{ s}$ a 20°C), siendo capaces de llegar a sitios inaccesibles en comparación a otros productos (Shynkaryk et al., 2015; Vurma et al., 2009).

Estos valores de difusividad y tiempos de vida media mayores van en correlación con la profundidad de penetración del ozono en estado gaseoso, donde Shynkaryk y sus colaboradores encontraron que este puede llegar hasta profundidades de 100 milímetros en condiciones óptimas (como la inhibición de reacciones químicas de superficie de distintos productos alimenticios), causando que el ozono pudiese llegar a esas profundidades; sin embargo, en los ensayos sin inhibición de reacciones de superficie, se lograron profundidades hasta 50 milímetros, donde la concentración de ozono se había reducido un 80% al llegar a esta profundidad (Shynkaryk et al., 2015). Los experimentos realizados por el autor fueron diseñados para representar condiciones extremas de interiorización, por lo que los investigadores afirman que la reducción del ozono gaseoso puede ocurrir a profundidades menores.

También se encontraron ensayos en huevos frescos, donde el ozono gaseoso pudo penetrar eficazmente la cáscaras y yema de huevo logrando su pasteurización (Rodriguez-Romo et al., 2007). En comparación con el ozono acuoso, el tiempo requerido para la difusión compite con la tasa de auto descomposición, lo cual limita la penetración, en cambio para el ozono gaseoso la capacidad de penetración solo está limitada por la autodescomposición en superficie (Shynkaryk et al., 2015).

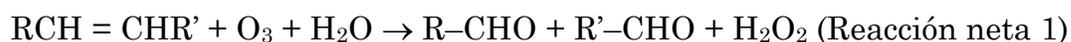
En la última década se han estudiado diversos desinfectantes de tipo gaseoso como el ozono, dióxido de cloro y el plasma frío entre otros; sin embargo, el ozono es quien tiene un potencial de oxidación más alto, el cual corresponde a $-2,07 \text{ V}$ (B. Liu et al., 2022). Pese a su capacidad de inserción, el ozono gaseoso es altamente móvil y

reactivo, lo cual podría resultar en un rápido agotamiento debido a la autodescomposición junto a las reacciones con la materia orgánica e inorgánica. Por lo que, el proceso en general debe ser analizado y especialmente profundizado respecto al tiempo requerido para lograr un buen funcionamiento y degradación (Shynkaryk et al., 2015).

1.4 EL OZONO Y SU INFLUENCIA EN LA OXIDACIÓN DE LÍPIDOS

Abordando en general sobre la incidencia del ozono sobre lípidos de la matriz alimentaria, existen estudios que muestran que el ozono tiene la capacidad de inhibir la oxidación de lípidos (Qian et al., 2022), mientras que otros evidencian una oxidación acelerada de estos, disminuyendo la calidad de los productos alimenticios (Khanashyam et al., 2021; Sivaranjani et al., 2021). Esta discrepancia se puede relacionar a la dosis de ozono utilizada junto con las propiedades intrínsecas de las matrices alimentarias las cuales fueron utilizadas en los experimentos anteriormente mencionados, por lo que es necesario estudiar las condiciones de aplicación de ozono y las características físicas y químicas de los productos alimenticios de forma individual (Qian et al., 2022).

La oxidación de ácidos grasos produce cambios en la naturaleza química y propiedades organolépticas del producto produciendo sabores y aromas no deseados (Segurondo Loza & Cortez Quisbert, 2020). La interacción del ozono con ácidos grasos como por ejemplo los de la membrana celular (fosfolípidos) o glicolípidos, se produce mediante una reacción directa en la insaturación del ácido graso ($R-CH_2 = CH_2$) mediante la siguiente reacción neta y mecanismo (Calderón-guzmán et al., 2000; Pryor, 1994):



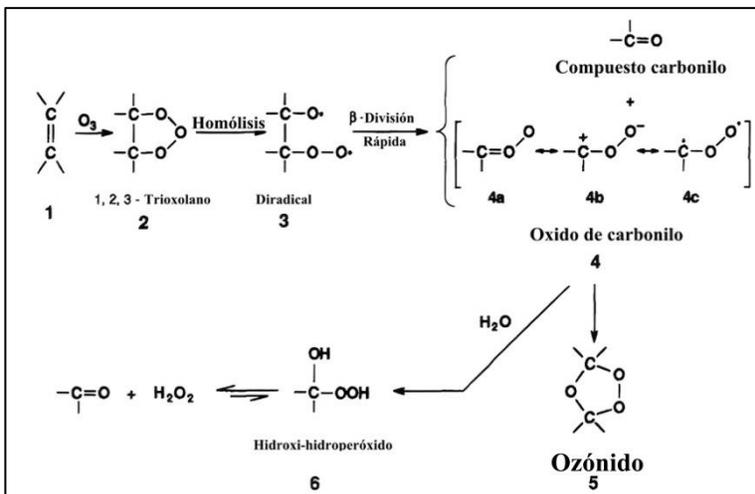


Figura 5: Ozonización de un ácido graso en presencia y ausencia de agua, adaptación (Calderón-guzmán et al., 2000; Pryor, 1994)

Podemos ver en la figura 5 como el ozono se une a la insaturación del ácido graso para formar un trióxido (trioxolano) (2) el a través de una homólisis forma un diradical (3). Este radical se descompone para formar un compuesto carbonilo y un oxido de carbonilo (4a, 4b y 4c) siendo el 4c su forma radical y las restantes como su forma en estado de disolución. En presencia de disolventes lipofílicos el óxido de carbonilo y el compuesto de carbonilo reaccionan para formar un nuevo ozónido (5). Si el solvente es agua, para este caso, se añade al compuesto carbonílico para generar hidroxihidroperóxido (6) el cual se va a hidrolizar para generar peróxido de hidrogeno y un segundo compuesto carbonilo los cuales podrán seguir reaccionado con la cadena lipofílica posteriormente y de esa forma generando la oxidación por hidroperóxido (Calderón-guzmán et al., 2000; Pryor, 1994).

1.5 APLICACIÓN DE OZONO GASEOSO EN ALIMENTOS

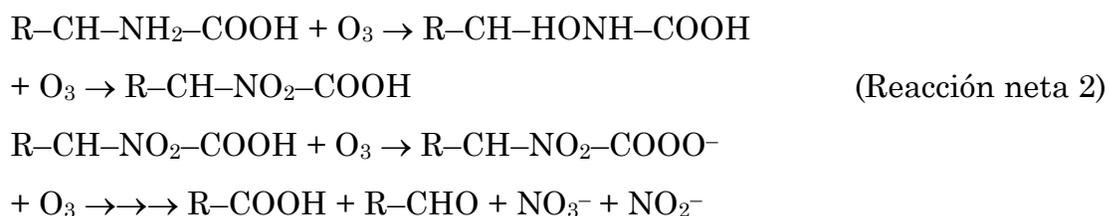
Es importante estudiar cual es el momento adecuado de la aplicación de ozono dentro de la línea de producción en la elaboración de un producto alimenticio. Se ha encontrado evidencia bibliografía sobre los tratamientos antimicrobianos que se pueden aplicar para garantizar la seguridad y calidad alimentaria, como barrera de descarga dieléctrica, radiación ultravioleta y fumigación por ozono entre otros. Y se halló que estos tratamientos tienen una mayor efectividad si se aplican antes del

secado ya que estos, aplicados posterior a la deshidratación, tienen un efecto limitado en la descontaminación (W. Wang et al., 2023). Además, mientras mayor sea la humedad del producto a tratar mediante ozono, generará una mayor penetración y una difusividad más rápida del gas en la matriz alimentaria (İbanoğlu, 2023).

1.6 REACCIÓN ANTIMICROBIANA

Respecto a la inactivación microbiana, el ozono preliminarmente reacciona con las glicoproteínas, glicolípidos o aminoácidos de la membrana bacteriana. Esto produce la muerte celular, debido al cambio en la permeabilidad y lisis de la célula (O'Donnell et al., 2012), esto se puede apreciar de forma ilustrativa en la Figura 8. Este gas también puede actuar frente a grupos sulfhídricos de proteínas, produciendo un desequilibrio en la homeostasis de la actividad celular (Freitas-Silva & Venâncio, 2010).

Los aminoácidos pueden reaccionar con el ozono directamente con el átomo de nitrógeno de la amina primaria o su grupo R correspondiente, dando origen a hidroxilamina, luego a amida y finalmente a aldehídos, ácidos carboxílicos y iones nitritos y nitratos como se puede apreciar en la reacción neta 2 (Adachi, 2001; O'Donnell et al., 2012).



En general sufren de oxidación por ozono aminoácidos como la cisteína y aminoácidos aromáticos como fenilalanina, triptófano y tirosina entre otros (ver figura 6).

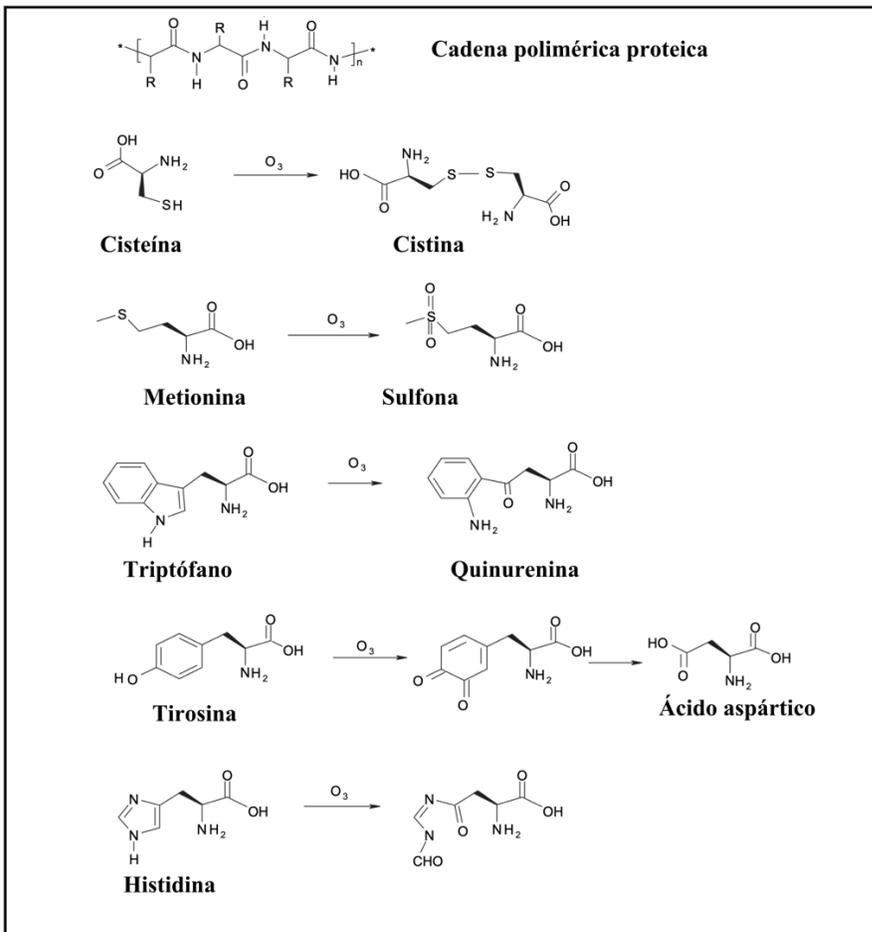


Figura 6: Efecto del ozono en aminoácidos.

Podemos observar en la figura 6 como la metionina es oxidada a una sulfona y de forma similar la cisteína se convierte en cistina. El triptófano por hidrólisis se degrada a quinurenina, la tirosina es oxidada a dihidroxifenilalanina y luego a una ortoquinona y por oxidación adicional el anillo cambia a ácido aspártico, el cambio en la estructura y generación de nuevos productos, produce la pérdida de la funcionalidad proteica (Cataldo, 2006b).

Además de las reacciones antes vistas, se ha encontrado evidencia que el ozono puede afectar la rotación óptica, estructura secundaria y terciaria. Los cambios en la rotación óptica son fenómenos los cuales están asociados a la desnaturalización de las proteínas como resultado de la ozonólisis de unidades monoméricas específicas como lo son los residuos de los aminoácidos aromáticos. La oxidación provoca cambios en la estructura supramolecular (terciaria y cuaternaria) impidiendo su plegamiento y en

consecuencia de esto su actividad biológica (Adachi, 2001; Cataldo, 2006b; O'Donnell et al., 2012)

Se ha encontrado información que el ozono afecta el material genético de la célula, en particular los nucleótidos, donde las bases pirimidina y purina se ven alteradas (L. Z. Deng et al., 2020).

El ozono es un agente fuertemente electrofílico, donde actuará, por ejemplo, en el carbono de la posición 5 de la timina (ver figura 7) formándose un ion dipolar (2) el cual cerrará su anillo para formar el ozónido correspondiente. Este corresponde a un mecanismo similar al mostrado en la figura 5. Este cambio en la base nitrogenada produce una ruptura en la molécula de ADN sumado a la generación de hidroperóxidos los cuales podrán reaccionar en otras zonas, dañando en el material genético de la célula y su disposición espacial (Cataldo, 2006a; Flyunt et al., 2002; Theruvathu et al., 2001)

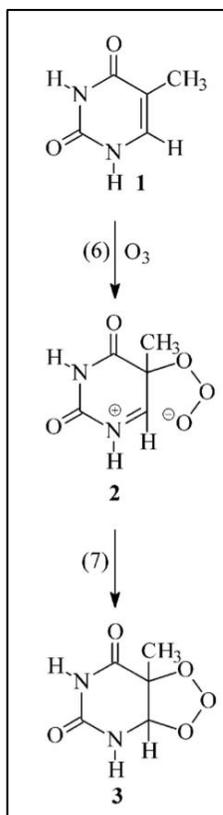


Figura 7: Efecto del ozono en base nitrogenada timina.

Diferentes autores complementan argumentando que la actividad o efectividad del ozono va a depender de la fase de este, ya sea acuosa o gaseosa, el tipo o cepa de microorganismo, el estado celular, pH de la matriz, temperatura, humedad y nivel de crecimiento de los microorganismos (El-Desouky et al., 2012; Sivaranjani et al., 2021).

La inactivación hacia microorganismos del ozono se puede explicar mediante dos mecanismos. El primero, el cual principalmente se centra en la oxidación de grupos sulfhidrilos, aminoácidos, proteínas y enzimas (ver figuras 6-7) y el segundo esta caracterizado por la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados (ver figura 5) (Afsah-Hejri et al., 2020; Brodowska et al., 2017; O'Donnell et al., 2012; Pandiselvam et al., 2017) . Un resumen general está ilustrado en la Figura 8.

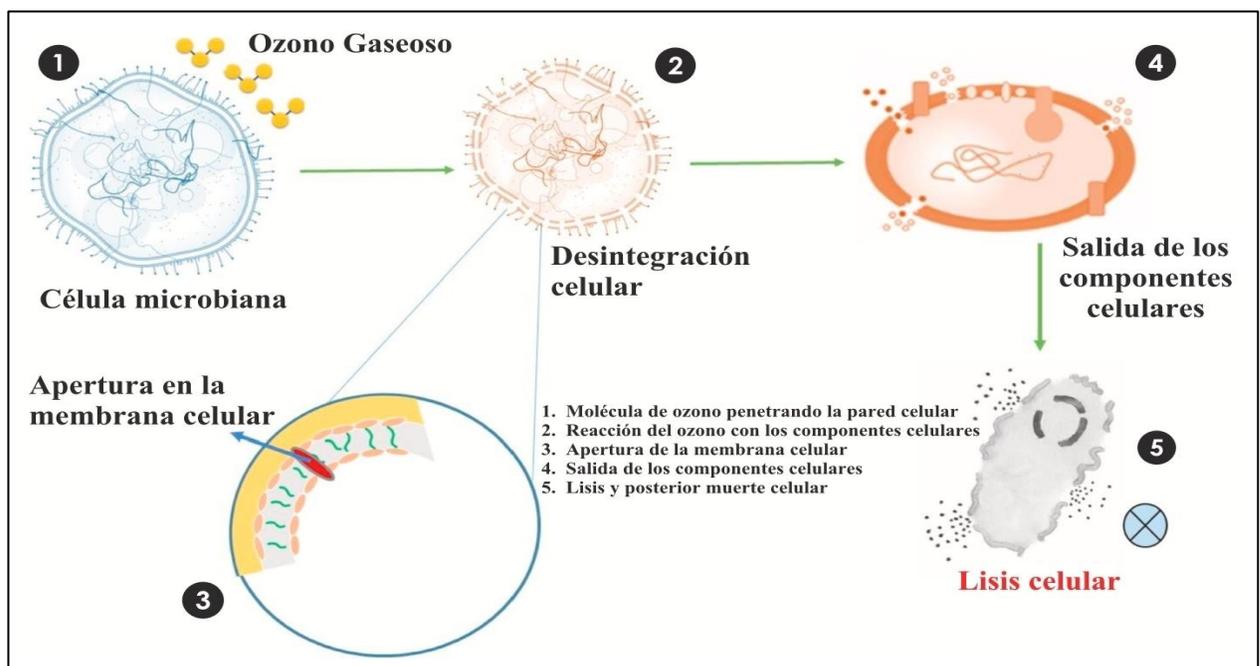


Figura 8: Acción del ozono en célula microbiana, adaptado de (Sivaranjani et al., 2021)

El ozono tiene una buena efectividad frente a esporas, células bacterianas, parásitos, virus y hongos, esto se puede apreciar con algunos ejemplos de publicaciones en la tabla 2; sin embargo, la estructura de la superficie de los alimentos tiene una influencia sobre los microorganismos debido a que estos pueden quedar suspendidos o incrustados físicamente en la superficie, de ahí viene la importancia de la accesibilidad que tenga el ozono sobre el alimento.

Se puede observar en la tabla 2 algunos estudios sobre la aplicación de ozono (gaseoso o acuoso) los cuales resultaron satisfactorios respecto a la eliminación de microorganismos específicos. Se han encontrado resultados interesantes en experimentos con arándanos, los cuales fueron tratados con ozono gaseoso y resultó en una reducción logarítmica de 2,2 de *Escherichia coli*, lo cual indica un buen resultado en alimentos con superficies lisas (Bialka & Demirci, 2007), comparable con otros métodos de sanitización de frutas y vegetales. Otros factores también impactan en la capacidad antimicrobiana del ozono, tales como: la técnica del tratamiento (Klockow & Keener, 2009), la presencia de material orgánico (Guzel-Seydim et al., 2004), pH (Cho et al., 2002) y la actividad del agua (Wu et al., 2006).

Tabla 2: Experimentos de aplicación de ozono a alimentos y la inactivación de diferentes bacterias.

Bacteria	Producto	Referencia
<i>Listeria monocytogenes</i>	Jugo de naranja	(Patil et al., 2010)
	Hojas de lechuga	(Ölmez & Temur, 2010)
	Filete de salmón	(Crowe et al., 2012)
<i>Salmonella typhimurium</i>	Carne de cerdo	(Pian et al., 2022)
<i>Salmonella enterica</i>	Tomate y melón	(Trinetta et al., 2011)
Total, fungi	Arroz almacenado	(Beber-Rodrigues et al., 2015)
<i>Escherichia coli</i>	Arándanos	(C. Kim & Hung, 2012)
	Ostras	(Ding et al., 2011)
	Melón	(Selma et al., 2008)
Bacterias mesófilas	Arándanos	(Crowe et al., 2012)
Esporas de <i>Clostridium perfringens</i>	Superficie de carne vacuno	(Novak & Yuan, 2004)

Recapitulando, gracias a los antecedentes mencionados, se puede decir que la popularidad creciente de la aplicación de ozono se debe a dos factores en general:

1. La reducción de costos en la producción, debido a la evolución de la tecnología.
2. Es menos dañino para el medioambiente en comparación con otros desinfectantes como el cloro.

De esta forma el ozono se cataloga o considera como una tecnología verde, debido a su capacidad de no dejar residuos en las superficies de los alimentos transformándolo en un objetivo constante de inversores y empresas que se rigen por estándares ambientales, sociales y gubernamentales (Zambelli, 2023).

1.7 FUNDAMENTOS DEL SECADO

Utilizar ozono como única medida antimicrobiana no es suficiente, es por esto por lo que existe la necesidad de investigar el uso de ozono en combinación con otros tratamientos, como el térmico, donde se ha demostrado que existe una sinergia entre el ozono y algún método de este estilo (Oner & Demirci, 2016).

Por otro lado, eliminar el agua es una buena medida de conservar alimentos, para reducir los costos de transporte y almacenamiento. En la historia se han desarrollado diversos métodos para cumplir este objetivo, donde el secado y la evaporación son los principales. El secado se utiliza principalmente para eliminar cantidades grandes de agua con el fin de lograr una diferencia entre la actividad de agua entre los alimentos y su entorno. Y en el caso de la evaporación, esta se utiliza en gran parte para concentrar alimentos líquidos (Kerr, 2019).

La mayoría de los alimentos frescos poseen una cantidad de agua a considerar y a su vez contienen una variedad de macro y micronutrientes, los cuales son susceptibles de ser atacados por microorganismos, como bacterias, levaduras y mohos. Esto puede traer como consecuencia deterioros de textura, sabores no deseables o producción de toxinas que pongan en riesgo la salud de los consumidores. El crecimiento microbiano depende de la cantidad de agua de los alimentos, esto ha llevado al desarrollo histórico de mecanismos de conservación como el secado por aire caliente (Ratti, 2001).

Es de conocimiento, según lo explicado anteriormente, que una forma de preservar los alimentos para que no sean afectados por el deterioro microbiológico y químico es reducir el contenido de agua, para que de esta manera la actividad de agua del

material esté por debajo de 0,7-0,8. El secado es una buena manera de eliminar la humedad de los alimentos (Kerr, 2019).

Una definición simple de secado de alimentos es la eliminación de agua por transferencia de masa de un producto alimenticio, esto ocurre cuando el agua líquida del alimento en cuestión migra hacia la superficie y se transforma en gas a medida que se transporta (Marella & Muthukumarappan, 2013).

El secado por convección de aire caliente es un proceso en el cual existe una reducción de la humedad mediante una transferencia simultánea de calor, masa y momento (Pham et al., 2020). El calor, el cual se transfiere hacia los alimentos, es generado por una corriente de aire donde el interior del producto recibe la energía de la superficie mediante difusión respecto a la estructura del producto, temperatura y la distribución de la humedad. Este flujo de calor en el producto genera un aumento de la temperatura y, por ende, la evaporación de la humedad (Castro et al., 2018), el proceso puede ser beneficiado si el aire de la corriente posee una humedad relativamente baja (Chandramohan, 2020).

1.8 SECADORES POR AIRE CALIENTE

Los secadores de alimentos por aire caliente son los más utilizados en la industria. El aire es aspirado por un ventilador, el cual pasa por una serie de calentadores. Las formas más comunes de poder generar este calor son las bobinas eléctricas, intercambiadores de calor, quemadores de gas natural, entre otros. El aire caliente pasa a través del producto, generando calor necesario para la evaporación donde a su vez se elimina el aire húmedo. Es ideal que el calentamiento del aire ocurra a una humedad absoluta constante, y a su vez durante el secado, a velocidad constante (el secado ocurre aproximadamente de forma adiabática). Este mecanismo se puede observar de forma más clara en la Figura 9 (Kerr, 2019).

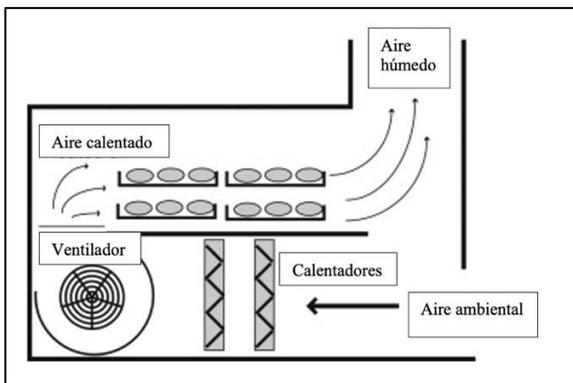


Figura 9: Mecanismo de acción de un secado por aire caliente de tipo batch, adaptado (Kerr, 2019).

Tomando en cuenta los antecedentes antes mencionados, la industria busca y necesita de tecnologías combinadas como lo son el secado y el pretratamiento por ozono, para asegurar productos de calidad y microbiológicamente seguros.

1.9 SECADO POR RADIACIÓN INFRARROJA

Dentro del espectro electromagnético (como se aprecia en la Figura 10) la radiación infrarroja es la se encuentra dentro de 0,78 y 1000 μm dentro del espectro, esta tecnología se utiliza en procesos térmicos alimenticios tales como el secado, calentamiento o la pasteurización. La longitud de onda del infrarrojo se puede segmentar en tres (ver Figura 10): infrarrojo cercano (0,78-1,4 μm), medio (1,4-3 μm) y lejano (3-1.000 μm) (Delfiya et al., 2022). Por otro lado, la radiación térmica dentro del espectro varía entre 0,1 y 100 μm .

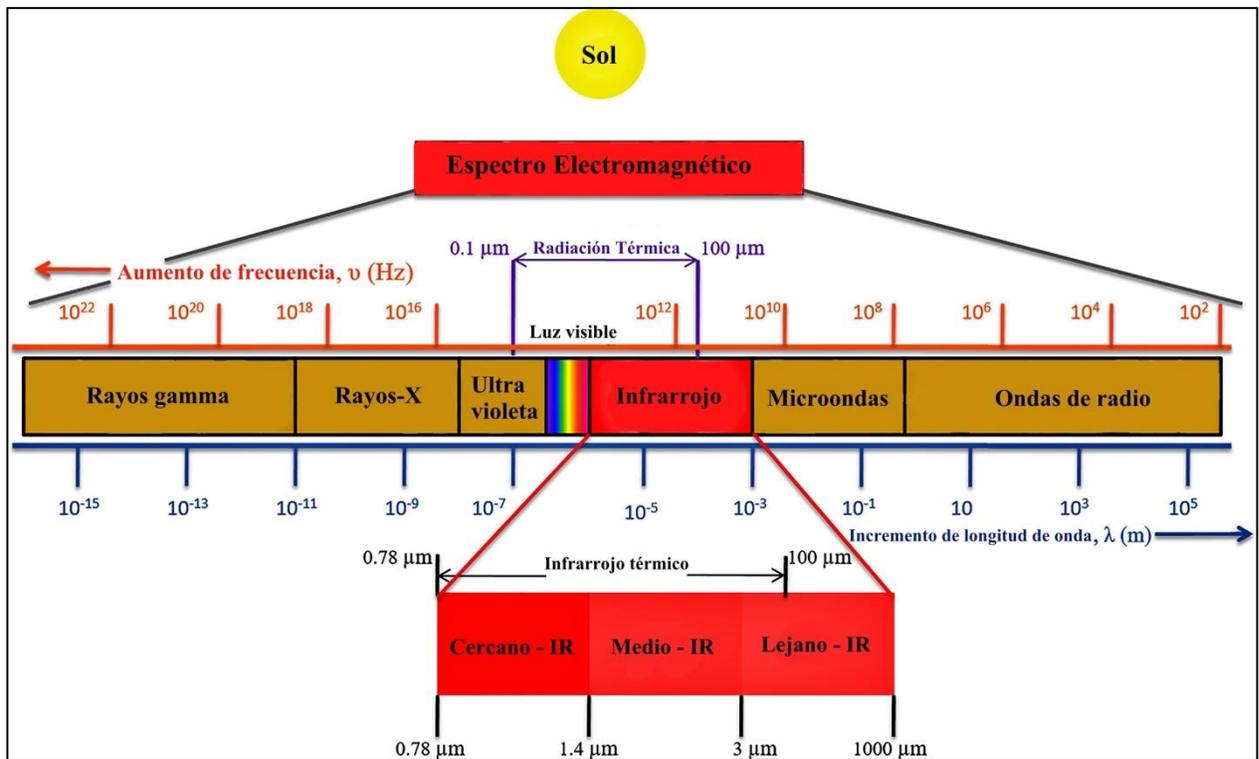


Figura 10: Espectro electromagnético, adaptado (Delfiya et al., 2022).

Se debe entender que un cuerpo cuando recibe radiación térmica esta es absorbida, reflejada o transmitida, como se aprecia en la Figura 11. Esto dependerá de la absorptividad, la reflectividad y la transmisividad del material el cual la recibe. La radiación de tipo térmica afecta directamente los átomos y moléculas del material, cambiando o variando de esta forma los estados electrónicos, rotacionales y vibratorio de estos. La región correspondiente a la radiación térmica IR (0,78-100 μm) está dentro del rango de la radiación térmica (0,1-100 μm) por lo que, cualquier radiación absorbida dentro de este rango, tendrá como consecuencia una vibración molecular en el cuerpo afectado, la cual a su vez se convierte en energía térmica (Meseguer et al., 2012).

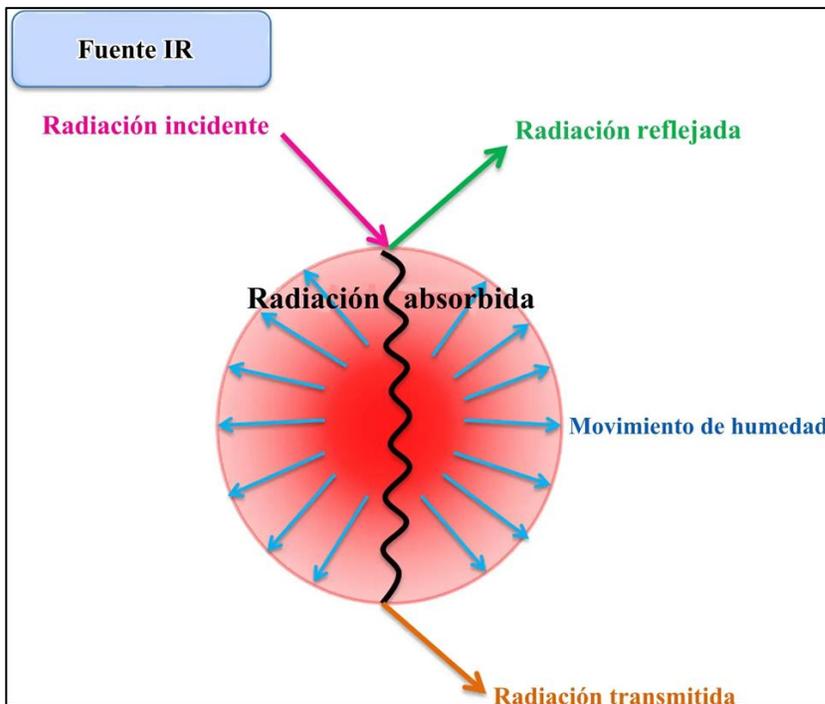


Figura 11: Incidencia de la radiación infrarroja sobre un cuerpo, adaptado (Delfiya et al., 2022).

Los alimentos no están ajeno a este comportamiento cuando son tratados por infrarrojo. Como se mencionó anteriormente, parte de la radiación penetra o se absorbe en el alimento y la restante se refleja o trasmite. La radiación absorbida generara vibraciones en las moléculas de agua, trayendo como resultado el calentamiento, tanto de su zona su interior como la superficie, ayudando a una mejor transferencia de masa (Delfiya et al., 2022). Esta variación en la temperatura producto del calentamiento aumenta la presión de vapor del agua aumentando en consecuencia su temperatura. Este calentamiento favorece el movimiento de humedad hacia la superficie (El-Mesery & Mwithiga, 2015).

Detallando, la magnitud de la longitud de onda infrarroja va a depender directamente de las características de la fuente emisora y de las propiedades físicas y químicas del producto a tratar. En su mayoría, los macronutrientes alimenticios absorben esta radiación en las tres regiones del espectro IR antes mencionadas (ver Figura 10), pero existe una mayor tendencia a la absorción en la región lejana-IR. Para las proteínas,

su rango de longitud de onda de absorción varía entre 3-4 y 6-9 μm , para lípidos entre 3-4 y 9-10 μm , para azúcares y agua ronda entre 3-15,3 μm (Delfiya et al., 2022).

Con esto se puede apreciar cómo los macronutrientes antes mencionados se superponen en rangos de absorción en comparación del agua o, dicho de otra manera, el rango de absorción del agua incluye el rango de absorción de los principales macronutrientes, por lo que es difícil evaporar o eliminar agua de un producto sin dañar al resto de componentes alimentarios (Krishnamurthy et al., 2008).

Por otro lado, respecto a la profundidad de penetración de la zona lejana-IR no existe mucha información al respecto (Delfiya et al., 2022); sin embargo, en la región cercana-IR se encontró que, en algunos alimentos como manzana, zanahoria, pan, tomate, papas, granos, entre otros, el valor de incidencia fue entre los 0,4 y 0,78 mm. Además, se evidenció que la región cercana-IR tiene una mayor capacidad que la lejana-IR, esto quiere decir que a medida que la longitud de onda disminuye, tanto la profundidad de penetración como la reflectividad aumentan; sin embargo, el calentamiento es similar para ambas regiones, en parte debido a la reflectividad del material (Krishnamurthy et al., 2008).

El secado por radiación infrarroja es limitado en cuanto a su profundidad de acción por lo que es necesario combinar esta tecnología con otra como lo es el aire caliente, microondas o vacío entre otros métodos. Los calentadores de tipo IR eléctricos se pueden clasificar respecto a sus rangos de longitud de onda como del material de construcción, donde pueden estar fabricados por ejemplo de cerámica, cuarzo o halógeno (Z. Pan et al., 2016).

1.10 SECADO POR AIRE CALIENTE ASISTIDO POR INFRARROJOS

Combinar el secado por infrarrojo con otra tecnología da mejores resultados debido a la sinergia que puede existir entre ambos métodos. Existen diversas combinaciones las cuales se pueden aplicar junto al infrarrojo; sin embargo, el secado por aire caliente asistido por radiación infrarroja es la tecnología más investigada en los años pasados. Estas tecnologías combinadas hacen que el proceso de secado aumente su velocidad, debido a que la radiación IR acelera el movimiento del agua hacia la superficie, siendo el flujo de aire caliente el que elimina o evapora en la superficie mediante la convección incrementando la transferencia de masa como se observa en la Figura 12 (Delfiya et al., 2022).

Existe evidencia bibliográfica la cual indica que el secado por aire caliente en combinación con IR mejora la capacidad de producir alimentos de una mayor calidad y en tiempo de secado más acotados, esto gracias a que se combina el rápido calentamiento proveniente del IR junto una mayor capacidad de deshumidificación del aire caliente convectivo (Delfiya et al., 2022; Hebbar et al., 2004; Jeevarathinam et al., 2021).

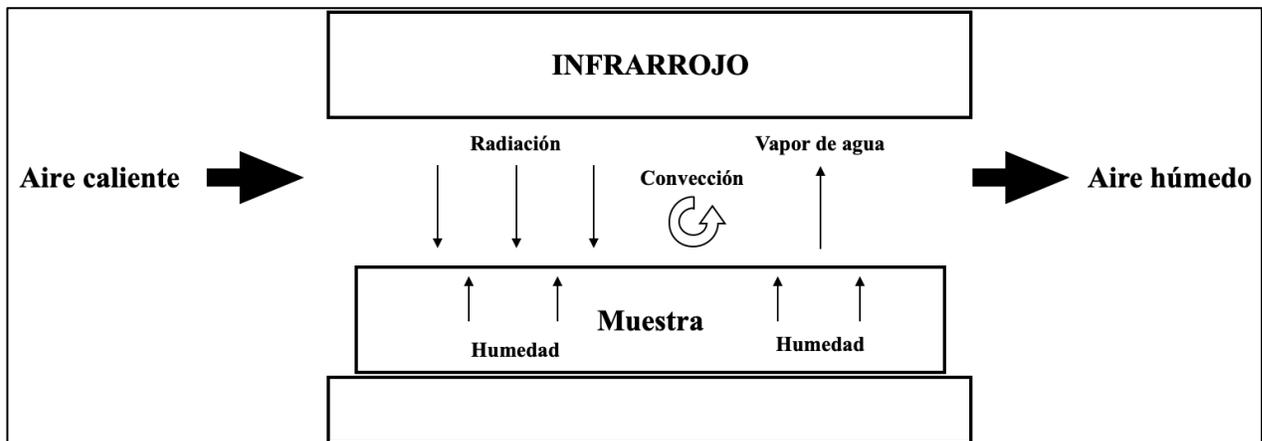


Figura 12: Transferencia de calor en un secador de aire caliente asistido por infrarrojo.

A continuación, se presentará una tabla con experimentos de secado realizados mediante aire caliente en combinación o no con infrarrojo en distintas materias primas alimentarias.

Tabla 3: Experimentos de procesos de secado por aire caliente asistido por IR.

Materia prima	Condiciones de proceso	Propiedades analizadas	Parámetros óptimos	Referencia
Anchoa	AT=50-70°C V=0,5–2 m/s IRP=400–800 W	Humedad, tiempo de secado y calidad.	AT=70C V=1,5m/s IRP=800 W	(Dongbang & Matthujak, 2013)
Calamar	AT = 50°C D = 14 cm V = 0,5–1,5 m/s IRP = 2,5–3 µm, 5–6 µm	Humedad, tiempo de secado, color, contracción, rehidratación, textura, microestructura, sensorial.	V = 0,5 m/s IRP = 2,5–3 µm	(Y. Wang et al., 2014)
Mejillones	IRP = 88–146 W	Razón de humedad, tiempo de secado, color y contracción.	IRP = 104 W	(Kipcak et al., 2019)
Estrella de anís	AT = 60–80°C V = 2,4 m/s IRP = 25 W/m ² D = 28 cm	Tiempo de secado, color, contenido de trans-anetol y aceites esenciales.	AT = 70°C V = 2,4 m/s	(Wen et al., 2020)
Biltong	IRP = 4,777 W/m ² t = 5, 10, and 15 mm	Color, textura, calidad microbiológica.	IRP = 4,777 W/m ² t = 10 mm	(Cherono et al., 2016)
Kiwi	IRP = 1.000–2.000 W t = 2–6 mm D = 550–850 mm V = 1–1,5 m/s	Contenido de humedad, razón de humedad, tiempo de secado, rehidratación y contracción.	IRP = 2.000 W t = 2 mm D = 550 mm V = 1 m/s	(Sadeghi et al., 2020)

Abreviaciones: AT, temperatura de aire; D, distancia fuente IR; IRP, potencia IR; t, grosor de muestra; V, velocidad de aire.

1.11 FACTORES QUE AFECTAN AL SECADO

Dentro de las condiciones que afectan el secado de productos alimenticios se encuentran factores como la velocidad de aire, temperatura de secado, tamaño y forma de la materia prima y finalmente la humedad relativa. Dentro de estos parámetros a los que le corresponde la mayor incidencia en el proceso de secado son la temperatura del aire y el espesor del material. Existe una mayor resistencia interna a velocidad de aire más bajas ($\leq 1,5$ m/s) en comparación a un caudal de aire más alto. De forma

general esta variable solo tiene influencia velocidades de aire superiores a 2,5 m/s (Onwude et al., 2016).

1.12 CINÉTICA DE SECADO

La cinética de un proceso de secado puede describir la transferencia de calor y masa durante el proceso. Esto depende en gran parte a las características del material, las condiciones de trabajo y el tipo de secador (Z. L. Liu et al., 2019). Esto nos indica la relación que existe entre la eliminación de la humedad y el tiempo. Durante el proceso de secado se puede registrar la variación de peso de las muestras y como este varía en el tiempo, sumado a el contenido de humedad inicial de la materia prima a trabajar se puede calcular el contenido de humedad de las muestras mediante las siguientes igualdades:

$$S = \frac{W_0 \cdot (100 \cdot X_0)}{100} \quad (1)$$

$$X = \frac{W - S}{S} \quad (2)$$

Donde X_0 representa el contenido de humedad inicial, W_0 el peso inicial y S el contenido de sólidos de la muestra. W es el peso de la muestra al momento de medir y X es el contenido de humedad en base seca, el cual se expresa como H_2O por gramos de sólido en un tiempo determinado (Delfiya et al., 2022).

La cinética del secado y su modelamiento son un proceso fundamental para la elección de métodos de secado apropiados, diseño de equipos, el mantenimiento de la calidad de un producto, controlar y optimizar el secado en sí (Inyang et al., 2018).

1.13 RAZÓN DE HUMEDAD (MR)

Las fórmulas del modelado semiteórico se obtienen de la ley de difusión de Fick y sus variantes junto a algunas provenientes de la ley de enfriamiento de Newton. Estos modelos solo se consideran para condiciones de secado y materiales para los cuales fue diseñado el modelo.

En el secado de capa fina describen únicamente la relación de razón de humedad (MR) y tiempo de secado, donde la razón de humedad se calcula de la siguiente manera (Delfiya et al., 2022):

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3)$$

Donde M , M_0 y M_e representan contenido de humedad a tiempo determinado, el contenido de humedad inicial y contenido de humedad en el equilibrio respectivamente.

Los valores de la humedad de equilibrio se pueden determinar de forma experimental o numérica, por lo que, si los valores de M_e son lo suficientemente bajos en comparación a los demás términos de la ecuación, este generaría un error insignificante. Sumado a que la humedad relativa no es constante durante el secado, la ecuación se puede simplificar de la siguiente forma (Aghbashlo et al., 2009):

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (4)$$

Los datos de secado se suelen graficar en torno a MR y el tiempo, debido a que es una magnitud adimensional donde se normalizan los valores iniciales llevándolos a valer 1.

A continuación, se mostrará en la Figura 13 una curva de secado típica.

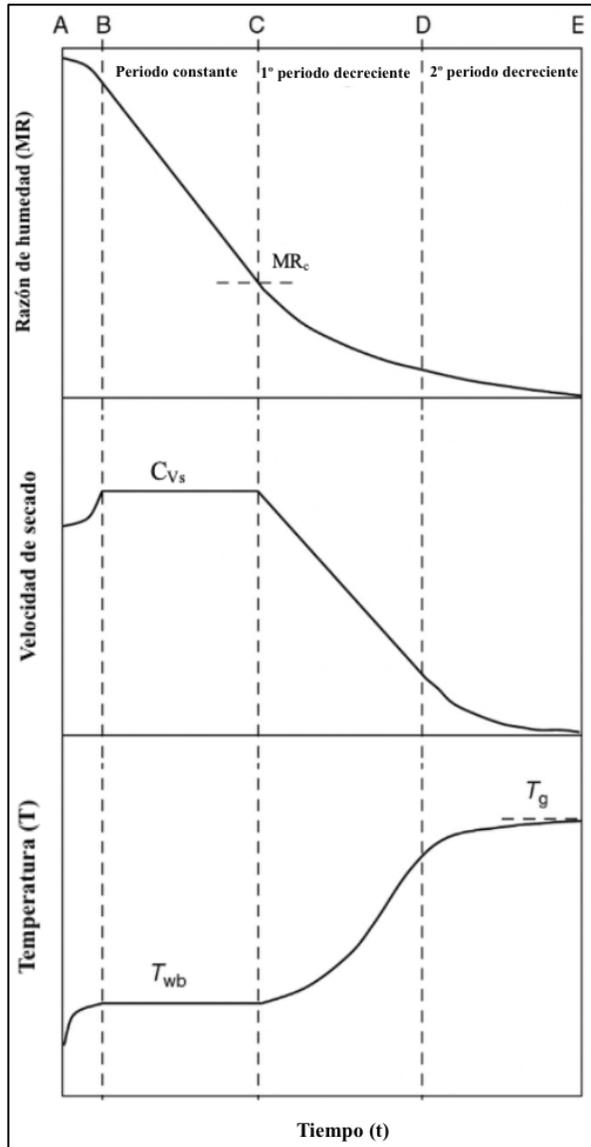


Figura 13: Curva de secado típica de MR, Vs y T en razón al tiempo, adaptado de (Onwude et al., 2016).

Se puede observar en la Figura 13 el periodo de secado inicial, donde la temperatura de equilibrio del aire (T_{wb}) es mayor que la temperatura del producto. En otras palabras, la velocidad del secado en el periodo AB aumenta junto a la temperatura del producto hasta que la temperatura en la superficie del producto logra el equilibrio (BC). Asumiendo condiciones constantes, en el periodo inicial de velocidad constante (C_{Vs}) el secado ocurre de tal forma que se comporta como si se estuviese evaporando agua en estado puro y donde el desplazamiento de humedad está controlado por

resistencias externas, internas o ambas hacia la transferencia de calor y masa (Onwude et al., 2016).

En general, aunque depende del alimento a tratar, donde ocurre el mayor tiempo de secado es en la zona decreciente donde principalmente predomina la difusión como mecanismo. Es importante mencionar que el secado culmina cuando se logra el equilibrio de estado estacionario (Erbay & Icier, 2010).

En el periodo de velocidad constante, la forma de la muestra, hablando físicamente, se ve afectada y sobre todo la superficie, donde el periodo está controlado en su gran parte por fuerzas capilares y de gravedad. El periodo CD corresponde al primer periodo decreciente, el cual comienza cuando la película superficial del producto esta seca sumada a que su humedad ha disminuido bajo su humedad crítica (MR_c). Luego de esta zona del gráfico el producto pasará a un segundo periodo decreciente (DE) (Onwude et al., 2016).

1.14 ESTIMACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA (D_{eff}) Y ENERGÍA DE ACTIVACIÓN (E_a)

Como se mencionó anteriormente, el secado depende principalmente de las características de calor y masa, difusión de humedad y la energía de activación, siendo estas variables muy importantes para el diseño de un secador. Una deshidratación eficiente depende (en gran parte) de la difusividad efectiva (D_{eff}) y la energía de activación (E_a) donde la difusión es el mecanismo principal en el movimiento de la humedad durante el secado. Esta se puede representar por la difusividad efectiva, propiedad de transferencia de masa general del agua en un material durante el secado (Aghbashlo et al., 2009).

El método más utilizado para medir o calcular la difusividad efectiva de la humedad es de forma experimental mediante las curvas de secado las cuales se basan en la solución de la segunda ley de Fick, donde se asume un coeficiente de difusión

constante. La igualdad de Fick con difusión unidimensional para diferentes geometrías (losa, esfera y cilindro) (Delfiya et al., 2022) se puede representar como:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \left(\frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{\eta}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right) \quad (5)$$

Donde η representa una constante de valor 0 para losas, 1 para cilindros y 2 para esferas y D_{eff} representa el coeficiente de difusividad efectiva. A continuación, se muestran las condiciones iniciales:

$$\begin{aligned} M(r, 0) &= M_i \quad , \quad t = 0 \\ M(0, t) &= M_\infty \quad , \quad r = r_0(\text{en la superficie}) \quad (6) \\ M(0, t) &= \text{finito} \quad , \quad r = 0(\text{en centro}) \end{aligned}$$

Asumiendo una distribución de humedad inicial uniforme, una resistencia externa despreciable, gradientes de temperatura despreciables y una contracción no significativa durante el secado, la solución para la ecuación de difusión para una geometría de losa infinita queda de la siguiente forma (Delfiya et al., 2022):

$$MR = \frac{M - M_\infty}{M_i - M_\infty} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2}{4L^2} D_{eff} t \right] \quad (7)$$

Donde D_{eff} es el coeficiente de difusividad efectiva (m^2/s), L corresponde a la mitad del espesor de la muestra (m), n corresponde al integrador positivo y t corresponde al tiempo de secado (segundos). El desarrollo de esta ecuación correspondiente a las primeras tres series (Delfiya et al., 2022), queda definida como:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 N_{Fi}} + \frac{1}{9} e^{-9\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 N_{Fi}} + \frac{1}{25} e^{-25\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 N_{Fi}} \right) \quad (8)$$

En donde N_{Fi} es el número de Fick ($(D_{eff} * t / L^2)$). En la ecuación se puede considerar solo el primer término cuando el número de Fick es mayor a 0,1 y MR menor a 0,6

(Delfiya et al., 2022). Una vez dado esas condiciones, la ecuación se puede simplificar a una función del tipo lineal:

$$\ln MR = \text{Constante} - st \quad (9)$$

Donde s es la constante de deshidratación (t^{-1}), la cual corresponde a (c^*D_{eff}/L^2) , en donde c es la constante de la primera serie 2,47 $((\pi/2)^2)$ (como se aprecia en la ecuación 8). La gráfica que representa esta ecuación le corresponde un comportamiento lineal la cual está sobre el número de Fick (0,1). Pudiéndose calcular la difusividad efectiva a partir de la pendiente de la recta descrita anteriormente mediante la siguiente ecuación:

$$D_{eff} = \frac{-s(L^2)}{c} \quad (10)$$

Es importante recordar lo mencionado anteriormente respecto a las suposiciones que se deben cumplir para poder utilizar y determinar la difusividad efectiva con esta metodología (Delfiya et al., 2022):

- a. Condición de secado isotérmica.
- b. Difusividad efectiva constante.
- c. Contracción insignificante durante el secado.
- d. Resistencia externa despreciable.

En general, la difusividad aumenta con el incremento de la temperatura de secado en cuanto a materias primas alimentarias se refiere (Prabhakar & Raju, 2000). El efecto de la temperatura sobre la difusividad efectiva se puede describir en función de la ecuación de Arrhenius, de la siguiente forma (Umesh Hebbar & Rastogi, 2001):

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T + 273,15)}\right) \quad (11)$$

Donde D_0 es el factor de difusión (m^2/s), E_a es la energía de activación (kJ/mol), R es la constante universal de los gases ideales ($8,31451 \times 10^{-3} kJ/mol/K$) y T es la temperatura promedio ($^{\circ}C$). El valor de la energía de activación se puede determinar mediante la pendiente del gráfico de Arrhenius ($\ln(D_{eff})$) vs $1/(T+273,15)$. Además, la intersección de esta recta corresponde al valor D_0 (Delfiya et al., 2022):

$$Pendiente = -\frac{E_a}{R} \quad (12)$$

Cabe destacar que la temperatura utilizada en la igualdad de Arrhenius es la temperatura ambiente de secado, asumiendo que la temperatura del material el cual está siendo secado es la del entorno cercano. Por lo que se asume una condición isotérmica tanto para determinar la difusividad efectiva como la energía de activación (Erbay & Icier, 2010).

La energía de activación como se dijo anteriormente es una buena manera de medir como afecta la temperatura del proceso de secado al coeficiente de difusión efectiva (Zhang et al., 2016). De esta manera, un aumento en la E_a tiene como significado una mayor dependencia o sensibilidad de la D_{eff} a la temperatura (Erbay & Icier, 2010).

1.15 MODELAMIENTO MATEMÁTICO

El concepto de secado de capa fina se refiere al proceso en donde el material a secar se reduce a dimensiones tales que permitirán una distribución uniforme del aire de secado y la temperatura que influye en el alimento, de esta forma este factor (forma) se integra a los modelos cinéticos de secado para así disminuir la influencia de la geometría del producto en el proceso (Erbay & Icier, 2010).

Estos modelos se pueden clasificar en teóricos, semiteóricos y empíricos; siendo los empíricos y semiteóricos los más utilizados. Estos últimos consideran la resistencia externa del proceso de transporte de humedad del material y el aire atmosférico, para así de esta forma originar resultados más precisos junto una mejor predicción del

comportamiento del proceso, sin hacer uso de suposiciones debido a su alta dependencia de los datos experimentales. Estas características hacen de este tipo de modelo muy útiles para ingenieros y diseñadores de secadores; sin embargo, son solo aplicables dentro de las condiciones de secado los cuales fueron originados (Onwude et al., 2016).

1.16 MODELOS TEÓRICOS

En cuanto a los modelos teóricos solo toman en cuenta la resistencia interna a la transferencia de humedad y se incluyen factores internos y externos de difusividad, humedad de entrada del aire y propiedades del material a secar, esto causa que se necesiten una gran cantidad de suposiciones generando una mayor cantidad de errores y un aumento en la complejidad en su aplicación práctica (Cihan & Ece, 2001; Kucuk et al., 2014).

1.17 MODELOS SEMITEÓRICOS

Los modelos semiteórico son soluciones los cuales están basados en la segunda ley de Fick y sus variaciones simplificadas (Ley de enfriamiento de Newton) y que junto a algunos modelos empíricos nos entregan una mejor comprensión sobre los procesos de transporte y de esta forma lograr un mejor ajuste a los datos experimentales (Janjai et al., 2011). En cuanto a los factores que podrían definir a utilizar este tipo de modelos o no, se encuentran la temperatura de secado, velocidad de aire, grosor del material, contenido de humedad inicial y la humedad relativa (Erbay & Icier, 2010).

1.18 MODELOS EMPÍRICOS

Este tipo de modelo entregan una relación directa entre el contenido de humedad promedio y el tiempo de secado. La limitación en la aplicación de este tipo de modelo en secado de capa fina es que no se rigen o siguen los fundamentos teóricos de los procesos de secado en torno a una relación cinética entre la constante de velocidad y

la concentración de humedad, dando así valores de parámetros poco exactos (Erbay & Icier, 2010). Añadiendo que este tipo de modelos no tienen una interpretación física y son completamente dependientes de datos experimentales (Onwude et al., 2016).

En general y modo de resumen, los modelos semiteóricos y empíricos son los modelos más aplicados en la estimación de la cinética de secado en productos alimenticios de alta humedad (Onwude et al., 2016). A continuación, en la tabla 3 se muestran los modelos semiteóricos y empíricos más utilizados (Bennamoun & Li, 2018).

Tabla 3: Modelos semiteóricos y empíricos más utilizados. Donde sí al nombre del modelo lo acompaña un *, corresponde a modelo empírico.

N.º	Nombre del Modelo	Expresión matemática	Referencia
1	Newton	$M^* = \exp(-kt)$	(Junqueira et al., 2017)
2	Page	$M^* = \exp(-kt^n)$	(Junqueira et al., 2017)
3	Page modificado	$M^* = \exp[(-kt)]^n$	(Bennamoun & Li, 2018)
4	Page modificado (2)	$M^* = k \cdot \exp(-t/d^2)^n$	(Bennamoun & Li, 2018)
5	Henderson & Pabis	$M^* = a \cdot \exp(-kt^n)$	(Pashazadeh et al., 2020)
6	Henderson and Pabis Modificado	$M^* = a \cdot \exp(-kt) + b \cdot \exp(-gt) + c \cdot \exp(-ht)$	(Bennamoun & Li, 2018)
7	Midilli et al.	$M^* = a \cdot \exp(-kt) + bt$	(Aral & Beşe, 2016)
8	Logarítmico	$M^* = a \cdot \exp(-kt) + c$	(Aral & Beşe, 2016)
9	Dos términos	$M^* = a \cdot \exp(-k_1t) + b \cdot \exp(-k_2t)$	(Aral & Beşe, 2016)
10	Dos términos exponencial	$M^* = a \cdot \exp(-k_0t) + (1 - a) \cdot \exp(-k_1at)$	(Pashazadeh et al., 2020)
11	Hii et al.	$M^* = a \cdot \exp(-k_1t^n) + b \cdot \exp(-k_2t^n)$	(Bennamoun & Li, 2018)
12	Demir et al.	$M^* = a \cdot \exp(-kt)^n + b$	(Bennamoun & Li, 2018)
13	Verma et al.	$M^* = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a) \cdot \exp(-gt)$	(Pashazadeh et al., 2020)
14	Aproximación por difusión	$M^* = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a) \cdot \exp(-kbt)$	(Pashazadeh et al., 2020)
15	Midilli et al modificado	$M^* = a \cdot \exp(-kt) + b$	(Bennamoun & Li, 2018)
16	Aghbashlo et al.*	$M^* = \exp[-k_1t/(1 + k_2t)]$	(do Nascimento Silveira Dorneles et al., 2019)
17	Wang & Singh*	$M^* = 1 + at + bt^2$	(do Nascimento Silveira Dorneles et al., 2019)
18	Diamante et al.*	$\ln(-\ln M^*) = a + b(\ln t) + c(\ln t)^2$	(Bennamoun & Li, 2018)

19	Weibull*	$M^* = a - b \cdot \exp(-kot^n)$	(Bennamoun & Li, 2018)
20	Thompson*	$t = a \ln(M^*) + b [\ln(M^*)]^2$	(Bennamoun & Li, 2018)
21	Silva et al.*	$M^* = \exp(-at - b \cdot t^{1/2})$	(Bennamoun & Li, 2018)
22	Peleg*	$M^* = 1 - t / (a + bt)$	(Pashazadeh et al., 2020)

Se puede apreciar en la tabla 3 como los modelos, independiente del autor, introducen diferentes constantes, como k en el modelo de Newton o k y n en el modelo de Page. Estas constantes se denominan constantes de secado y son obtenidas a partir de experimentos donde usualmente se ingresan los datos experimentales de la curva de secado a un software el cual mediante el ajuste de los datos arroja las constantes, para luego determinar las constantes de secado para condición operativa. El modelo que mejor represente el modelamiento de la curva en cuanto a precisión se refiere, es el que presente un mayor coeficiente de correlación (Bennamoun & Li, 2018).

Se describirán a continuación los modelos de secado de capa fina semiteóricos y empíricos, los cuales han sido utilizados en el secado de frutas, verduras, productos agrícolas o de cultivo en general y productos del mar (Delfiya et al., 2022; Onwude et al., 2016; Uribe et al., 2011).

1.19 MODELO DE NEWTON (LEWIS)

Este modelo es análogo de la ley de enfriamiento de Newton, por lo que se conoce comúnmente como tal. Lewis en el año 1921 propuso que, durante el secado de materiales higroscópicos porosos, el cambio del contenido de humedad de estos en periodo decreciente será proporcional a la diferencia instantánea entre el contenido de humedad y el contenido de humedad esperado cuando se logre el equilibrio. De esta manera se asumió que el material es lo suficiente delgado o que la velocidad del aire es alta y que las condiciones de trabajo como la temperatura y la humedad relativa se mantienen constantes en el tiempo (Erbay & Icier, 2010).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-kt} \quad (13)$$

Donde k representa la constante de secado (s^{-1}) (Erbay & Icier, 2010). Dentro del secado de capa fina, la constante de secado es producto de una combinación de propiedades de transporte de secado como la difusividad de la humedad, conductividad térmica, calor de interfaz y los coeficientes de masa (Marinos-Kouris & Maroulis, 1995).

1.20 MODELO DE PAGE

En el año 1949, Page modificó el modelo de Newton (Lewis) para así originar un modelo más preciso mediante la adición de una constante empírica adimensional para así aplicarlo al proceso de secado de maíz sin cascara (Erbay & Icier, 2010).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-kt^n} \quad (14)$$

Donde n es una constante adimensional y k es la constante de secado (s^{-1}).

1.21 HENDERSON-PABIS

Henderson y Pabis en 1961 realizaron una mejora de un modelo de secado el cual consideraba el primer término dentro de una serie de soluciones provenientes de la solución de la segunda ley de Fick y aplicado al secado de granos (Erbay & Icier, 2010).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = a \cdot e^{-kt^n} \quad (15)$$

Donde a y n representan las constantes de la igualdad, k la constante de secado y t el tiempo en segundos (Pashazadeh et al., 2020).

1.22 MODELO LOGARÍTMICO (ASINTÓTICO)

Chandra y Singh en 1995 propusieron un modelo que incluía la forma logarítmica del modelo de Henderson y Pabis sumándole algunos términos empíricos (Erbay & Icier, 2010).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = a \cdot e^{-kt} + c \quad (16)$$

Donde a y c corresponde a una constante empírica adimensional y k la constante de secado (s^{-1}).

1.23 MODELO DE MIDILLI MODIFICADO

En el año 2006 Ghazanfari y sus colaboradores, profundizaron el modelo de Midilli y propusieron que el término “a” de este modelo debía tener un valor de 1 a tiempo 0. Modificando la expresión original y quedando como la siguiente (Bennamoun & Li, 2018):

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = a \cdot e^{-(kt)} + b \quad (17)$$

Donde a y b corresponden a constantes del modelo y k a la constante de secado (s^{-1}).

1.24 MODELO DE HII

Este modelo fue desarrollado por Hii, Law y Cloke en el año 2009, tomando como base el modelo de Page y el modelo de dos términos. Los autores basados en su experiencia decidieron fundamentar su modelamiento en estos dos modelos debido a que generaban ajustes aceptables al momento de aplicarlos.

Profundizando, los autores encontraron que la ecuación de Page ajustaba de manera aceptable en una variedad y productos alimenticios, mientras que el modelo de dos términos, en palabras simples es la solución analítica de la ecuación de difusión. Lo que llevo a los investigadores combinar ambas ventajas de estos modelos, para así originar un nuevo modelo que pudiese superar a los antes mencionados (Hii et al., 2009)

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = a \cdot e^{-k_1 t^n} + b \cdot e^{-k_2 t^n} \quad (18)$$

Donde n, a y b son constantes del modelo adimensionales y k1 y k2 son constante de secado (s⁻¹).

1.25 ANÁLISIS DE DATOS Y ELECCIÓN DEL MODELO

El modelamiento matemático del secado de capa fina de productos alimenticios necesita de metodologías estadísticas de regresión y análisis correlativo, es por esto por lo que los análisis de regresión lineal y no lineal son útiles para encontrar relación entre diferentes variables en las cuales no existe una correlación empírica determinada (Erbay & Icier, 2010). La validación de un modelo se puede comprobar o demostrar mediante diferentes métodos estadísticos, como el análisis de correlación, Chi cuadrado reducido (χ^2), análisis de error cuadrático medio (RMSE), suma de errores cuadráticos (SSE) y coeficiente de determinación (R²). Donde se busca o se selecciona el modelo el cual tenga valores de r² altos y valores de χ^2 , RMSE y SSE bajos. Estos valores de análisis indicarán el modelo que mejor ajuste para la aproximación matemática de las curvas de secado (Delfiya et al., 2022).

$$SSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{ei} - MR_{ci})^2 \quad (19)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{ci} - MR_{ei})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

$$x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{ei} - MR_{ci})^2}{N - m} \quad (21)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{ei} - MR_{ci})^2}{\sum_{i=1}^N (\overline{MR}_{ei} - MR_{ci})^2} \quad (22)$$

$$\overline{MR}_{ei} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N MR_{ei} \quad (23)$$

Donde MR_{ei} representa la razón de humedad experimental, MR_{ci} es la razón de humedad calculada, N es el número de observaciones en el proceso de secado y m corresponde al número de constantes del modelo (Erbay & Icier, 2010; Uribe et al., 2011).

1.26 JIBIA (*Dosidicus gigas*)

La jibia (*Dosidicus gigas*) es un calamar omastréfido endémico del sector oriental del océano Pacífico. La talla de esta especie puede alcanzar los 1,5 m aproximadamente (ver Figura 14), posee hábitos semipelágicos, la cual se distribuye en términos batimétricos desde la superficie hasta los 1.200 m. Geográficamente, se extiende desde los 40° Norte, ubicación que aproximadamente le corresponde a California (Estados Unidos), hasta los 52° Sur, la cual representa el sur de Chile. Esto con una extensión hacia el oeste a aproximadamente 140° en frente de la zona ecuatorial, tal como se indica en la Figura 15 (SUBPESCA, 2023).

Los principales mercados de destinos de este molusco son: España, Corea del Sur, Filipinas, Federación de Rusa, República Popular de China, Estados Unidos de América, México, Argentina, Tailandia, Vietnam, Cuba y Costa Rica (SUBPESCA, 2023).

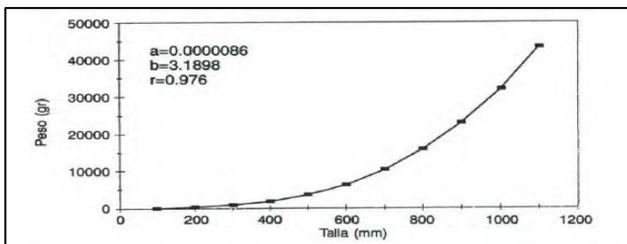


Figura 14: Relación talla peso (Instituto del Mar del Perú & Instituto Tecnológico Pesquero del Perú, 1996).

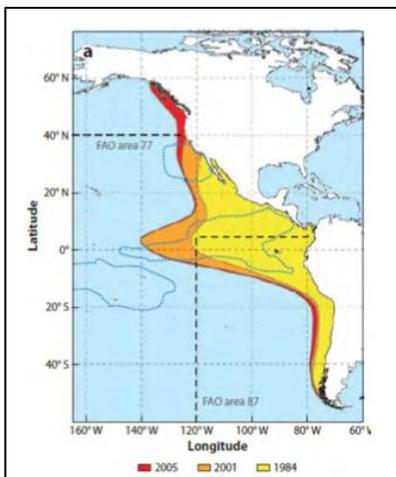


Figura 15: Zona geográfica de la jibia (SUBPESCA, 2017).

Su cuerpo es de forma cilíndrica, el cual se denomina manto y su función es envolver y proteger los órganos internos. En un extremo tiene aletas y por el lado contrario se encuentra la cabeza, boca, tentáculos y brazos (ver Figura 16). Su cuerpo, posee un esqueleto cartilaginoso el cual se conoce como pluma, junto con dos aletas laterales; alrededor de la boca se encuentran ocho tentáculos con ventosas junto a dos brazos (ver Figura 16) (SUBPESCA, 2018).

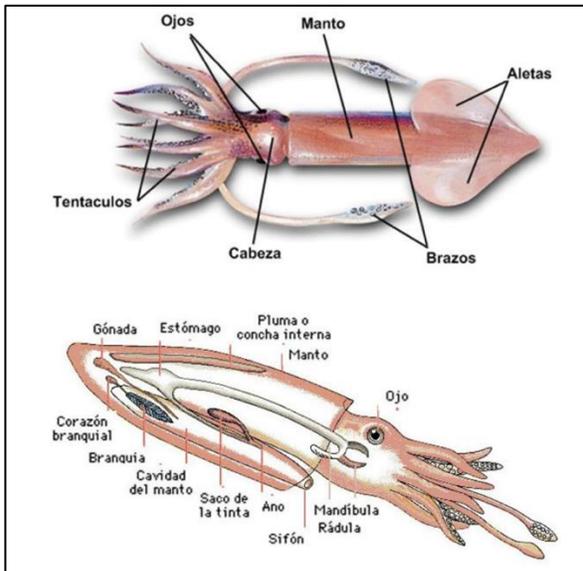


Figura 16: Jibia (*Dosidicus gigas*) (SUBPESCA, 2018).

La carne del Calamar Gigante (Jibia) es rica en proteínas, en otras palabras, su composición aminoacídica es completa respecto a los aminoácidos esenciales como la lisina, esto hace, que sea recomendada en la dieta para niños y niñas, debido al rol que juega este aminoácido en el crecimiento infantil esto se puede apreciar en detalle en la tabla 5. Además, posee un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, donde estos juegan un rol esencial en la dieta, resguardando de problemas cardiovasculares a adultos mayores entre otros beneficios (Salcedo Palomino, 2015).

Es importante destacar los ácidos grasos poliinsaturados que posee la jibia, los cuales son el DHA (C22:6) y EPA (C20:5). Estos ácidos grasos de origen marino (ver tabla 6) han demostrado ser eficaces en el tratamiento y prevención de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, cáncer, enfermedad inflamatoria intestinal, artritis reumatoidea e injuria por isquemia/repercusión. Específicamente estos ácidos

grasos participan directamente en la modulación de la respuesta inmune, disminuyendo la inflamación y el daño anatómico-funcional, el cual se produce en procesos de inflamación (Valenzuela et al., 2011). Esto se puede evidenciar en cuanto a la cantidad de estos ácidos grasos en la tabla 6.

Tabla 4: Análisis proximal de la jibia (Salcedo Palomino, 2015).

Componente g/100 g de producto	Pedreschi 1993	Abugoch et al. 1999	Maza 2002	Ibarra 2006	Rosas 2007
Humedad	84.0	82.28	82.4	85.32	83.78
Proteína	12.7	15.32	16.2	11.5	14.3
Grasa Cruda	1.6	0.87	0.71	0.48	0.93
Ceniza	1.4	1.31	1.41	0.92	1.13
Carbohidratos	0.3	0.00	-	1.86	-
NNP	0.99	0.27	-	-	0.86

Tabla 5: Análisis aminoacídico de la jibia (Salcedo Palomino, 2015).

Aminoácidos (mg/g de proteína)	Carne de Jibia
Isoleucina	56.0
Leucina	92.2
Metionina + Cistina	82.4
Lisina	92.2
Fenilalanina + Tirosina	44.3
Treonina	47.8
Triptófano	11.0
Valina	50.2
Histidina	24.5

Tabla 6: Análisis de ácidos grasos de la jibia (Salcedo Palomino, 2015).

Ácidos grasos	%
C14:0 Mirístico	1.4
C16:0 Palmítico	19.9
C18:0 Esteárico	3.5
C18:1 Oleico	4.0
C20:0 Araquídico	6.4
C20:3 Eicosatrienoico	0.2
C20:5 Eicosapentaenoico	16.7
C22:3 Docosatrienoico	0.2
C22:4 Docosatetraenoico	0.3
C22:6 Docosahexaenoico	46.9

La jibia como producto industrializado para consumo humano, se puede comercializar de forma entera, con piel, aletas, tentáculos, tubos y anillos en su forma fresca refrigerada o congelado en partes. Donde el 49% de su composición física está representado por el cuerpo, seguido por los tentáculos y aletas, esto se ve representado en la tabla 7. La densidad y coeficiente de estiba, donde este último término corresponde a la relación entre el volumen ocupado y el peso de una determinada carga, fueron de 850 kg/m³ y 1.18 m³/t (Cruz, 2022)

Tabla 7: Composición física de la Jibia (Cruz, 2022).

Componente	Promedio %
Cuerpo	49.3
Aleta	13.4
Tentáculos	21.4
Vísceras	15.4

Tabla 8: Rendimientos (Cruz, 2022).

Rendimientos	%
Deshidratado	14 - 18
Pulpa	45 - 49

Referente a los antecedentes pesqueros, la jibia a partir del año 2001 ha incrementado su abundancia de forma relativa en las aguas chilenas, sobre todo en la zona centro sur del país (ver Figura 18), zona donde se desarrolla una amplia serie de pequeñas pesquerías de importancia nacional como lo son la sardina común, jurel, anchoveta, merluza de cola, merluza común y besugo. Al año 2010, el recurso logró posicionarse como una pesquería de gran importancia económica, donde esta característica la ha mantenido hasta la fecha (SUBPESCA, 2018).

Entre los años 2000 y 2017, es donde ocurre el mayor aporte a la actividad extractiva, donde las regiones del Biobío, Valparaíso y Coquimbo acumulan más del 40% de desembarques, esto se puede apreciar en la Figura 17.

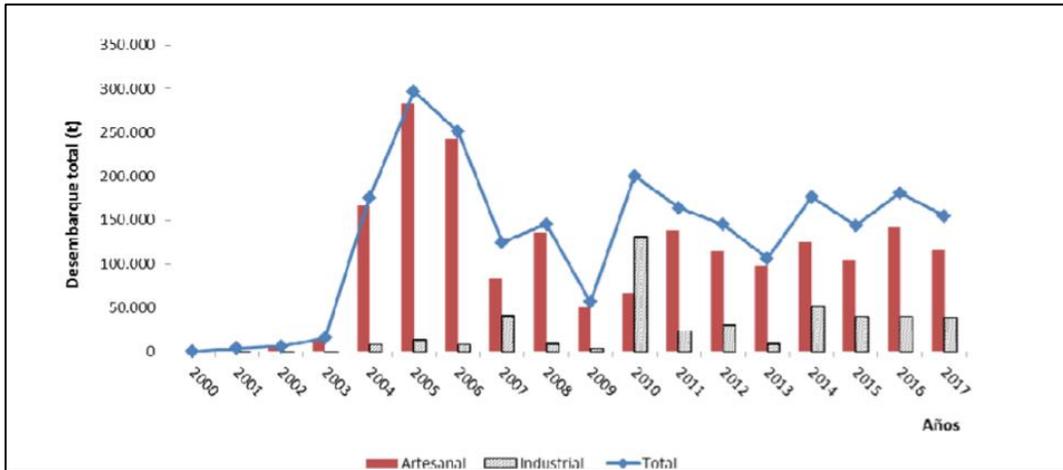


Figura 17: Total de desembarques artesanales e industriales entre 2000 y 2017 (SUBPESCA, 2018).

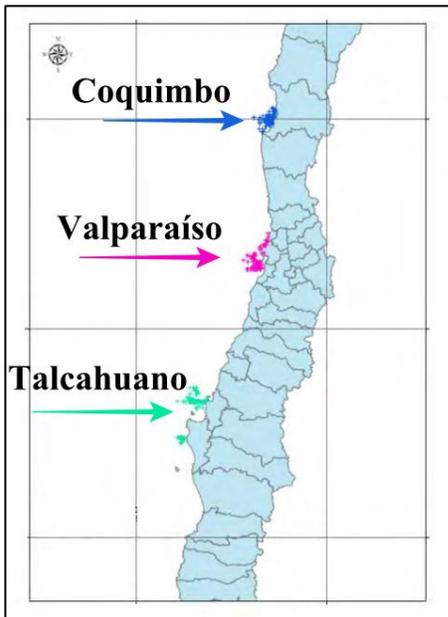


Figura 18: Locación de los principales desembarques de jibia (SUBPESCA, 2017).

En síntesis, según los antecedentes antes mencionados. La composición aminoacídica completa, su aporte en ácidos grasos poliinsaturados, su diversidad en la forma de comercialización y su disponibilidad pesquera, hacen de la jibia una materia prima innovadora de investigar para así general conocimiento y fomentar el estudio de este animal marítimo.

2 HIPÓTESIS

El pretratamiento de ozono gaseoso en combinación con secado por aire caliente asistido con infrarrojo mejorará los parámetros microbiológicos de la jibia deshidratada y los parámetros de calidad en comparación a muestras que no han sido tratadas con ozono.

2.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar ozono gaseoso como pretratamiento a muestras de jibia para su posterior deshidratación y revelar si esta aplicación mejora parámetros microbiológicos y de calidad.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar la cinética de secado en carne de jibia, para determinar parámetros y variables óptimas para su deshidratación.
2. Evaluar diferentes tiempos de exposición al ozono gaseoso de muestras frescas previas a su deshidratación.
3. Analizar los parámetros de calidad a muestras deshidratadas con o sin pretratamiento de ozono.
4. Determinar el recuento de microorganismos aerobios mesófilos, enterobacterias y *Staphylococcus aureus* a muestras deshidratadas con o sin pretratamiento de ozono.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 RESUMEN ILUSTRATIVO

A continuación, en la Figura 19, se presenta un esquema ilustrativo de la metodología completa realizada las muestras de jibia.

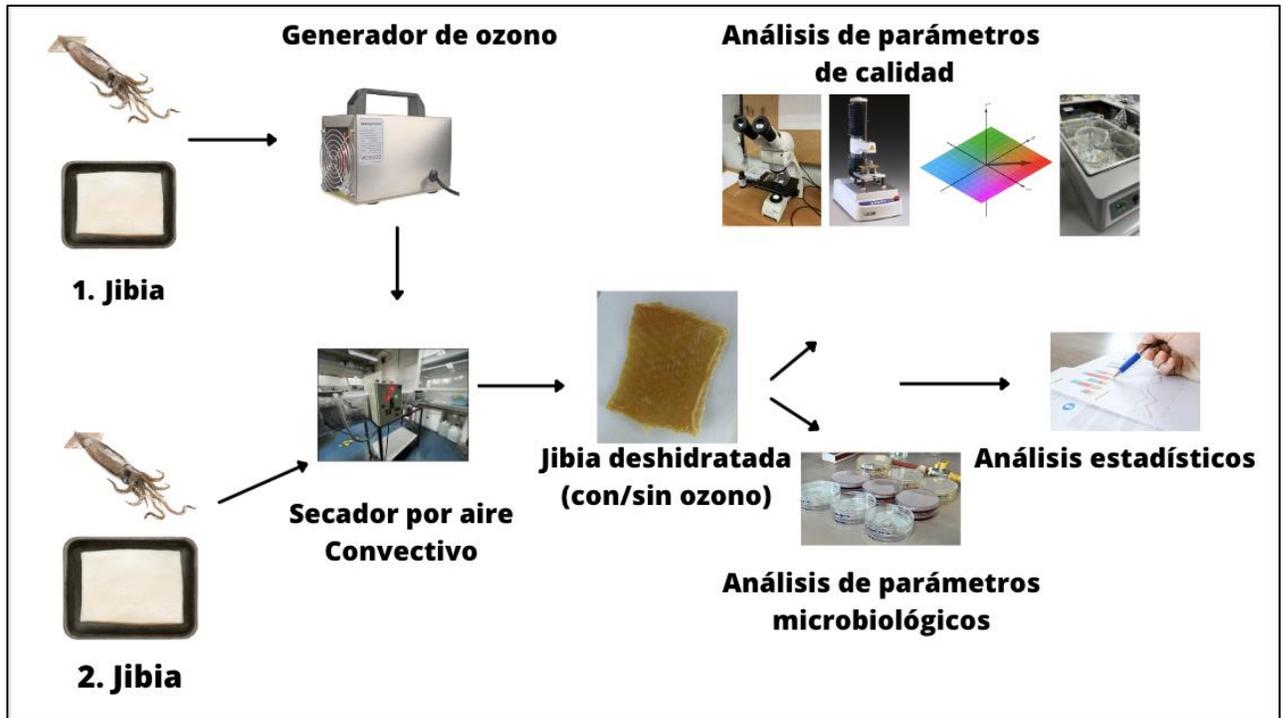


Figura 19: Diagrama ilustrativo de la metodología resumida.

3.2 PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

La carne de jibia fue comprada en un supermercado local (Jumbo Independencia, Santiago, Chile) en formato de filete de 500 gramos los cuales corresponden a la zona del manto, esta sección del animal es la única disponible en el supermercado antes mencionado. Los filetes se almacenaron bajo refrigeración a una temperatura de 2-4 ° C durante el tiempo de recepción hasta su uso. Se cortaron en trozos aproximados de 3 x 3 cm² con un espesor de 0,5 cm. Se dividieron en tres lotes, donde el primero se envasará al vacío y será almacenado a 4 ± 0,5 °C. Este primer lote se utilizó para caracterizar la carne fresca el cual fue sometido a pruebas fisicoquímicas (color y humedad). Luego de la caracterización, el lote fue envasado y congelado a -18 ± ° C y será utilizado como referencia externa de carne cruda para los análisis microbiológicos. El segundo lote de muestras fue sometido a deshidratación por aire caliente en las condiciones seleccionadas para ser almacenadas en frascos estériles impermeables de vidrio a temperatura de 20,1 ± 0,5 °C para ser usado como control interno en todas las pruebas. Finalmente, el ultimo lote de muestras frescas fue sometido a una exposición variada en tiempo de ozono gaseoso para su posterior deshidratación y almacenamiento en condiciones idénticas al segundo lote de muestras para luego ser analizadas en los experimentos.

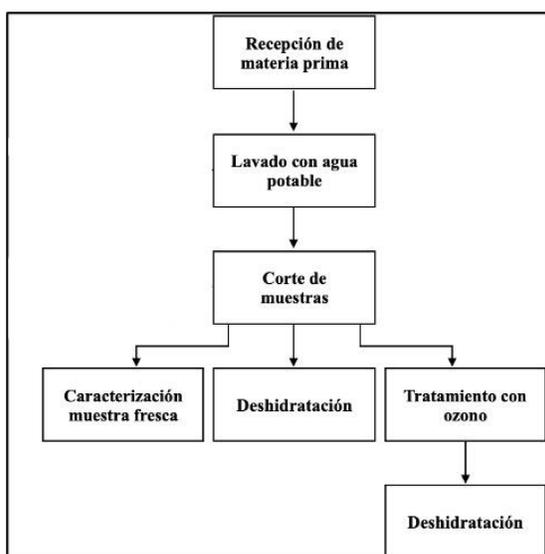


Figura 20: Diagrama de flujo



Figura 21: Materia prima utilizada

3.3 EXPERIMENTO DE SECADO

El proceso de secado se realizó en un secador piloto de tipo experimental de aire convectivo asistido por infrarrojo el cual fue brindado por el Departamento de Ciencias de los Alimentos y Tecnología Química de la Universidad de Chile. Se utilizaron tres temperaturas de trabajo, las cuales fueron 60, 70 y 80 °C, donde fueron asistidas por infrarrojo a una intensidad de 200 Watts, a una velocidad de aire controlada de $1,7 \pm 0,1$ m/s, esta velocidad se controló con un anemómetro omnidireccional (Extech Instrument Inc, 451112, EE. UU.). Las muestras se dispusieron en la bandeja del secador y se controló su peso cada 5, 10, 20, 30, 40, 60 minutos en una balanza analítica (Ohaus, SP402 Scout-Pro, Pine Book, NJ, EE. UU.) con una precisión de $\pm 0,01$ g. Los experimentos se realizaron hasta un tiempo total de 430 minutos. Todas las muestras deshidratadas se almacenaron en frascos de vidrio estériles e impermeables a una temperatura de $20,1 \pm 0,5$ °C. Cada experimento se realizó por triplicado.

A continuación, se presentará una tabla resumen todos los tratamientos.

Tabla 9: combinación de experimentos de secado realizados.

Potencia eléctrica IR	Temperatura de secado °C	Tiempo de exposición ozono (minutos)		
200 W	60	0	30	60
	70	0	30	60
	80	0	30	60

3.4 SECADOR POR AIRE CONVECTIVO ASISTIDO POR INFRARROJO

Se puede observar en la Figura 22 las principales piezas que conforman el secador de aire convectivo. Consta de un ventilador de aspas el cual puede llegar a velocidades de aire de hasta $6,8 \pm 0,1$ m/s. Una batería de resistencias y una lámpara infrarroja con una potencia de hasta 1000 Watts. Estos parámetros como la velocidad de aire,

temperatura de trabajo y potencia de infrarrojo se pueden controlar mediante un panel frontal.

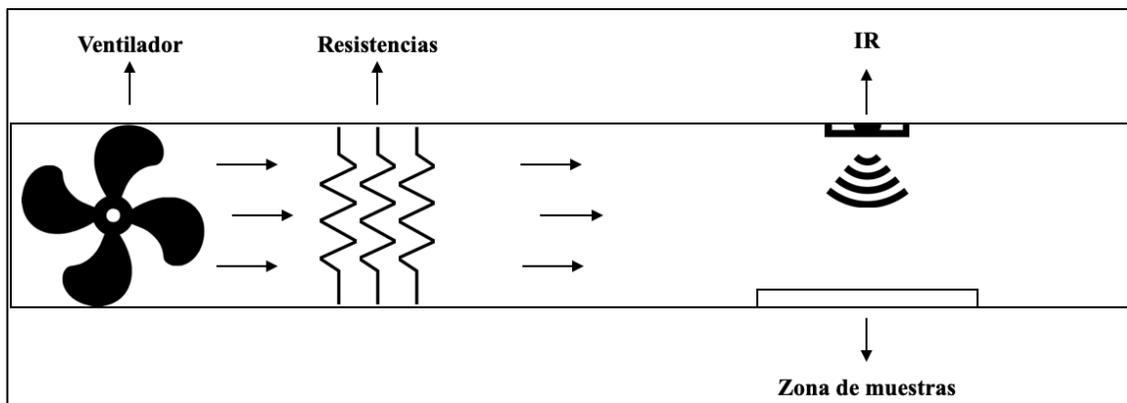


Figura 22: Esquema simplificado de secador de aire convectivo asistido por IR.

3.5 HUMEDAD INICIAL

Para calcular la humedad inicial de la muestra de jibia se realizó mediante el método de estufa a vacío según el método AOAC official method 934.06 (García Martínez & Fernández Segovia, 2012). En el cual indica que se deben pesar 5 gramos de muestra (en triplicado) y llevar a secar a una temperatura de 70 ± 1 °C a una presión $\leq 13,3$ KPa por un tiempo de dos horas. Pasado ese tiempo, el peso de muestra se debe controlar cada 30 minutos hasta lograr el peso constante.

3.6 CURVAS DE SECADO

Para el análisis de cinética se construyeron curvas de secado en las cuales se comparaba como variaba MR versus el tiempo. MR se calcula mediante la ecuación 4 para todos los tratamientos de la Tabla 9.

3.7 CÁLCULO DE LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA

El coeficiente de difusividad efectiva se calculó mediante el método de las pendientes, descrito por la ecuación 9 y 10.

$$\ln MR = Constante - st \quad (9)$$

S representa la constante de deshidratación (t^{-1}), la cual corresponde a $(c \cdot D_{eff}) / L^2$, en donde c es la constante de la primera serie 2,47 $((\pi/2)^2)$ (ecuación 8). La gráfica que representa esta ecuación le corresponde un comportamiento lineal. Pudiéndose calcular la difusividad efectiva a partir de la pendiente de la recta descrita anteriormente mediante la siguiente ecuación:

$$D_{eff} = \frac{-s(L^2)}{c} \quad (10)$$

3.8 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

El valor de la energía de activación se determinó mediante la pendiente del gráfico de Arrhenius ($\ln(D_{eff})$) vs $1/(T+273,15)$. Pudiéndose calcular mediante la ecuación 12.

3.9 MODELAMIENTO DE LAS CURVAS DE SECADO

Para analizar las curvas de secado se utilizaron 6 modelos de secado en capa fina que se detallan a continuación (tabla 10). El modelado cinético de los datos experimentales se realizó vía software SciDAVis (Free Software Foundation, Inc, 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA).

Tabla 10: Modelos utilizados para realizar el modelamiento matemático.

Modelo	Ecuación	Referencia
Modelo de Newton (Lewis)	13	(Junqueira et al., 2017)
Modelo de Page	14	(Junqueira et al., 2017)
Henderson-Pabis	15	(Pashazadeh et al., 2020)
Modelo logarítmico (asintótico)	16	(Aral & Beşe, 2016)
Modelo de Midilli modificado	17	(Bennamoun & Li, 2018)
Modelo de Hii.	18	(Bennamoun & Li, 2018)

Para determinar la mejor aproximación matemática de las curvas de secado se calcularon los valores de las ecuaciones 19, 20, 21 y 22. El objetivo de utilizar estos parámetros es seleccionar el modelo que tenga renga valores de R^2 altos y valores de χ^2 , RMSE y SSE bajos (Delfiya et al., 2022) utilizando las ecuaciones 22, 21, 20 y 19 correspondientemente.

3.10 TRATAMIENTO DE OZONO

Los ensayos de ozonización como pretratamiento se realizaron en una cámara de 40x40x25 cm³ de volumen de diseño experimental. El ozono se generó *in situ* utilizando un generador de ozono (VOSOCO220, VOSOCO, London, Inglaterra) el cual produce una concentración de 0,6 ppm constantes mediante descarga corona. Como se describió anteriormente, el generador de ozono entrega una concentración de 0,6 ppm (0,6 mg / m³), y se trabajó en dos tiempos de 30 y 60 minutos. Una vez ozonizadas las muestras se sometieron a secado inmediatamente bajo la metodología descrita de secado.



Figura 23: Imagen referencial del generador de ozono utilizado.

3.11 ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD

Se realizaron análisis físicos y químicos (color, microscopía, textura, % de rehidratación y microbiológicas) a las muestras de la Tabla 9.

3.12 ANÁLISIS DE COLOR

Se tomaron fotografías mediante cámara fotográfica, en un habitáculo experimental de 45x45 cm con iluminación uniforme, donde el análisis se realizó por software Medidor de Color Digital (Apple Inc, California, EE. UU) para obtener los parámetros CIE. El color se midió en 5 puntos distintos de la muestra en triplicado.

Una de las formas de caracterizar el color es mediante coordenadas numéricas CIE, donde estos parámetros de color corresponden a L^* , a^* , b^* . Esta metodología es un estándar a nivel internacional en cuanto a la medición de color y fue desarrollada por Internationale d'Eclairage (CIE) en 1976. El valor L^* corresponde al componente luminosidad tienen un rango de valor de 1 a 100 y se complementa de dos componentes cromáticos: a^* (color verde a rojo) y b^* (color azul a amarillo) ambos con magnitudes de valor que van del -120 al +120 (Castoldi et al., 2015), esto se puede apreciar en la Figura 24. ΔE es un valor que indica la magnitud de la diferencia de color entre muestras y se calcula con los parámetros antes mencionados mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (24)$$

Donde L_0 , a_0 y b_0 corresponden a los valores de muestra control, que en este caso le pertenecen a jibia fresca (Babić et al., 2009; Castoldi et al., 2015).

Todos los valores de L^* , a^* , b^* y ΔE fueron comparados estadísticamente para ver la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos.

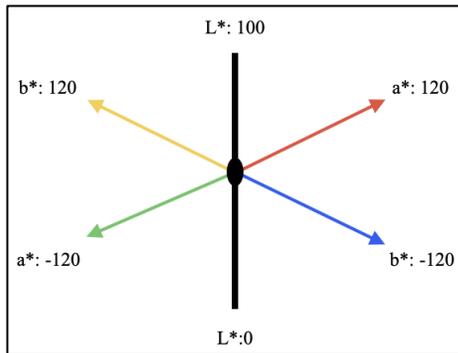


Figura 24: Grafica de color de espacio CIELaB.

3.13 ANÁLISIS DE MICROSCOPIA

El análisis de microscopía se realizó mediante microscopio binocular (DM500, Leica, Alemania). Esta metodología se aplicó a todas las muestras de la Tabla 9, las cuales se tuvieron que tratar mediante el siguiente procedimiento antes de ser observables mediante el equipo:

Se realizó una fijación en formalina tamponada al 10% durante 24 horas a temperatura ambiente. Posterior a esto se hizo una descalcificación en EDTA a un pH de 7,4 a una concentración de 0,1 molar por 48 horas a temperatura ambiente para ser lavadas en agua destilada. Luego, se deshidrató en concentraciones de alcoholes ascendentes durante 1 hora, para ser aclarado por xilol por 1 hora 30 minutos. Finalmente se procedió a la impregnación en parafina por 1 hora 30 minutos.

Una vez realizado este procedimiento preliminar, las muestras pudieron ser observadas en microscopio mediante objetivo PLAN 10X / 0.22 NA, 7.8 mm W.D el cual a través de una cámara integrada (ICC50 W, Leica, Alemania) se pudo capturar imágenes de forma digital (en cuadruplicado) para luego ser examinadas vía software

ImageJ (Institutos Nacionales de Salud de EE.UU, 2023). Mediante el software antes mencionado se procedió (a cada muestra) a hacer un histograma de color, el cual indica la cantidad de píxeles que le corresponden a un determinado tono en escala de grises de un área de una región en específico (0,1 x 0,1 mm) de la fotográfica de la muestra. Parar este caso se midieron los tonos en escala de grises (8 bits) correspondientes a valores de 150 al 256.

De esta forma se pudo comparar estadísticamente la rotura o el daño (porosidad) causado por los tratamientos (ver Tabla 9) en las muestras debido a que la rotura en la superficie se evidencia en una escala que va del color gris claro al blanco y el tejido no dañado o roto como tonalidades grises oscuras al negro, pudiéndose así cuantificar la cantidad de píxeles en tonalidad gris claro a blanco (150 a 256) en una zona específica de la imagen y así poder comparar entre tratamientos estadísticamente.

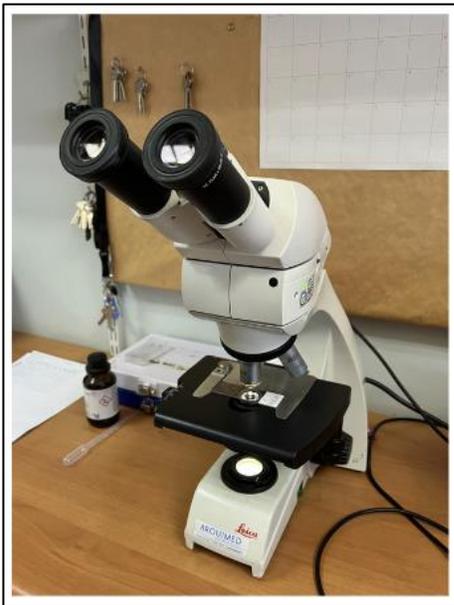


Figura 25: Microscopio binocular (DM500, Leica, Alemania) utilizado.

3.14 ANÁLISIS DE TEXTURA

Respecto a la textura, la fuerza máxima (N) se determinó utilizando un analizador de textura TA.XT PLUS (Stable Micro Systems Ltd, Anname SL, Inglaterra), usando el accesorio filo de cuchillo con inserto ranurado (HDP/BS) (Micro Systems Ltd, Anname SL, Inglaterra). El equipo midió la fuerza en compresión con una velocidad previa de 1,5 mm/s, una velocidad de corte de 2,0 mm/s, a una distancia de trabajo de 5 mm, con una fuerza de activación automática de 25 gramos y una tasa de adquisición de datos de 400 pps. Los valores obtenidos se procesaron mediante el software EXPONENT Stable Micro Systems (Stable Micro Systems Ltd, Anname SL, Inglaterra) y se entregaron como dureza medida en kilogramos fuerza.

La lectura de fuerza máxima (es decir el pico más alto del gráfico) se logró en el primer segundo de prueba, fracturándose en dos la muestra. Pasado este punto la fuerza disminuye sustancialmente a medida que la cuchilla continua su recorrido. Esta metodología se aplicó a todas las muestras del de la Tabla 9 y finalmente se compararon estadísticamente los resultados.



Figura 26: Texturometro TA.XT PLUS (Stable Micro Systems Ltd, Anname SL, Inglaterra).

3.15 REHIDRATACIÓN

Para determinar el porcentaje de rehidratación de la carne de jibia deshidratada, las muestras se rehidrataron en vasos precipitados con un litro de agua destilada en su interior a una temperatura entre 42-45 °C controlada a por un baño termorregulado. El cambio de peso de las muestras de calamar gigante se midió cada media hora en balanza analítica Ohaus, SP402 Scout-Pro, Pine Book, NJ, EE. UU.) con una precisión de $\pm 0,01$ g, previo a cada pesaje las muestras fueron secadas con papel absorbente. Esto se repitió hasta obtener un peso constante y el porcentaje de rehidratación (capacidad de rehidratación) se calculó utilizando la expresión de Babic' y col., 2009 (Babic' et al., 2009; Lopez-Quiroga et al., 2019). Posterior al tratamiento se analizaron estadísticamente las muestras para evidenciar diferencias.

$$\text{Porcentaje de Rehidratación} = \frac{W_r - W_1}{W_0 - W_1} \times 100 \quad (25)$$

Donde,

W_r : peso de la muestra rehidratada (g).

W_1 : peso de la muestra deshidratada (g).

W_0 : peso muestra fresca (g).

Diferentes autores han utilizado modelos empíricos para modelar el proceso de rehidratación, donde los modelos más utilizados son los que representan una mayor simplicidad y comodidad matemática (Benseddik et al., 2019; Moreira et al., 2008). Se utilizaron 2 modelos empíricos para describir el comportamiento cinético de rehidratación los cuales han sido ampliamente utilizado en materias primas alimenticias y los datos se trabajaron como capacidad de rehidratación (CR) (gramos agua absorbida / gramos de muestra deshidratada) (Benseddik et al., 2019; Lopez-Quiroga et al., 2019; Marín B. et al., 2006).

El modelo de Peleg (ecuación 26) radica en una ecuación de dos parámetros no exponencial la cual ha sido utilizada en la rehidratación de diferentes matrices alimenticias (Benseddik et al., 2019; Marín B. et al., 2006; Rojas & Augusto, 2018).

$$X_{wt} = X_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 \cdot t} \quad (26)$$

Donde X_{wt} es el contenido de agua en un determinado tiempo (g de agua/g materia seca) t es el tiempo en minutos, X_0 es el contenido inicial de agua (g de agua/g materia seca), k_1 es la constante de velocidad del modelo y k_2 es la constante de capacidad.

El modelo probabilístico de Weibull fue desarrollado por el Dr. Walodi Weibull para significar la distribución de la resistencia a la rotura de materiales, para luego describir el comportamiento de sistemas o eventos que contengan algún grado de variabilidad. Este modelo ha sido utilizado para evaluar la cinética de rehidratación de diversos productos alimenticios, desde cereales extruidos a zanahorias (Benseddik et al., 2019; García-Pascual et al., 2006; Lopez-Quiroga et al., 2019).

El modelo de Weibull esta descrito por dos parámetros, por el de escala α que está relacionado con el recíproco del proceso de velocidad de secado y el factor de forma representado por β (Lopez-Quiroga et al., 2019; Marín B. et al., 2006).

$$X_{wt} = X_e + (X_0 - X_e)e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (27)$$

Donde X_{wt} es el contenido de agua en un determinado tiempo (g de agua/g materia seca), X_e es el contenido de humedad del equilibrio, X_0 es el contenido de humedad inicial, t es el tiempo en minutos, α y β son constantes del modelo. El análisis estadístico para verificar los modelos será equivalente al apartado 3.9.



Figura 27: Proceso de rehidratación.

3.16 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Los análisis microbiológicos se realizaron con el objetivo de hacer el recuento en placa específico para 3 grupos de microorganismos, los cuales son: Aerobios mesófilos, Enterobacterias y *Staphylococcus aureus*.

Para el recuento de microorganismos aerobios mesófilos, fue mediante método tradicional de cultivo AOAC Official Method 966.23.C. Se debió pesar a lo menos $10 \pm 0,1$ g de muestra de jibia en una bolsa estéril (manteniendo una relación aproximada de 1:10 con el diluyente Agua de peptona 0,1%) y se homogenizó durante 1 minuto en el equipo Stomacher. Luego se realizaron diluciones seriadas en Agua de Peptona 0,1 % y se sembrará en profundidad 1 mL en la placa Petri por duplicado, y se agregó por vertido el agar para recuento en placa (APC). Las placas se invirtieron e incubaron a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) por 48 horas. El cálculo y expresión de resultados se realizó por conteo en placa y se informó el resultado como UFC/g.

Para el recuento de enterobacterias se rigió según la metodología de la norma ISO 21528-2:2017. Se prepararon diluciones decimales de las muestras y se sembraron de la misma forma que el medio anterior en agar VRBG con doble capa (tras la solidificación, se añadió una nueva capa con 5-10 mL de VRBG agar) y se incubó por

24 horas a 37 °C. Para el recuento y confirmación, las colonias características fueron rosa-rojo o púrpura con o sin halo de precipitación. Finalmente, el cálculo y expresión de resultados se realizó por conteo en placa y se informó el resultado como UFC/g.

Finalmente, el recuento en placa de *Staphylococcus aureus* las diluciones se sembraron en superficie (0,1 mL por duplicado) en placas de agar Baird Parker, mediante extensión en superficie con espátula de Drigalsky y se incubaron a 37 °C (± 1 °C) por 48 horas. Una vez cumplido el tiempo se examinaron las placas para ver la presencia de colonias sospechosas. El cálculo y expresión de resultados se expresó mediante el número de unidades formadoras de colonias por gramo.

Esta metodología se realizó para todas las muestras de la Tabla 9 exceptuando el recuento de *Staphylococcus aureus* para muestras deshidratadas, donde para realizar el análisis se hizo respecto a la norma chilena 2675 (NCh2675).

3.17 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los análisis de varianza (ANOVA) se realizaron para todos los análisis utilizando el paquete estadístico StatPlus (AnalystSoft Inc, 901 N Pitt St UNIT 325, Alexandria, VA 22314, EE. UU). Los análisis de correlación de Pearson y la comparación de medias se analizaron de acuerdo con la prueba de Fisher LSD con un nivel de significancia $P < 0,05$.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE CINÉTICA DE SECADO

Las figuras 26, 27 y 28 representan curvas de secado por diferente tiempo de exposición de ozono a una misma temperatura correspondientes a 60, 70 y 80 °C.

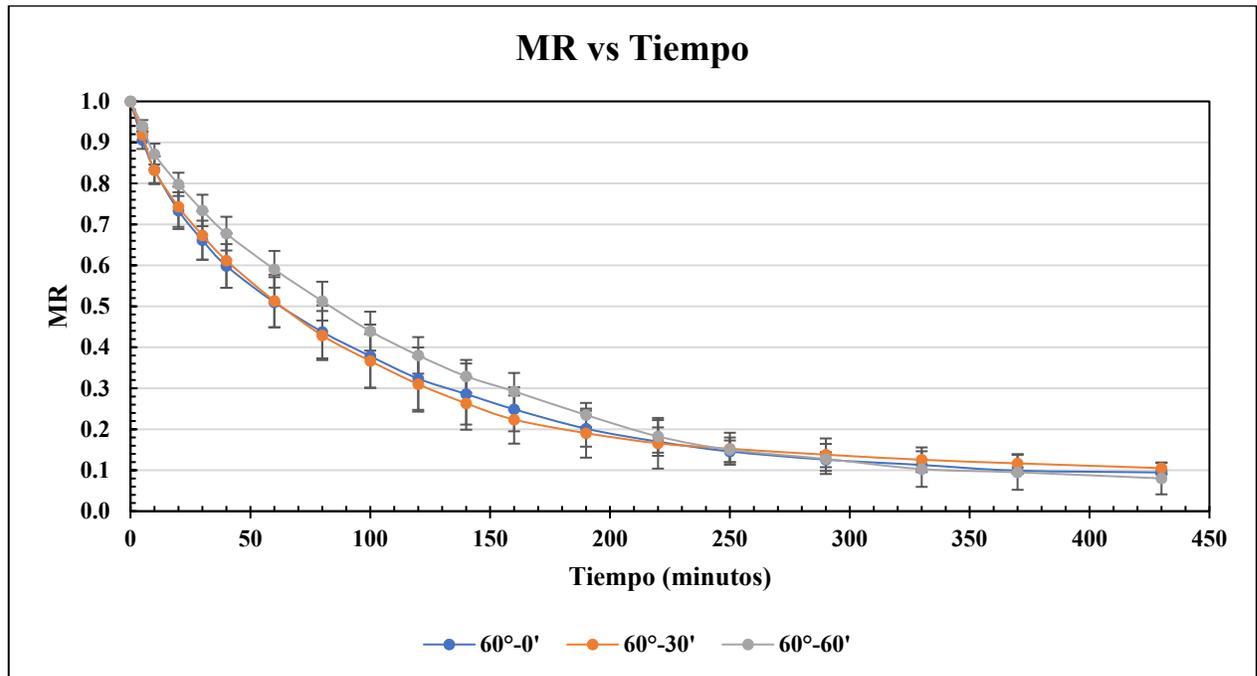


Figura 28: Curvas de secado de los procesos a 60 °C.

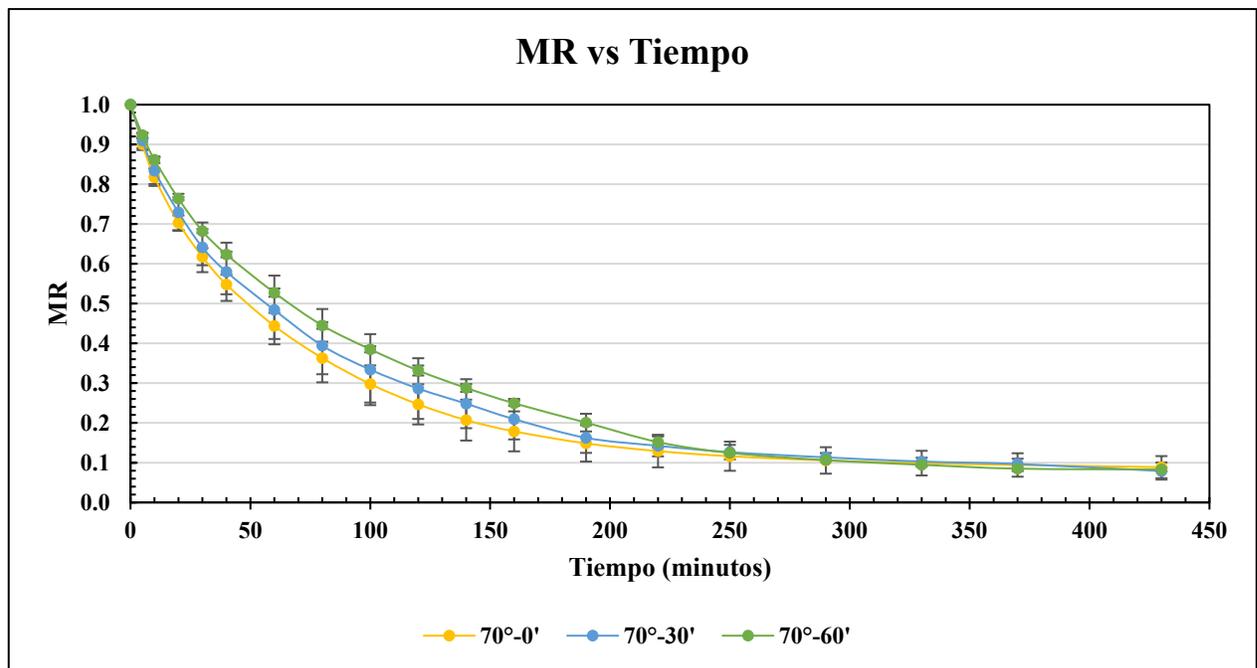


Figura 29: Curvas de secado de los procesos a 70 °C.

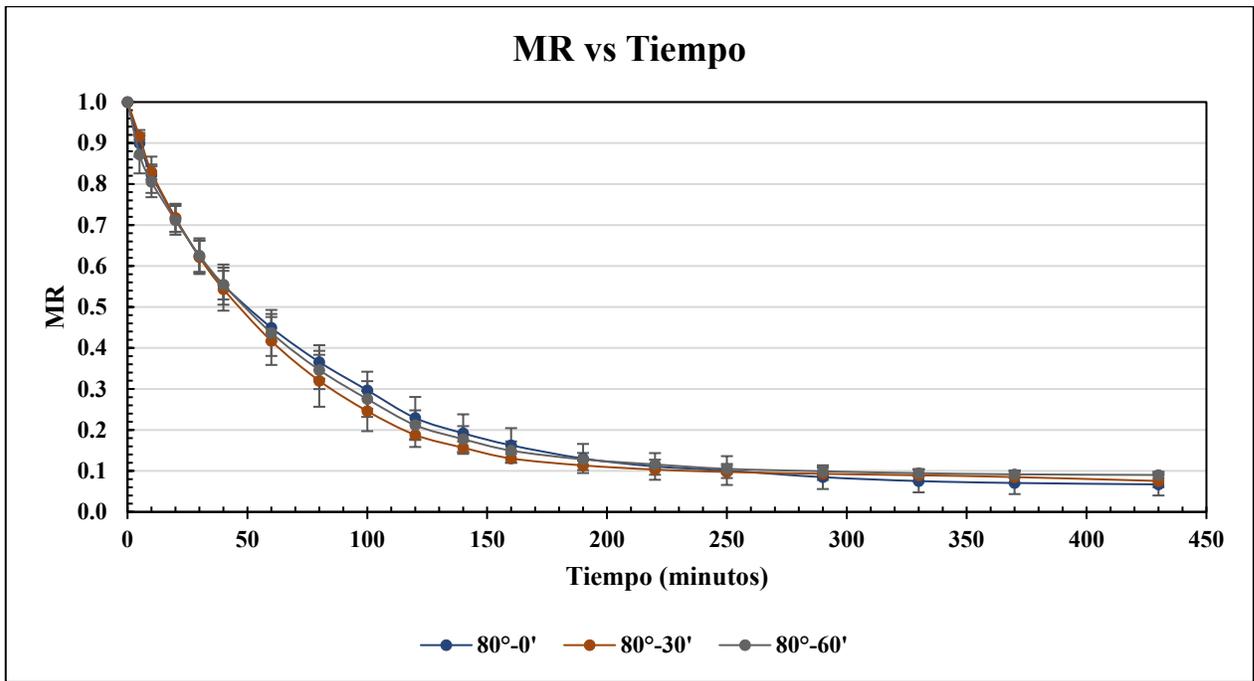


Figura 30: Curvas de secado de los procesos a 80 °C.

Las figuras 31, 32 y 33 representan curvas de secado por diferentes temperaturas de secado para un mismo tiempo de exposición de ozono correspondientes a 0, 30 y 60 minutos.

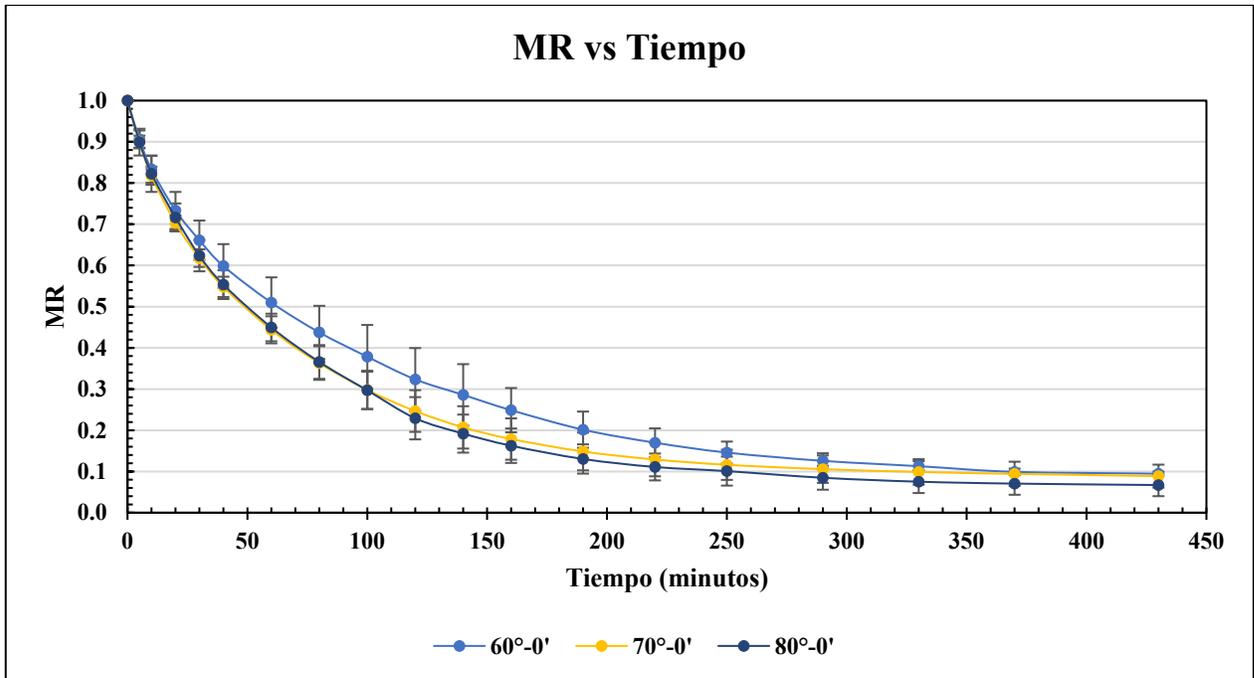


Figura 31: Curvas de secado sin tratamiento de ozono.

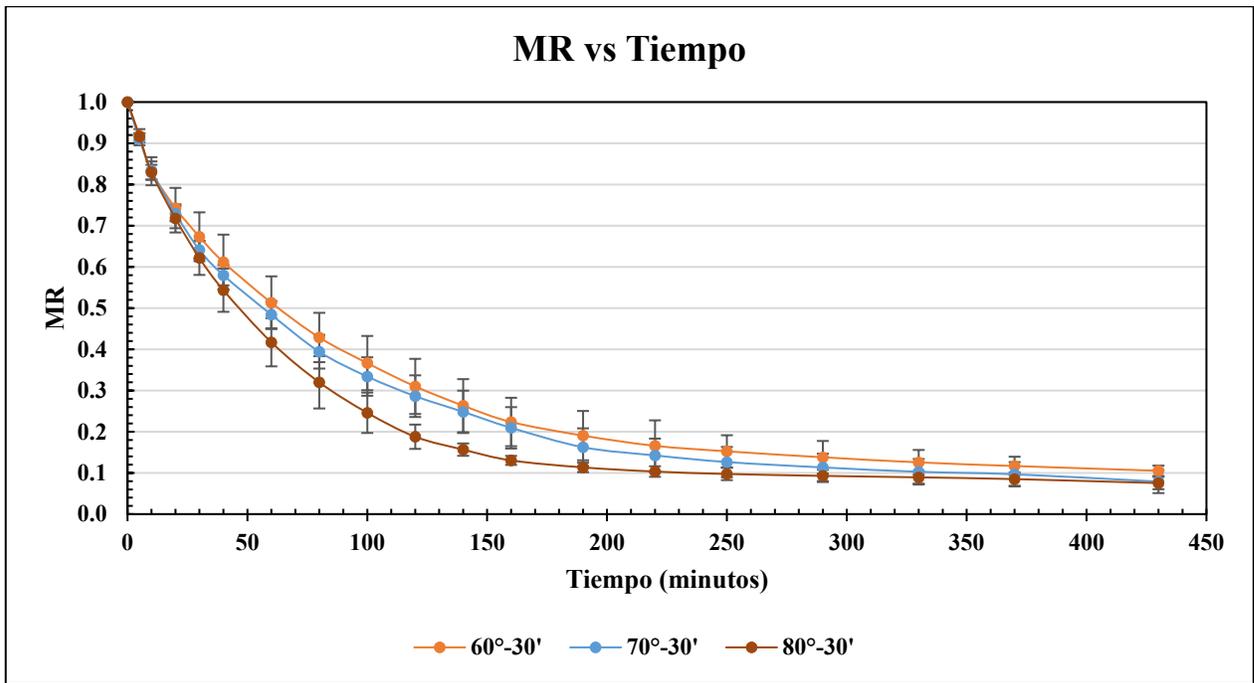


Figura 32: Curvas de secado con 30 minutos de tratamiento de ozono.

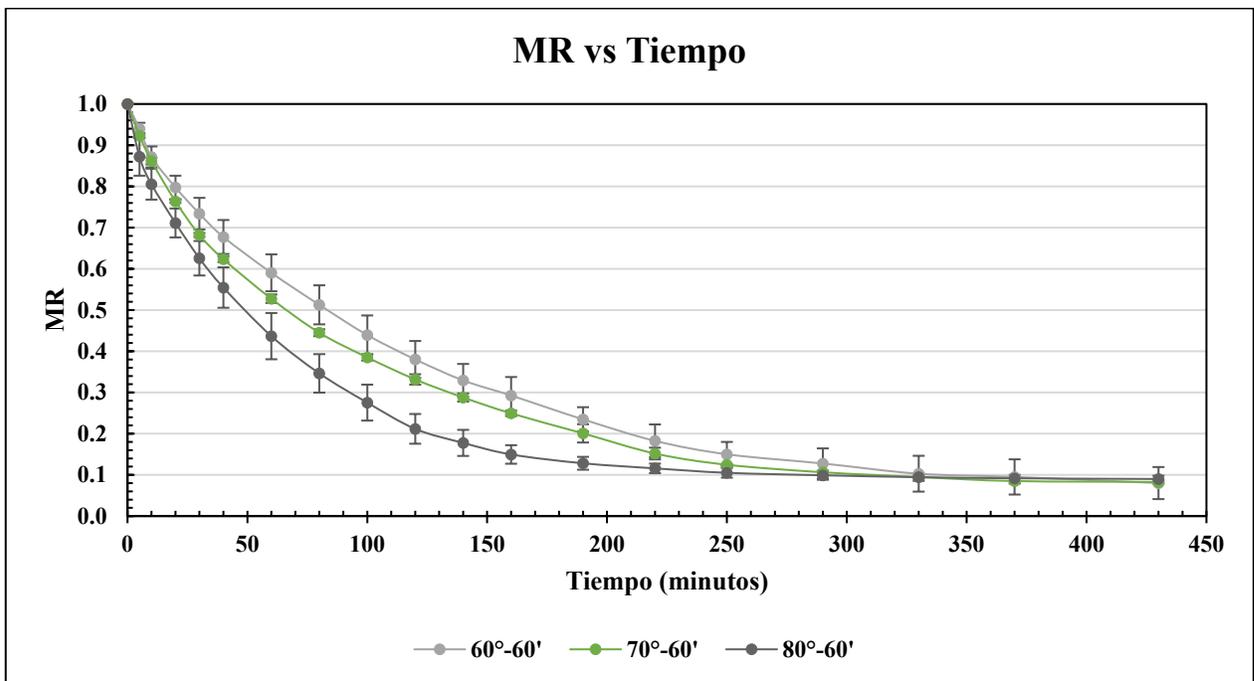


Figura 33: Curvas de secado con 60 minutos de tratamiento de ozono.

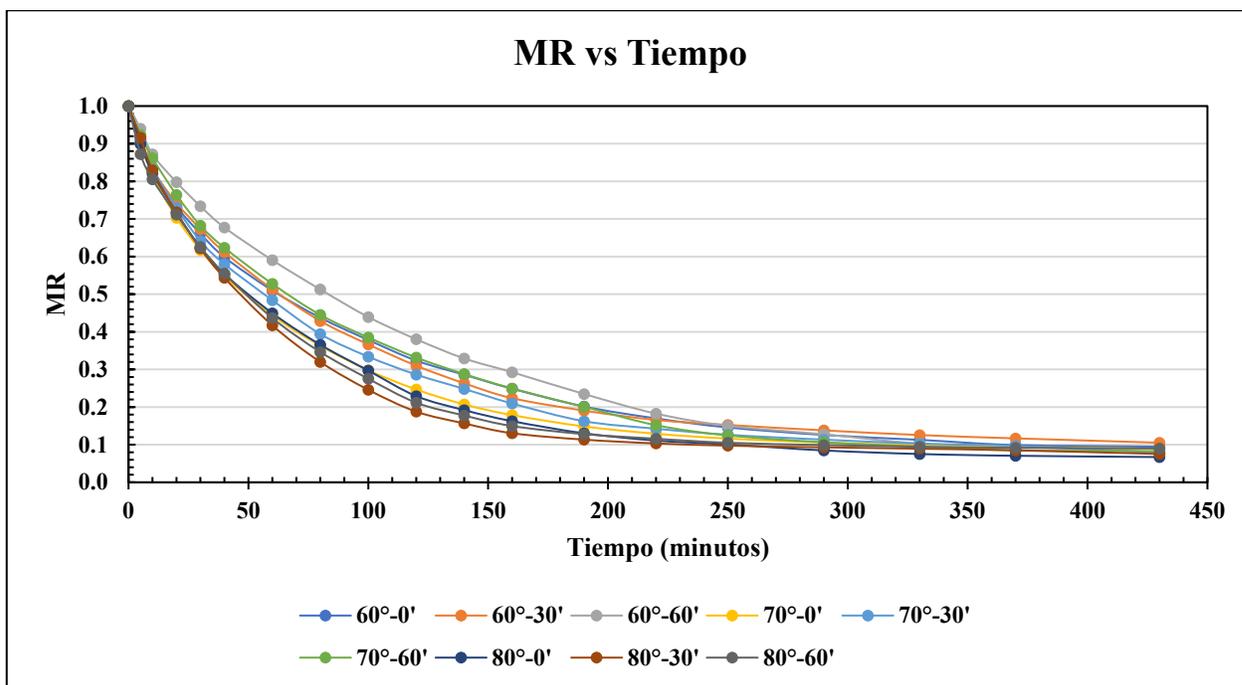


Figura 34: Curvas de secado de todos los procesos de secado de jibia.

Tabla 11: Razón de humedad a 430 minutos de tratamiento.

MR FINAL SECADO (ADIMENSIONAL)				
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Temperatura °C		
		60	70	80
200	0	0,095 ± 0,005 ^{Aa}	0,089 ± 0,028 ^{Aa}	0,067 ± 0,027 ^{Aa}
	30	0,105 ± 0,012 ^{Aa}	0,079 ± 0,021 ^{Aa}	0,075 ± 0,015 ^{Aa}
	60	0,080 ± 0,039 ^{Aa}	0,083 ± 0,005 ^{Aa}	0,090 ± 0,008 ^{Aa}

Nota: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con las letras en superíndice: letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de ozono a una misma temperatura (misma columna) y letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a diferentes temperaturas a un tiempo de exposición de ozono igual (misma fila) ($p < 0,05$)

Respecto a las figuras de curvas de secado por diferente tiempo de exposición de ozono, en la Figura 29 la cual corresponde procesos a 70 °C, se puede dar evidencia como el aumento de tiempo de exposición de ozono afecto la disminución del contenido de humedad (MR) haciendo más lento proceso al menos en la etapa de velocidad constante. En la Figura 28 a 60 °C se puede observar como un mayor tiempo de tratamiento, causo una disminución más lenta del contenido de humedad en la zona de velocidad constante sin embargo esto no ocurrió tiempos de exposición de 0 y 30 minutos.

En la Figura 30, la cual muestra el proceso a mayor temperatura, no ocurrió la correlación anteriormente mencionada donde un mayor tiempo de exposición disminuye la velocidad de secado; sin embargo, si se compara entre los tiempos de 60 y 30 minutos, la curva de 60 minutos si fue más lenta que la de 30 minutos en la zona de velocidad constante.

Si observamos el proceso desde la perspectiva de la temperatura como variable, como se observa en las figuras 31, 32 y 33. Podemos ver como la disminución de humedad se hace más notoria al aumentar la temperatura del proceso, independiente del tiempo de exposición de ozono, esto se debe a que a una mayor temperatura se produce una mayor evaporación de agua desde la superficie (Jéssica et al., 2013) y deja expuesto que independiente del tiempo de tratamiento de ozono, una mayor temperatura traerá consigo una variación de humedad mayor respecto al tiempo en la zona de velocidad constante. La influencia de la luz infrarroja del proceso radica en la capacidad de esta en aumentar la transferencia de masa y favoreciendo el movimiento de humedad hacia la superficie (El-Mesery & Mwithiga, 2015).

Se puede apreciar en la Figura 34 como todas las figuras de curvas de los nueve procesos se rigen por una forma o geometría de curva del tipo convexa y decreciente, tal como se observó en la Figura 13, pudiéndose observar las regiones correspondientes de calentamiento rápido del producto, periodo de velocidad contante y periodo de velocidad decreciente (Onwude et al., 2016). Observándose en la totalidad de figuras de curva secado predomina la fase de velocidad constante, esto quiere decir que el mecanismo dominante de transferencia de masa es la evaporación desde la superficie de las muestras de jibia y la difusión desde el interior (Kerr, 2019).

En la tabla número 11 podemos dar cuenta de las humedades finales al cabo de 430 minutos de secado expresadas como razón de humedad donde para grupo de muestras que fue tratada con 0 minutos de tratamiento de ozono, los valores de MR oscilan entre 0,095 a 0,067. Para el grupo tratado por 30 minutos de ozono los valores rondaron entre 0,105 a 0,075 y finalmente el grupo tratado por 60 minutos previos de

ozonización sus valores de MR fluctuaron entre 0,080 y 0,090. Es importante destacar que la totalidad de tratamientos al cabo de 330 minutos de secado no presentaban diferencias significativas entre ellos respecto a su MR ni con tiempos posteriores de secado, dicho en otras palabras, todos los procesos llegan a su humedad final estadísticamente hablando al cabo de 330 minutos. Para más detalles respecto de los valores numéricos revisar anexo 17.

Al ver estos valores se puede apreciar cómo (ver filas) al aumentar la temperatura de trabajo manteniendo constante el tiempo de ozono, se logran menores valores de MR al cabo de 430 minutos. Esto es de esperar debido a que una mayor temperatura de trabajo genera un aumento en la presión de vapor del agua obligando a una mayor apertura de poros de las muestras, de esta forma aumentando la velocidad de secado y logrando humedades más bajas (Delfiya et al., 2022; Ling et al., 2017).

Sin embargo, esta disminución en el valor final de MR entre muestras no es significativo estadísticamente para ningún tratamiento (ver Tabla 11), esto indica que independiente de las condiciones de trabajo, se llegaron a valores de razón de humedad finales similares al llegar a los 430 minutos, esto no quiere decir que la velocidad de secado en la zona constata sean iguales, se demostró anteriormente (ver Figura 34) como los tratamientos si afectaban la velocidad de secado en la zona antes dicha.

Este comportamiento el cual describe tazas de secado mayores al comienzo del proceso y luego una disminución proporcional para todos los procesos puede ser explicado debido al rápido calentamiento de las muestras y su gran contenido de humedad el cual va disminuyendo a medida que el producto se va secando. Esta deshidratación causa una reducción en la penetración del calor a través de la carne de jibia, también existe una disminución en la porosidad de esta, debido a la contracción y encostramiento de las muestras de jibia, la cual genera una resistencia al movimiento de la humedad, resultando así una disminución de la velocidad de secado en las etapas posteriores (Delfiya et al., 2022).

El encostramiento causante del solapamiento de curvas en la parte final del secado fue reportado por Vega-Gálvez en el año 2011 trabajando en el secado de jibia (Vega-Gálvez, Miranda, et al., 2011), por Bellagha en secado de sardina (Bellagha et al., 2007) y por Mujaffar en filetes de tiburón (Mujaffar & Sankat, 2005) donde los autores antes mencionados atribuían la superposición de las curvas en el tramo final del secado al argumento anterior.

Para finalizar este apartado, respecto a la actividad de agua, esta se pudo medir solo para las muestras deshidratadas sin tratamiento de ozono mediante equipo AQUALAB 4TE (Meter Group Inc USA, 2365 ne hopkins court pullman USA). Donde los valores fueron de $0,48\pm 0,03$ – $0,47\pm 0,01$ – $0,46\pm 0,03$ para 60, 70 y 80 °C respectivamente.

En una investigación realizada en el 2007 por Fu y sus colaboradores sobre el efecto en las etapas del procesamiento en las propiedades fisicoquímicas de calmar seco sazonado, procesando la jibia por diferentes etapas como ebullición (90-95 °C), secado en dos etapas (40-45 °C y 45-50 °C) y tostado (110-120 °C) entre otros. En el producto terminado, reportaron una actividad de agua de $0,64\pm 0,01$ (Fu et al., 2007). Los valores obtenidos en este estudio fueron menores a los mencionados en el experimento de Fu, esto puede ser debido al largo tiempo de secado y temperaturas mayores de deshidratación que fueron tratadas las muestras de jibia en comparación al reporte bibliográfico.

Por otra parte, Cantalejo y su grupo de trabajo midieron el efecto combinado del ozono gaseoso y la liofilización en la vida útil de la carne de pollo. En donde encontraron que las muestras de ozono aumentaban su actividad de agua de forma significativa de $0,131\pm 0,002$ para muestra deshidratada sin ozono a $0,268\pm 0,009$ para una muestra homologa pretratada con ozono (Cantalejo et al., 2016). Estos valores bajos de actividad de agua fueron justificados por la liofilización según los autores. Por lo que se podría suponer que los valores de actividad de agua para las muestras de jibia de esta investigación podrían ser de un valor más alto que las muestras deshidratadas

sin pretratamiento de ozono. Es importante mencionar que el valor de actividad de agua 0,6 se considera como límite de crecimiento microbiano (Barreiro & Sandoval, 2006; Cantalejo et al., 2016).

4.2 ANÁLISIS DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA (D_{eff})

Tabla 12: Valores de difusividad efectiva para todos los tratamientos.

DIFUSIVIDAD EFECTIVA (m^2s^{-1}) X 10^{-10}				
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Temperatura		
		60	70	80
200	0	$3,22 \pm 0,37$ ^{ABa}	$3,81 \pm 0,70$ ^{Aa}	$3,96 \pm 0,39$ ^{ABa}
	30	$3,58 \pm 0,55$ ^{Ba}	$4,01 \pm 1,0$ ^{Aab}	$4,28 \pm 0,28$ ^{Bb}
	60	$2,08 \pm 0,39$ ^{Aa}	$2,35 \pm 0,48$ ^{Ba}	$2,83 \pm 0,16$ ^{Aa}

Nota: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con las letras en superíndice: letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de ozono a una misma temperatura (misma columna) y letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a diferentes temperaturas a un tiempo de exposición de ozono igual (misma fila) ($p < 0,05$)

Se puede observar en la Tabla 12 como los valores de difusividad efectiva para las muestras sin tratamiento de ozono varían entre 3,22 a 3,96 x 10^{-10} m^2s^{-1} . Para 30 minutos de ozono van de 3,58 a 4,28 x 10^{-10} m^2s^{-1} y para 60 minutos de pretratamiento los valores rondan entre 2,08 a 2,83 x 10^{-10} m^2s^{-1} . Se encontró que los productos alimenticios en general (animal y vegetal) tienen valores de difusividad en rangos de 10^{-10} y 10^{-9} m^2s^{-1} (Delfiya et al., 2022). Resultados similares a los informados por Panagiotou y sus colaboradores (Panagiotou et al., 2007). Vega-Gálvez reporto valores menores para difusividad en secado de jibia (Vega-Gálvez, Miranda, et al., 2011), por otro lado, Uribe en 2011 reporto valores similares a los obtenidos en este trabajo (Uribe et al., 2011). En general, los valores obtenidos en todos los experimentos son congruentes con los informados en la literatura. Bechlin y sus colaboradores reportaron un aumento de la difusividad al aumentar la concentración de ozono como pretratamiento para una misma temperatura de secado en el secado (40 – 60 °C) de cascara de naranja en combinación con ozonificación (4 – 40 $\mu g L^{-1}$) (Bechlin et al., 2020).

Si comparamos como como cambia la difusividad al aumentar la temperatura de secado (ver filas Tabla 12), podemos dar cuenta como al aumentar esta variable, los valores de difusividad aumentan en todos los casos yendo de 3,22 a 3,96 $10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ para 0 minutos de tratamiento de ozono, de forma significativa cuando se trabajó con 30 minutos de pretratamiento de ozono gaseoso donde los valores de difusividad fueron de 3,58 a 4,28 $\times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a una temperatura de 80 °C y con 60 minutos de ozono las difusividades rondaron entre 2,08 y 2,83 $\times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$.

El hecho de que la difusividad aumente al incrementar la temperatura del proceso, está asociado directamente al aumento de esta (valga la redundancia) y al constante asistimiento de la luz infrarroja (200W), donde estas tecnologías combinadas generan una mayor vibración molecular, una mayor rotación y un aumento en los estados electrónicos de los átomos lo que conduce a un aumento de la temperatura y presión de vapor de las muestras aumentando la difusión de la humedad hacia la superficie (Delfiya et al., 2022; Muga et al., 2021; Taghinezhad et al., 2021).

Si hacemos la comparación desde la perspectiva del tiempo de exposición dejando constante la temperatura de trabajo (ver columnas Tabla 12), podemos ver como aumenta la difusividad al aumentar de 0 minutos a 30 el tiempo de exposición de ozono en todas las temperaturas de trabajo donde para 60 °C los valores van de 3,22 a 3,58 m^2s^{-1} . Para 70° la difusividad aumento de 3,81 a 4,01 m^2s^{-1} y finalmente para 80 °C este factor aumento de 3,96 a 4,28 m^2s^{-1} .

Siguiendo el argumento anterior, se puede apreciar como la difusividad aumenta al aplicar 30 minutos de ozono en todos los tratamientos en comparación a los que no tienen ozonificación (ver columnas Tabla 12) pese a que este efecto no fue significativo estadísticamente para la totalidad de los tratamientos, si numéricamente existió un aumento de la difusividad, este fenómeno fue descrito con anterioridad por Bechlin y sus colaboradores en el año 2020 donde evidenciaron que la degradación de la pared celular (cascara de naranja, trigo, maíz y soja) depende de la concentración, flujo y tiempo de aplicación. Controlando las variables antemencionadas, esta degradación

de la pared celular facilita la difusión de humedad (Bechlin et al., 2020). Es por esto por lo que se puede asociar la aplicación de ozono de 30 minutos el aumento de la difusividad efectiva en las muestras a diferentes temperaturas.

La difusividad para las muestras que tuvieron 60 minutos de pretratamiento con ozono disminuyeron de forma significativa en las 3 temperaturas de trabajo. Este decaimiento significativo de la difusividad puede ser causado debido a que la generación de ozono mediante efecto corona se produce una gran pérdida de energía la cual se disipa en forma de luz, sonido y sobre todo calor, dentro del 90% de la energía suministrada al equipo se disipa en las formas antes mencionadas (Kitsuka et al., 2009; Zambelli, 2023).

El calor previo generado durante la ozonización por 60 minutos probablemente afecto la humedad inicial de las muestras, causando que estas tuviesen una humedad menor a la hora de pasar por el proceso de secado, producto del calor generado en la etapa previa de ozono, causando valores de difusividad significativamente más bajos. Como se dijo anteriormente, la generación de ozono por efecto corona provoca una gran cantidad de calor si se usa por tiempos prolongados, causando eventualmente una deshidratación previa de las muestras, trayendo de esta forma un valor de difusividad menor posterior al secado del producto.

4.3 ANÁLISIS DE ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

Tabla 13: Valores de energía de activación para los tratamientos.

ENERGÍA DE ACTIVACIÓN (kJ/mol)		
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	E_a (kJ/mol)
200	0	10,18
	30	8,83
	60	15,02

Respecto a la energía de activación, podemos ver en la Tabla 13 que esta va desde los 10,18 kJ/mol ($R^2=0,899$) para el tratamiento de 0 minutos ozono, 8,87 kJ/mol ($r^2=0,959$)

para las muestras por 30 minutos de tratamiento y finalmente 15,02 kJ/mol ($R^2=0,983$) para 60 minutos de ozono previo.

Como se dijo anteriormente, la energía de activación es una forma de relacionar como la temperatura afecta la difusividad (Delfiya et al., 2022). Se puede ver como el mayor valor de energía de activación fue para el tratamiento de 30 minutos de ozono, quedando así en evidencia una mayor sensibilidad a la temperatura de este, ya que valores más altos de energía de activación corresponde a una mayor sensibilidad de la difusividad a la temperatura (Delfiya et al., 2022) los cuales van relaciones al valor bajo de energía de activación. Esto se puede contrastar con la Tabla 12, donde el tratamiento de 30 minutos de ozono (ver fila) genera una mayor dependencia con la temperatura, demostrando que los valores de difusividad efectiva aumentan significativamente al aumentar la temperatura. Este comportamiento que provoca la aplicación de ozono, en donde aumenta la difusividad efectiva de la humedad fue descrito por Bechlin y sus colaboradores en el año 2020 en diversos alimentos (Bechlin et al., 2020) entre 4 a 40 $\mu\text{g l}^{-1}$ de concentración.

Los valores obtenidos de energía de activación son menores a los reportados por Vega-Gálvez y sus colaboradores (Vega-Gálvez, Miranda, et al., 2011) para secado de jibia por aire convectivo el cual obtuvo valores de 28,93 kJ/mol y son mayores a los reportados por Lemus y sus colaboradores en 2018 en el secado de Abalón con pretratamiento osmótico donde obtuvieron valores de 5,48 kJ/mol (Lemus-Mondaca et al., 2018). En general los productos alimenticios tienen valores de energía de activación que rondan en un 85% entre 12,32 y 82,93 kJ/mol, según una revisión bibliográfica sobre el secado de alimentos en capa fina realizada por Erbay e Icier en 2010 donde revisaron la teoría, modelado y resultados experimentales (Erbay & Icier, 2010).

Las diferencias de los valores respecto a la bibliografía pueden ser consecuencia de la diferencia de especies, temperaturas de trabajo, tipo de musculo utilizado (en caso de

materia prima animal), contenido de macronutrientes y la presencia o ausencia de piel (Lemus-Mondaca et al., 2018).

4.4 MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LAS CURVAS DE SECADO

Tabla 14: Valores de modelamiento cinético de deshidratación completo.

Modelo	Parámetro	60 °C	60 °C / 30' O3	60 °C / 60' O3	70 °C	70 °C / 30' O3	70 °C / 60' O3	80 °C	80 °C / 30' O3	80 °C / 60' O3
Henderson-Pabis	a	1,0095 +/- 0,0001 ^a	1,0072 +/- 0,0002 ^b	0,99410 +/- 7e-05 ^c	1,02306 +/- 0,0005 ^d	1,02795 +/- 0,0005 ^c	1,0238 +/- 0,0003 ^d	1,01315 +/- 0,0003 ^f	1,027 +/- 0,001 ^c	1,01188 +/- 0,0008 ^f
	k	0,03893 +/- 3e-05 ^a	0,03168 +/- 4e-05 ^b	0,01613 +/- 1e-05 ^c	0,0490 +/- 0,0002 ^d	0,0502 +/- 0,0002 ^e	0,03857 +/- 9e-05 ^a	0,03793 +/- 9e-05 ^f	0,0388 +/- 0,0003 ^a	0,0437 +/- 0,0003 ^e
	n	0,7021 +/- 0,0002 ^a	0,7531 +/- 0,0003 ^b	0,8563 +/- 0,0002 ^c	0,6919 +/- 0,0007 ^d	0,6631 +/- 0,0007 ^e	0,6964 +/- 0,0004 ^f	0,7523 +/- 0,0005 ^b	0,766 +/- 0,002 ^e	0,725 +/- 0,001 ^h
	χ^2	0,00191	0,00303	0,00157	0,00832	0,00911	0,00551	0,00538	0,01741	0,01414
	R ²	0,99966	0,99937	0,99972	0,99806	0,99804	0,99892	0,99875	0,99586	0,99661
	SSE	0,00010	0,00016	0,00012	0,00044	0,00048	0,00029	0,00028	0,00092	0,00074
	RMSE	0,01002	0,01263	0,01002	0,02093	0,02190	0,01703	0,01683	0,03027	0,02728
Modelo	Parámetro	60 °C	60 °C / 30' O3	60 °C / 60' O3	70 °C	70 °C / 30' O3	70 °C / 60' O3	80 °C	80 °C / 30' O3	80 °C / 60' O3
Hii	a	1,00174 +/- 2e-05 ^a	0,99616 +/- 7e-05 ^b	0,99188 +/- 9e-05 ^c	0,97021 +/- 7e-05 ^d	0,8966 +/- 0,0002 ^e	0,1286 +/- 0,0004 ^f	0,01262 +/- 8e-05 ^g	0,0633 +/- 0,0002 ^h	0,0237 +/- 0,0002 ⁱ
	k1	0,033782 +/- 8e-06 ^a	0,02599 +/- 2e-05 ^b	0,01547 +/- 2e-05 ^c	0,031849 +/- 7e-06 ^d	0,02946603 +/- 8e-06 ^e	0,00174 +/- 1e-05 ^f	(-)0,00967 +/- 5e-05 ^g	(-)0,000780 +/- 9e-06 ^h	(-)0,00680 +/- 7e-05 ⁱ
	b	0,000181 +/- 2e-06 ^a	0,00112 +/- 2e-05 ^b	0,0000106 +/- 8e-07 ^a	0,030646 +/- 6e-05 ^c	0,1036 +/- 0,0002 ^d	0,8718 +/- 0,0004 ^e	0,98451 +/- 9e-05 ^f	0,9309 +/- 0,0002 ^g	0,9595 +/- 0,0003 ^h
	k2	(-)0,0631 +/- 0,0001 ^a	(-)0,0292 +/- 0,0002 ^b	(-)0,0419 +/- 0,0004 ^c	0,02946603 +/- 8e-06 ^d	0,00014 +/- 1e-05 ^e	0,024484 +/- 9e-06 ^f	0,02763 +/- 1e-05 ^g	0,01913 +/- 1e-05 ^h	0,02490 +/- 4e-05 ^f
	n	0,73420 +/- 5e-05 ^a	0,7989 +/- 0,0002 ^b	0,8645 +/- 0,0002 ^c	0,811976 +/- 6e-05 ^d	0,83180 +/- 9e-05 ^e	0,8459 +/- 0,0001 ^f	0,8353 +/- 0,0001 ^g	0,9677 +/- 0,0002 ^h	0,8715 +/- 0,0004 ⁱ
	χ^2	0,00035	0,00093	0,00146	0,00029	0,00036	0,00046	0,00066	0,00093	0,002
	R ²	0,99993	0,99981	0,99974	0,999933	0,99992	0,99991	0,99985	0,99978	0,99952
SSE	0,00002	0,00005	0,00008	0,00015	0,00002	0,00002	0,00003	0,00005	0,00011	
RMSE	0,00428	0,00698	0,00878	0,003899	0,00435	0,00492	0,00590	0,00700	0,01026	
Modelo	Parámetro	60 °C	60 °C / 30' O3	60 °C / 60' O3	70 °C	70 °C / 30' O3	70 °C / 60' O3	80 °C	80 °C / 30' O3	80 °C / 60' O3
Newton	k	0,00960 +/- 3e-05 ^a	0,01003 +/- 2e-05 ^b	0,008078 +/- 8e-06 ^c	0,01227 +/- 4e-05 ^d	0,01052 +/- 5e-05 ^e	0,00901 +/- 3e-05 ^f	0,01258 +/- 3e-05 ^g	0,01391 +/- 3e-05 ^h	0,01307 +/- 4e-05 ⁱ
	χ^2	0,06353	0,04158	0,01898	0,06382	0,08212	0,06414	0,03898	0,03977	0,05511
	R ²	0,98684	0,99136	0,99659	0,98515	0,98231	0,98741	0,99093	0,99053	0,98680
	SSE	0,00334	0,00219	0,00100	0,00336	0,00432	0,00338	0,00205	0,00209	0,00290
	RMSE	0,05783	0,04678	0,01026	0,05796	0,06574	0,05810	0,04530	0,04575	0,05386
Modelo	Parámetro	60 °C	60 °C / 30' O3	60 °C / 60' O3	70 °C	70 °C / 30' O3	70 °C / 60' O3	80 °C	80 °C / 30' O3	80 °C / 60' O3
Logarítmico	a	0,8405 +/- 0,0004 ^a	0,8725 +/- 0,0002 ^b	0,9064 +/- 0,0002 ^c	0,8601 +/- 0,0002 ^d	0,8355 +/- 0,0002 ^e	0,8404 +/- 0,0002 ^a	0,8876 +/- 0,0002 ^g	0,90774 +/- 4e-05 ^h	0,8704 +/- 0,0001 ⁱ
	k	0,01177 +/- 1e-05 ^a	0,011764 +/- 9e-06 ^a	0,008898 +/- 5e-06 ^b	0,015506 +/- 9e-06 ^c	0,014464830 +/- 9e-06 ^d	0,012178 +/- 7e-06 ^e	0,014653 +/- 7e-06 ^f	0,017155 +/- 2e-06 ^g	0,015878 +/- 7e-06 ^h
	c	0,1027 +/- 0,0003 ^a	0,0824 +/- 0,0002 ^b	0,0597 +/- 0,0002 ^c	0,0997 +/- 0,0001 ^d	0,1264 +/- 0,0001 ^e	0,1251 +/- 0,0001 ^f	0,0740 +/- 0,0001 ^g	0,08109 +/- 3e-05 ^h	0,08876 +/- 9e-05 ⁱ
	χ^2	0,00859	0,00534	0,00366	0,00449	0,00449	0,00415	0,00376	0,00103	0,00346
	R ²	0,99822	0,99890	0,99934	0,99895	0,99903	0,99919	0,99912	0,99975	0,99917
	SSE	0,00045	0,00028	0,00019	0,00024	0,00024	0,00022	0,00020	0,00005	0,00018
RMSE	0,02127	0,01677	0,01389	0,01538	0,01538	0,01477	0,01407	0,00736	0,01350	
Modelo	Parámetro	60 °C	60 °C / 30' O3	60 °C / 60' O3	70 °C	70 °C / 30' O3	70 °C / 60' O3	80 °C	80 °C / 30' O3	80 °C / 60' O3
Midilli Modificado	a	0,8407 +/- 0,0004 ^a	0,8725 +/- 0,0002 ^b	0,9064 +/- 0,0002 ^c	0,8601 +/- 0,0002 ^d	0,8355 +/- 0,0002 ^e	0,8404 +/- 0,0002 ^a	0,8876 +/- 0,0002 ^f	0,90775 +/- 4e-05 ^g	0,87039 +/- 0,0001 ^h
	k	0,01177 +/- 1e-05 ^a	0,011764 +/- 9e-06 ^a	0,008898 +/- 5e-06 ^b	0,015506 +/- 9e-06 ^c	0,014465 +/- 9e-06 ^d	0,012178 +/- 7e-06 ^e	0,014653 +/- 7e-06 ^f	0,017155 +/- 2e-06 ^g	0,015878 +/- 7e-06 ^h
	b	0,1026 +/- 0,0003 ^a	0,0824 +/- 0,0002 ^b	0,0597 +/- 0,0002 ^c	0,0997 +/- 0,0001 ^d	0,1264 +/- 0,0001 ^e	0,1251 +/- 0,0001 ^f	0,0739 +/- 0,0001 ^g	0,08109 +/- 6e-05 ^h	0,08876 +/- 9e-05 ⁱ
	χ^2	0,00859	0,00534	0,00366	0,00449	0,00449	0,00415	0,00376	0,00103	0,00346
	R ²	0,99822	0,99889	0,99934	0,99895	0,99903	0,99919	0,99912	0,99975	0,99917
	SSE	0,00045	0,00028	0,00019	0,00024	0,00024	0,00022	0,00020	0,00005	0,00018
RMSE	0,02127	0,01677	0,01389	0,01538	0,01538	0,01477	0,01407	0,00736	0,01350	
Modelo	Parámetro	60 °C	60 °C / 30' O3	60 °C / 60' O3	70 °C	70 °C / 30' O3	70 °C / 60' O3	80 °C	80 °C / 30' O3	80 °C / 60' O3
Page	k	0,03668 +/- 2e-05 ^a	0,03018 +/- 3e-05 ^b	0,01764 +/- 1e-05 ^c	0,0432 +/- 0,0001 ^d	0,0432 +/- 0,0001 ^d	0,03330 +/- 6e-05 ^e	0,03501 +/- 6e-05 ^f	0,0329 +/- 0,0001 ^g	0,0408 +/- 0,0002 ^h
	n	0,7125 +/- 0,0001 ^a	0,7618 +/- 0,0002 ^b	0,8379 +/- 0,0001 ^c	0,7141 +/- 0,0005 ^d	0,6891 +/- 0,0006 ^e	0,7215 +/- 0,0004 ^f	0,7669 +/- 0,0003 ^g	0,797 +/- 0,001 ^h	0,7375 +/- 0,0009 ⁱ
	χ^2	0,00203	0,00311	0,00224	0,00903	0,01018	0,00633	0,00561	0,01844	0,01433
	R ²	0,99958	0,99935	0,99959	0,99789	0,99781	0,99876	0,99869	0,99561	0,99657
	SSE	0,00011	0,00016	0,00012	0,00048	0,00054	0,00033	0,00030	0,00097	0,00075
RMSE	0,01034	0,01278	0,01086	0,02180	0,02314	0,01825	0,01719	0,03116	0,02746	

Nota: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con las letras en superíndice: letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre una misma constante de un mismo modelo a diferentes tratamientos ($p < 0,05$). Todos los tratamientos están asistidos por 200 W de IR.

En la Tabla 14 se presentan los resultados de del análisis estadístico de los 6 modelos elegidos para este experimento, se modelaron todos los tratamientos de la Tabla 9 y se evaluaron las diferencias significativas de las constantes de cada modelo para sus tratamientos respectivos. Además, para dilucidar el modelo que mejor ajuste se calculó el valor de Chi cuadrado reducido (χ^2), análisis de error cuadrático medio (RMSE), suma de errores cuadráticos (SSE) y coeficiente de determinación (R^2) para tratamiento en el modelo correspondiente.

Podemos observar en la Tabla 14 los parámetros estadísticos para el modelo de Hii, modelo el cual obtuvo los mejores parámetros en comparación con el resto (ver Tabla 14). Donde para el tratamiento de 60 °C sin ozonización obtuvo valores de R^2 de 0,99993, χ^2 de 0,00035, SSE de 0,00002 y RMSE de 0,00428. Los valores correspondientes al aumentar la exposición de ozono a 30 y 60 minutos (manteniendo los 60 °C de secado) fueron para R^2 de 0,99981 y 0,99974, para χ^2 de 0,00093 y 0,00146, de SSE 0,00005 y 0,00008 y para RMSE de 0,00698 y 0,00878 respectivamente para cada caso. Estos parámetros fueron los con mejor evaluación en comparación a los demás modelos para cada condición de trabajo respectivamente.

Para el set de muestras tratadas a 70 °C por 0, 30 y 60 minutos de tratamiento por ozono se obtuvieron valores de R^2 de 0,999933, 0,99992 y 0,99991, para χ^2 de 0,00029, 0,00036 y 0,00046, SSE de 0,00336, 0,00432, 0,00338 y RMSE con valores de 0,05796, 0,06574, 0,05810 respectivamente para todos los parámetros estadísticos. Los comportamientos gráficos de estos valores son observables de la Figura 35 a la 41.

Profundizando en los resultados del modelamiento matemático, podemos dar cuenta como para las muestras tratadas a 60 °C, variando el tiempo de exposición a ozono, si existen diferencias significativas para las constantes: a, k1, k2 y n (comparando a cada constante con su homóloga).

Para las muestras tratadas a 70 °C a distintas exposiciones a ozono, existieron diferencias significativas en todas las constantes a , k_1 , b , k_2 y n comparándolas entre si (mimas fila) y para 80 °C a diferentes tiempos de pretratamiento también se observaron diferencias significativas entre constantes a diferentes tiempos de ozono. Este comportamiento se observó en el experimento realizado por Bechlin y sus colaboradores en 2020 donde deshidrataron con pretratamiento de ozono cascara de naranja, trigo, maíz y soja y en los resultados del modelamiento matemático encontraron diferencias en los valores de las constantes del modelo de Page (para el caso de esa investigación) para muestras tratadas a una misma temperatura a diferentes tiempos de exposición de ozono (Bechlin et al., 2020).

Esta evidencia nos podría dar cuenta como las constantes del modelo de Hii (a , k_1 , b , k_2 y n) son sensibles a la aplicación de ozono, debido a las diferencias estadísticamente significativas al momento de cambiar los tiempos de exposición manteniendo la temperatura operativa constante.

Si vemos los valores y comparamos respecto a la temperatura de trabajo, manteniendo constante el tiempo de ozonización existen diferencias significativas en todas las constantes del modelo para 60, 70 y 80 °C con 0 minutos de ozonización. Para 30 minutos de ozono previo también existieron diferencias significativas en la totalidad de constantes al cambiar la temperatura de trabajo entre 60, 70 y 80 °C. Finalmente para 60 minutos de tratamiento previo con ozono la constante k_2 no tuvo diferencias significativas al trabajar a 70 u 80 °C; sin embargo, las demás constantes (a , k_1 , k_2 a 60 °, k_2 y n) si son diferentes estadísticamente al trabajar a 60, 70 y 80 °C con 60 minutos de pretratamiento de ozono.

En el año 2009 Hii y sus colaboradores desarrollaron su propio modelo (Hii) en el cual secaron semillas de cacao, donde también se encontraron diferencias entre los valores de las constantes al tratar las muestras a 60, 70 y 80 °C, además el modelo fue utilizado para el secado de zanahoria y zapallo encontrando resultados similares para este apartado (Hii et al., 2009).

También Gálvez y sus colaboradores en el año 2011 en el secado de jibia, dentro de su experimento en el apartado de modelamiento, observaron los cambios de las constantes de diferentes modelos (Page modificado, Dos términos, Weibull entre otros) al trabajar a diferentes tratamientos y afirmaron que la diferencia estadística significativa entre constantes tratadas a diferentes temperaturas, nos indica que estas tienen un grado de dependencia de la temperatura de trabajo y las constantes que no se vean afectar al cambiar la temperatura estas no dependen de ella, si no, probablemente de otras características más específicas como el tejido que se está secando, velocidad del aire y/o otras variables del procesos diferentes (Vega-Gálvez, Miranda, et al., 2011).

Por lo que es muy probable que las diferencias significativas observadas en las constantes en el modelo de Hii del presente trabajo, evaluado en las condiciones de trabajo antes mencionadas sea por la dependencia (o no) de las constantes con la temperatura de trabajo.

Desde la Figura 35 a 43 se presentan los ajustes de curvas calculados del modelo de Hii en contraste con las curvas experimentales para cada tratamiento individualmente.

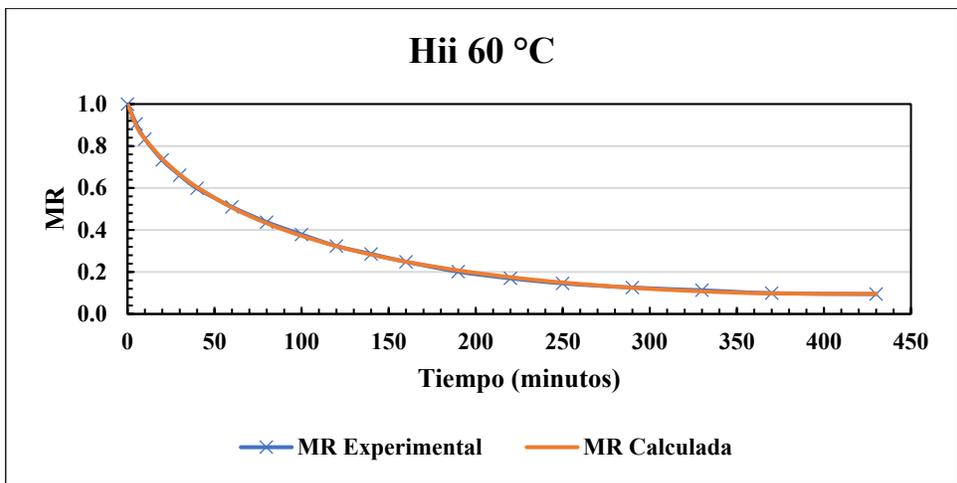


Figura 35: Comparativa de curvas MR experimental vs MR calculada (Hii) a 60 °C.

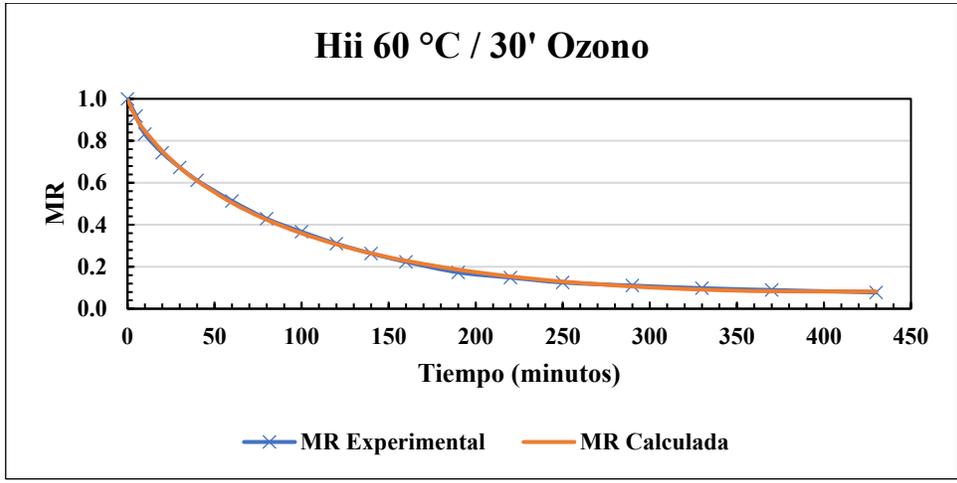


Figura 36: Comparativa de curvas MR experimental vs MR calculada (Hii) a 60 °C / 30' ozono.

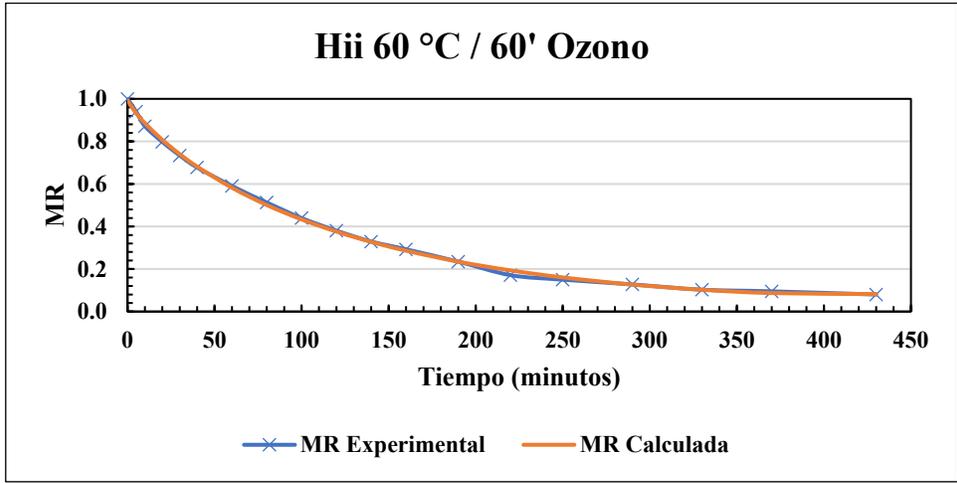


Figura 37: Comparativa de curvas MR experimental vs MR calculada (Hii) a 60 °C / 60' ozono.

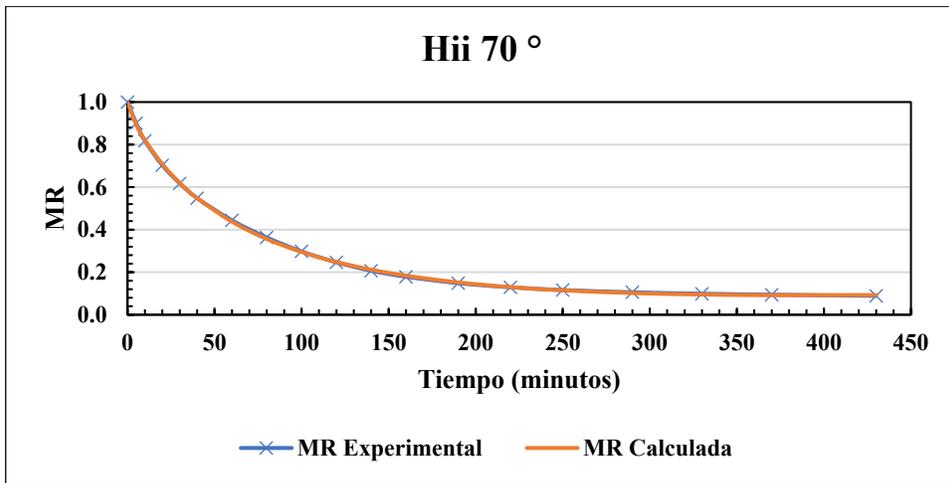


Figura 38: Comparativa de curvas MR experimental vs MR calculada (Hii) a 70 °C.

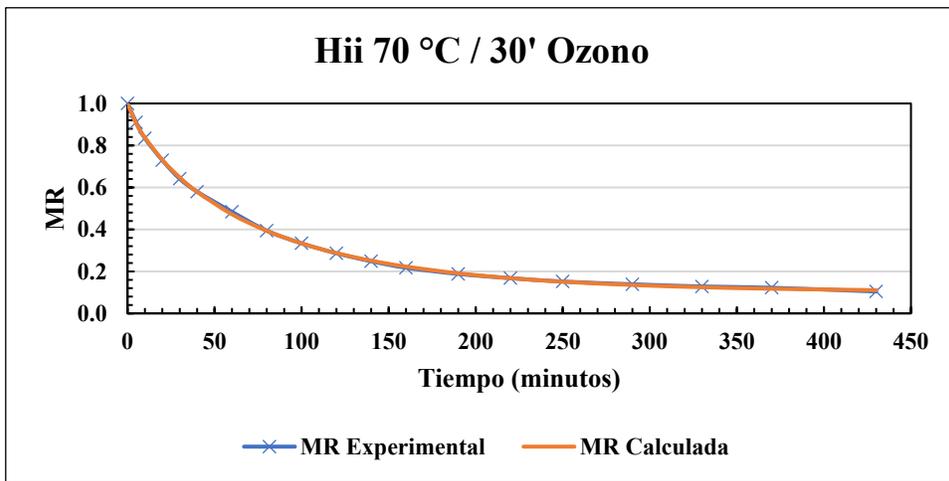


Figura 39: Comparativa de curvas MR experimental vs MR calculada (Hii) a 70 °C / 30' ozono.

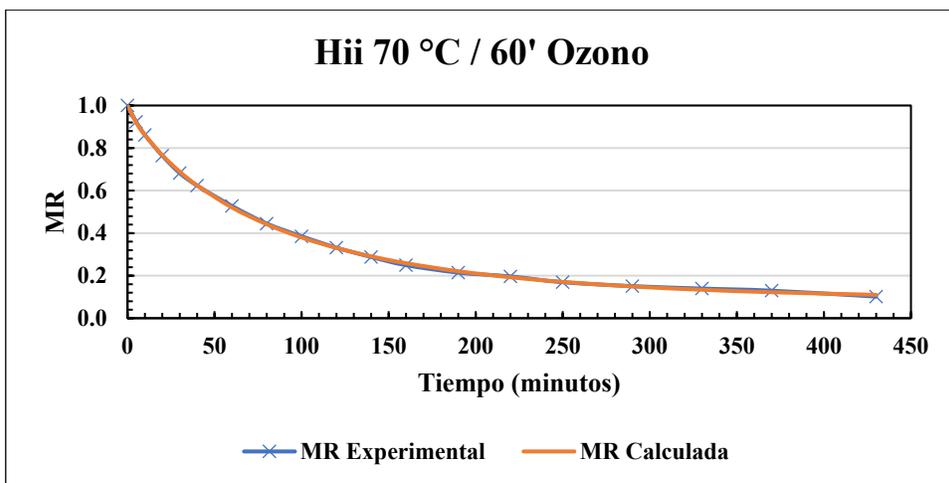


Figura 40: Comparativa de curvas MR experimental vs MR calculada (Hii) a 70 °C / 60' ozono.

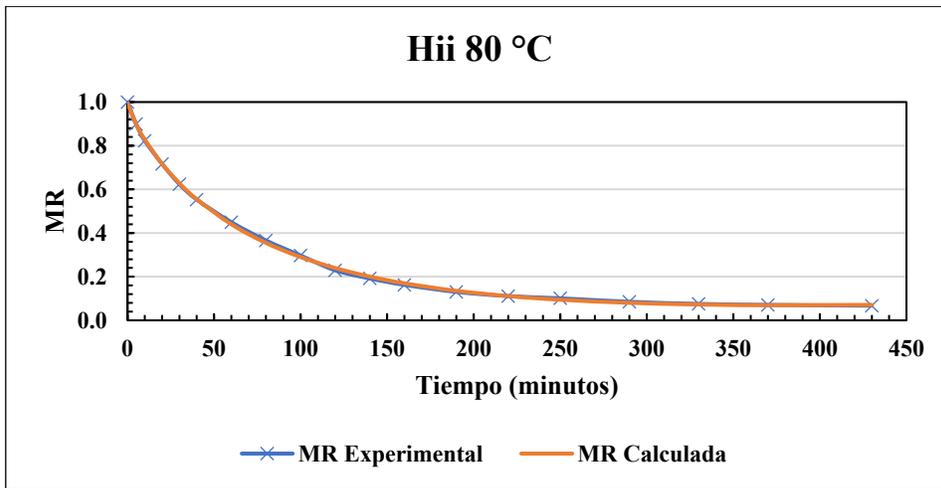


Figura 41: Comparativa de curvas MR experimental vs MR calculada (Hii) a 80 °C.

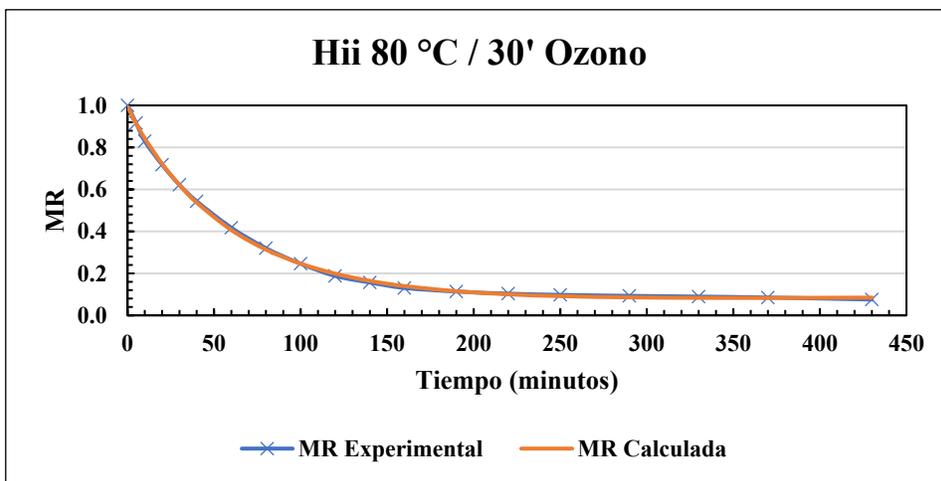


Figura 42: Comparativa de curvas MR experimental vs MR calculada (Hii) a 80 °C / 30' ozono.

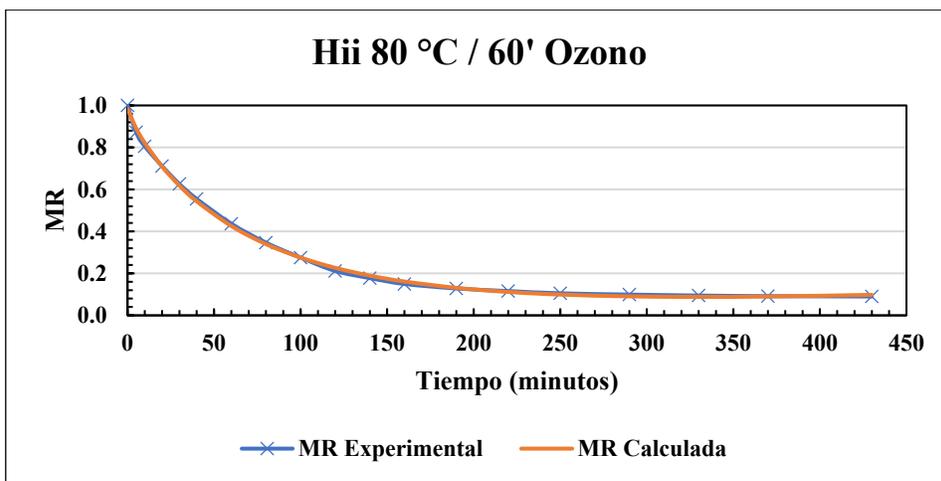


Figura 43: Comparativa de curvas MR experimental vs MR calculada (Hii) a 80 °C / 60' ozono.

4.5 ANÁLISIS DE COLOR

Podemos observar desde la tabla a 15 a la 18, la variación de los parámetros L^* , a^* , b^* , ΔE y una representación visual del color promedio de cada muestra en la tabla 19.

Además, a modo de ejemplo, se incluye la Figura 44, la cual representa fotos correspondientes a muestras tratadas a 70 °C por 0, 30 y 70 minutos de pretratamiento de ozono.

Tabla 15: Valores de parámetro L^* (luminosidad).

L^* (LUMINOSIDAD)		$L_0 = 74,04 \pm 2,57$		
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Temperatura °C		
		60	70	80
200	0	$31,35 \pm 1,66^{Aa}$	$23,49 \pm 1,04^{Ab}$	$24,98 \pm 4,73^{Ab}$
	30	$42,65 \pm 2,81^{Ba}$	$26,32 \pm 5,54^{Ab}$	$24,71 \pm 4,56^{Ab}$
	60	$40,13 \pm 5,88^{Ba}$	$23,89 \pm 4,57^{Ab}$	$22,87 \pm 5,12^{Ab}$

Tabla 16: Valores de parámetro a^* (verde a rojo).

a^* (VERDE A ROJO)		$a_0 = -4,61 \pm 1,40$		
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Temperatura °C		
		60	70	80
200	0	$11,00 \pm 1,95^{Aa}$	$21,29 \pm 1,82^{Ab}$	$21,04 \pm 3,34^{Ab}$
	30	$12,15 \pm 1,43^{ABa}$	$22,79 \pm 3,15^{ABb}$	$21,34 \pm 2,83^{Ab}$
	60	$13,93 \pm 2,08^{Ba}$	$24,07 \pm 2,31^{Bb}$	$21,87 \pm 2,30^{Ac}$

Tabla 17: Valores de parámetro b^* (azul a amarillo).

b^* (AZUL A AMARILLO)		$b_0 = 15,40 \pm 3,86$		
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Temperatura °C		
		60	70	80
200	0	$34,52 \pm 1,99^{Aa}$	$34,65 \pm 1,35^{Aa}$	$33,18 \pm 5,14^{Aa}$
	30	$40,98 \pm 4,03^{Ba}$	$36,93 \pm 4,04^{Ab}$	$35,23 \pm 5,91^{Ab}$
	60	$37,05 \pm 6,08^{Ab}$	$34,09 \pm 5,16^{Ab}$	$34,56 \pm 7,28^{Ab}$

Tabla 18: Valores de parámetro ΔE (diferencia de color).

ΔE (DIFERENCIA DE COLOR)				
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Temperatura °C		
		60	70	80
200	0	$49,53 \pm 2,68^{Aa}$	$60,09 \pm 2,54^{Ab}$	$58,65 \pm 4,97^{Ab}$
	30	$44,27 \pm 4,10^{Ba}$	$59,68 \pm 5,07^{Ab}$	$59,75 \pm 3,60^{Ab}$
	60	$44,95 \pm 5,83^{Ba}$	$61,22 \pm 4,14^{Ab}$	$61,37 \pm 3,60^{Ab}$

Nota tablas 15, 16, 17, 18: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con las letras en superíndice: letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de ozono a una misma temperatura (misma columna) y letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a diferentes temperaturas a un tiempo de exposición de ozono igual (misma fila) ($p < 0,05$)

Tabla 19: Representación visual de color Lab.

COMPARATIVA DE COLOR Lab					
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Temperatura °C			Muestra Fresca
		60	70	80	
200	0				
	30				
	60				



Figura 44: Fotos muestras 70 °C / 0, 30 y 60' O3 / 200 w IR.

Viendo el parámetro de luminosidad (L^*) (Tabla 15) podemos dar cuenta como varia la luminosidad al aumentar el tiempo de exposición de ozono manteniendo la temperatura de trabajo (ver columnas). El valor para temperatura de 60 °C aumenta acorde aumentamos el tiempo de ozono de manera significativa; sin embargo, esta diferencia no se aprecia entre 30 y 60 minutos de ozono. este comportamiento fue visto por Bechlin en el año 2020 en secado de cascara de naranja con pretratamiento de

ozono, donde las muestras tratadas con las mínimas temperaturas del experimento si se vieron afectadas con el aumento del tiempo de ozono (Bechlin et al., 2020) . Los valores para las muestras tratadas a 70 °C no sufrieron cambios significativos en la luminosidad independiente del tiempo de ozono utilizado. Este comportamiento también fue observado a 80 °C, donde no existieron diferencias entre tratamientos de ozono tratados a una misma temperatura. Esto fue evidenciado por Catalejo y sus copartícipes (Cantalejo et al., 2016) en el secado de pollo pretratado con diferentes tiempos y concentraciones de ozono gaseoso, donde no existieron diferencias significativas en la luminosidad de las muestras pese al aumentar el tiempo de exposición de ozono de las muestras.

Esto nos podría decir que en general a menor temperatura de secado, más influencia tiene la aplicación de ozono a la luminosidad de las muestras, debido que, al aumentar la temperatura de secado, no se aprecian diferencias en L^* independiente del tiempo de exposición de ozono (ver columnas de la Tabla 15).

Viendo las diferencias al aumentar la temperatura manteniendo el tiempo de tratamiento de ozono podemos distinguir como disminuye el valor L^* significativamente entre la muestra de 60 °C (para todos los tratamientos de ozono) con 70 y 80 °C; sin embargo, no existen diferencias significativas entre las muestras de 70 y 80 °C para todos los tratamientos de ozono. Esto fue descrito por Vega en 2011 en el secado de jibia, donde encontró que, al aumentar la temperatura de trabajo, se vio afectado el valor de la luminosidad disminuyendo (Vega-Gálvez, Miranda, et al., 2011). Lemus en 2018 obtuvo comportamientos similares en el secado de Abalón (Lemus-Mondaca et al., 2018).

Es importante que los valores cromáticos tengan el menor impacto posible a lo que el tratamiento en ejecución lo permita, las reacciones de pardeamiento no enzimáticas son aquellas que involucran la reacción de compuestos carbonílicos con grupos amino y la carne de calamar contiene carbohidratos en forma de glucógeno, azúcares reductores, nucleótidos y grupos amino disponibles por lo que el pardeamiento es un

problema clave de calidad en este producto seco, tanto en su procesamiento como almacenamiento (Vega-Gálvez, Miranda, et al., 2011) por lo que una disminución significativa del valor cromático L^* es un indicativo para la calidad final del producto.

Para los parámetros a^* (verde a rojo) y b^* (azul a amarillo) (Tabla 16 y 18) en general no tuvieron cambios significativos al variar el tiempo de ozonización, solo existieron diferencias para 60 y 70 °C a 60 minutos de pretratamiento. Si existió un aumento significativo de a^* al aumentar la temperatura de secado de 60 a 70-80 °C (para cada tratamiento de ozono). El comportamiento antes mencionado también ocurrió para el parámetro b^* , se encontró en la literatura que el aumento del enrojecimiento (a^*) y amarillez (b^*) al aumentar la temperatura es producto del oscurecimiento (pardeamiento) de la muestra (Shen et al., 2007). Resultados similares fueron reportados por Lemus y colaboradores en el secado de Abalón (Lemus-Mondaca et al., 2018), Vega en el secado de jibia (Vega-Gálvez, Miranda, et al., 2011), Vega en el secado de pellets para Abalón (Vega-Gálvez, Lemus-Mondaca, et al., 2011) y Ortiz en el secado de salmón (Ortiz et al., 2013).

Respecto a la diferencia de color (ver Tabla 18) esta disminuye de forma significativa al aumentar el tiempo de exposición de ozono de 0 a 30 y 60 minutos para 60 °C. Para 70 y 80 °C no existieron diferencias estadísticas a pesar de variar el tiempo de ozono. Esto nos podría decir que el ozono afecta a la diferencia de color solo a la temperatura mínima que en este caso corresponde a 60 °C. Al aumentar la temperatura para un mismo grupo de tratamiento de ozono, la diferencia de color aumenta al secar de 60 a 70-80 °C; sin embargo, esta diferencia no es significativa entre 70 y 80 grados Celsius. Lemus describió este comportamiento en secado de Abalón y Ortiz en el secado de salmón (Lemus-Mondaca et al., 2018; Ortiz et al., 2013).

En general los cambios de los parámetros de color están relacionados o tienen correlación con el grado del cambio estructural de la proteína. Estos cambios provocan diferencias en las propiedades de dispersión de la luz de la superficie de la carne de calamar junto con reacciones de pardeamiento y la mioglobina, la cual contribuye de

gran manera al color de los músculos de animales acuáticos, ya que su color dependerá de sus derivados y concentración (Fu et al., 2007; Guizani et al., 2008; Vega-Gálvez, Lemus-Mondaca, et al., 2011).

4.6 ANÁLISIS DE MICROSCOPIA

Tabla 20: Número de píxeles en escala de grises (valor 150 a 256) en 0,1 x 0,1 mm de muestra.

N.º DE PÍXELES X 10 ⁴		ÁREA 0,1 X 0,1 MM / X 10 AUMENTO		
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Temperatura °C		
		60	70	80
200	0	1,05 ± 0,17 ^{Aa}	1,52 ± 0,15 ^{Aa}	3,70 ± 0,28 ^{Ab}
	30	2,66 ± 0,87 ^{Ba}	2,80 ± 0,48 ^{Ba}	4,25 ± 0,08 ^{Ab}
	60	2,76 ± 0,50 ^{Ba}	3,38 ± 0,40 ^{Ba}	4,26 ± 0,12 ^{Ab}

Nota: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con las letras en superíndice: letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de ozono a una misma temperatura (misma columna) y letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a diferentes temperaturas a un tiempo de exposición de ozono igual (misma fila) (p<0,05)

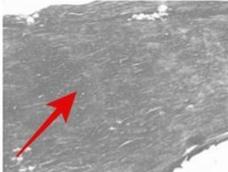
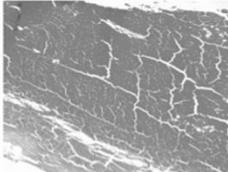
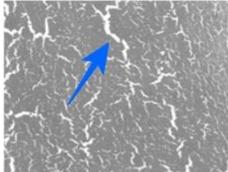
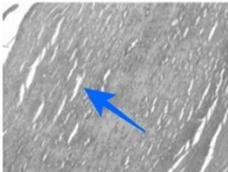
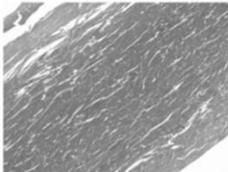
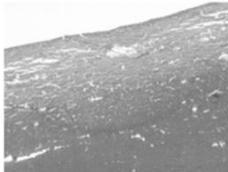
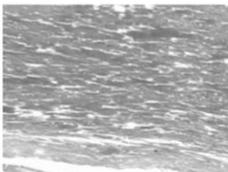
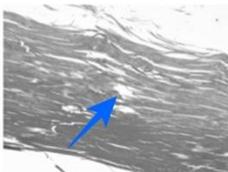
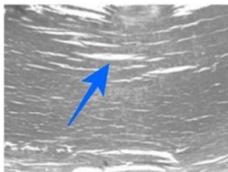
Podemos observar en la columna correspondiente a 60 °C como existen diferencias significativas en la cantidad de píxeles si se aumenta el tiempo de tratamiento de ozono, donde los valores rondan desde 1,05 a 2,76 x 10⁴, esta diferencia solo se aprecia en las muestras de 0 – 30 y 0 – 60 minutos y no entre 30 y 60 minutos de ozono. Este comportamiento se evidencio en las muestras de 70 °C donde los valores de píxeles fluctuaron entre 1,52 y 3,38 x 10⁴. De esta forma se puede observar como a 60 y 70 °C el tiempo de exposición de ozono si afecta al tejido de las muestras, argumento que se ha encontrado en la literatura el cual afirma que el daño muscular esta correlacionado con la oxidación de lípidos y proteínas (Huang et al., 2020; Pian et al., 2022), además existe evidencia de que el ozono gaseoso puede generar un daño a nivel proteico y lípidos dependiendo de la concentración de este y tiempo de exposición (Khanashyam et al., 2021; Sivaranjani et al., 2021; Vijay Rakesh Reddy et al., 2021). En el año 2022 Shelake informó una ruptura estructural en la superficie exterior de cebollas al ser tratadas con ozono el cual aumentaba en profundidad al aumentar la concentración de ozono gas (Shelake et al., 2022).

A 80 °C de secado no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de ozono, lo que puede significar que a esta temperatura de trabajo la cantidad de pixeles evaluados (porosidad) está asociado a la temperatura y no al tratamiento de ozono debido a que este no influye en el tejido.

Viendo cómo afecta la temperatura al tejido (ver filas Tabla 20) podemos dar cuenta como al aumentar la temperatura de trabajo, solo existen diferencias significativas al trabajar a 80 °C para todos los tratamientos de ozono. Esto podría decir que solo a 80 °C independiente del tiempo de exposición va a existir un daño al tejido significativo. Las muestras tratadas por aire caliente se vuelven firmes al finalizar el secado debido a que un tratamiento térmico provoca la desnaturalización de la miosina y la contracción de miofibrillas de la carne de jibia (Chang et al., 2011) y un aumento de la temperatura de trabajo produce una desnaturalización más rápida. Resultados similares obtuvieron Deng y sus colaboradores en el secado de jibia (Y. Deng et al., 2014) y Dewi en el año 2011 en el secado de carne de tiburón (Dewi et al., 2011).

A continuación, se presentará la tabla número 21 con imágenes, las cuales se pueden complementar con la Tabla 20, ya que son una representación gráfica de los valores de la tabla antes mencionada. Las muestras tratadas a 60 °C presentan una estructura más compacta y coherente con un menor espacio entre fibras (ver flecha roja), esto se ve afectado cuando aumenta el tiempo de exposición de ozono y temperatura. Al incrementar estos parámetros, generan una desnaturalización más rápida de proteínas y con ello una reducción en la dimensión de las miofibrillas y el colágeno, generando una estructura con cavidades o poros irregulares y de una dimensión mayor (ver flechas azules) (Y. Deng et al., 2014; Kong et al., 2007; Lepetit et al., 2000).

Tabla 21: Comparación microscópica de las muestras.

IMÁGENES ILUSTRATIVAS		AUMENTO X 10		
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Temperatura °C		
		60	70	80
200	0			
	30			
	60			

4.7 ANÁLISIS DE TEXTURA

Tabla 22: Dureza de las muestras medida en kilogramos-fuerza.

		DUREZA (kgf)		
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Temperatura °C		
		60	70	80
200	0	1,609 ± 0,381 ^{Aa}	6,010 ± 1,105 ^{Ab}	4,962 ± 0,048 ^{Ab}
	30	12,035 ± 2,148 ^{Ba}	14,518 ± 0,713 ^{Bab}	15,782 ± 1,349 ^{Bb}
	60	12,393 ± 1,889 ^{Ba}	14,778 ± 1,341 ^{Ba}	21,540 ± 1,264 ^{Cb}

Nota: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con las letras en superíndice: letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de ozono a una misma temperatura (misma columna) y letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a diferentes temperaturas a un tiempo de exposición de ozono igual (misma fila) ($p < 0,05$)

En la Tabla 22 se observa la dureza expresada en kilogramos-fuerza para todos los tratamientos. Podemos ver como aumenta la dureza al aumentar el tiempo de exposición de ozono independiente de la temperatura de trabajo. Los valores para 60 °C rondan entre 1,609 y 12,393 kg, para 70 °C van desde 6,010 y 14,778 kg y para 80 °C fluctúan entre 4,962 y 21,540 kg. Independiente de la temperatura en la cual se analice, todas las muestras tuvieron diferencias significativas entre 0 y 30 minutos de exposición y 0 y 60 minutos de exposición, del mismo modo, no existieron diferencias

estadísticas entre tratar a 30 o 60 minutos de ozono gaseoso para todos los grupos trabajados excepto para las muestras tratadas a 80 °C. Este comportamiento fue reportado por Cantalejo en 2016 donde encontró un aumento de dureza al incrementar el tiempo de exposición de ozono en el secado de carne de pollo con pretratamiento de ozono (Cantalejo et al., 2016). También Sudheer y sus colaboradores encontraron un aumento en la firmeza del champiñón al tratarlo con ozono gaseoso (Sudheer et al., 2016). Comportamientos similares encontraron Sun y sus colaboradores al tratar yema de huevo (huevo líquido) con ozono (Sun et al., 2021).

Si vemos los valores respecto a la temperatura (ver filas) se puede apreciar como aumenta la dureza en razón aumenta la temperatura, independiente del tratamiento de ozono, aunque este comportamiento solo fue significativo para las muestras tratadas a 80 °C en comparación a 60 y 70 °C. Los valores para 0 minutos fueron de 1,609 a 4,962 kg, para 30 minutos de 12,035 a 15,782 kg y para 60 minutos rondaron entre 12,393 y 21,538 kg. Se encontró evidencia sobre el efecto negativo de la temperatura del aire de secado en la deshidratación de jibia en la textura de esta (Vega-Gálvez, Miranda, et al., 2011) y similares resultados por Lemus en 2018 en el secado de Abalón (Lemus-Mondaca et al., 2018). Resultados similares también fueron reportados por Deng en 2014 donde hallaron un aumento en la dureza de las muestras de jibia deshidratadas por diferentes tecnologías de secado (Y. Deng et al., 2014).

Los cambios en la textura de la jibia podrían estar relacionados con la desnaturalización de las proteínas tanto en el tratamiento térmico como en el tratamiento del ozono o combinados (para el caso de este estudio), debido a que la matriz proteica en la carne tiene un efecto en la funcionalidad y sus propiedades (Vega-Gálvez, Miranda, et al., 2011). La calidad de la carne de calamar seca se basa en la red de colágeno, proteínas miofibrilares agregadas y desnaturalizadas y la estructura miofibrilar, donde un aumento en la temperatura de calentamiento conduce a una desnaturalización de proteínas trayendo como consecuencia una disminución en la capacidad de retención de agua (Y. Deng et al., 2014). Además, viendo los resultados de la Tabla 22, se podría decir que en general el tiempo de

pretratamiento de ozono tiene más influencia en la textura de la jibia que la temperatura de trabajo, debido a que se encontró una mayor diferencia significativa entre las muestras al compararlas respecto al tiempo de ozonificación que a su temperatura.

4.8 ANÁLISIS DE REHIDRATACIÓN

Se puede apreciar en la Tabla 23 el porcentaje de rehidratación final para los distintos tratamientos al cabo de 360 minutos de proceso y en la Figura 45 representa la gráfica del proceso para todos los tratamientos. La tabla 23 corresponde al modelado cinético del proceso.

Tabla 23: Porcentaje de rehidratación de los tratamientos.

REHIDRATACIÓN FINAL (%)				
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Temperatura °C		
		60	70	80
200	0	69,66 ± 4,56 ^{Aa}	43,62 ± 2,18 ^{Ab}	26,77 ± 1,70 ^{Ac}
	30	33,69 ± 2,05 ^{Ba}	31,45 ± 1,22 ^{Bab}	25,49 ± 3,77 ^{Ab}
	60	30,68 ± 5,67 ^{Ba}	28,06 ± 2,97 ^{Ba}	21,20 ± 2,00 ^{Ab}

Nota: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con las letras en superíndice: letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de ozono a una misma temperatura (misma columna) y letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a diferentes temperaturas a un tiempo de exposición de ozono igual (misma fila) (p<0,05)

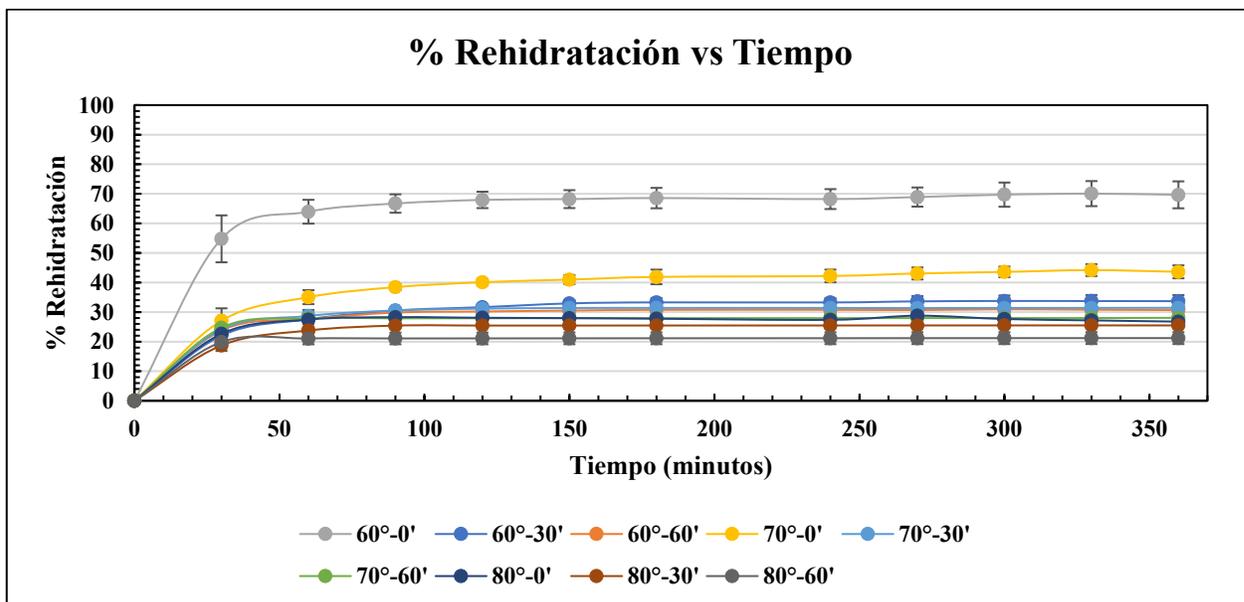


Figura 45: Curvas de rehidratación de todos los tratamientos en la rehidratación de jibia.

Tabla 24: Valores de modelamiento de rehidratación completo.

Modelo	Parámetro	60 °C	60 °C / 30' O3	60 °C / 60' O3	70 °C	70 °C / 30' O3	70 °C / 60' O3	80 °C	80 °C / 30' O3	80 °C / 60' O3
Peleg	k1	2,541 +/- 0,008 ^a	9,33 +/- 0,02 ^b	5,49 +/- 0,01 ^c	9,519 +/- 0,008 ^d	5,19 +/- 0,02 ^e	2,67 +/- 0,01 ^f	3,74 +/- 0,06 ^g	6,08 +/- 0,05 ^h	1,753 +/- 0,002 ⁱ
	k2	0,2927 +/- 0,0002 ^a	0,5266 +/- 0,0002 ^b	0,5772 +/- 0,0002 ^c	0,46828 +/- 9e-05 ^d	0,5483 +/- 0,0004 ^e	0,7052 +/- 0,0003 ^f	0,664 +/- 0,002 ^g	0,6243 +/- 0,0009 ^h	0,90578 +/- 6e-05 ⁱ
	X ²	0,01525	0,00612	0,00578	0,00345	0,01024	0,00482	0,02818	0,01931	0,00056
	R ²	0,99989	0,99986	0,99986	0,99993	0,99977	0,99985	0,99917	0,99946	0,99997
	SSE	0,00080	0,00032	0,00030	0,00018	0,00054	0,00025	0,00148	0,00102	0,00003
	RMSE	0,02833	0,01795	0,01745	0,01348	0,02321	0,01593	0,03852	0,03189	0,00542
Modelo	Parámetro	60 °C	60 °C / 30' O3	60 °C / 60' O3	70 °C	70 °C / 30' O3	70 °C / 60' O3	80 °C	80 °C / 30' O3	80 °C / 60' O3
Weibull	α	15,49 +/- 0,03 ^a	28,55 +/- 0,01 ^b	17,279 +/- 0,008 ^b	30,78 +/- 0,03 ^c	18,853 +/- 0,002 ^d	24,62 +/- 0,04 ^e	27,69 +/- 0,01 ^f	22,509 +/- 0,002 ^g	10,99 +/- 0,06 ^h
	β	0,666 +/- 0,001 ^a	0,7281 +/- 0,0004 ^b	0,6969 +/- 0,0004 ^b	0,6659 +/- 0,0008 ^c	0,7927 +/- 0,0001 ^d	3,8636 +/- 0,0001 ^e	6,629 +/- 0,0005 ^f	1,0659 +/- 0,0002 ^g	1,07 +/- 0,005 ^h
	Xc	3,6131 +/- 0,0003 ^a	2,1008 +/- 0,0001 ^b	1,98358 +/- 5e-05 ^c	2,3286 +/- 0,0003 ^d	2,06541 +/- 1e-05 ^e	1,706010 +/- 3e-06 ^f	1,7784 +/- 0,0003 ^g	1,84287 +/- 1e-05 ^h	1,40415 +/- 2e-05 ⁱ
	X ²	0,00597	0,00149	0,00082	0,00359	0,00027	0,000074	0,00828	0,00029	0,00042
	R ²	0,99996	0,99997	0,99998	0,99993	0,99999	0,999998	0,99976	0,99999	0,99998
	SSE	0,00031	0,00008	0,00004	0,00019	0,00001	0,000004	0,00044	0,00002	0,00002
RMSE	0,01772	0,00884	0,00656	0,01376	0,00376	0,001976	0,02087	0,00390	0,00473	

Nota: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con las letras en superíndice: letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre una misma constante de un mismo modelo a diferentes tratamientos ($p < 0,05$). Todos los tratamientos están asistidos por 200 W de IR.

Respecto a los diferentes tratamientos con ozono (ver columnas) podemos como para 60 °C el porcentaje de rehidratación disminuyó al aumentar el tiempo de ozono, variando de 69,66 a 30,68 %. Existieron diferencias significativas para 0 – 30 y 0 – 60 minutos de pretratamiento a 60 °C, en otras palabras, no existieron diferencias en sus porcentajes de rehidratación a 30 y 60 minutos.

Este comportamiento también fue evidenciado en las muestras tratadas a 70 °C. Donde disminuyeron sus valores al aumentar el tiempo de tratamiento por ozono, sus valores de rehidratación variaron entre 43,62 y 28,06 %. Finalmente, para 80 °C no existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos de ozono; sin embargo, se aprecia de igual manera una disminución de los valores al aumentar el tiempo de ozonificación.

Cantalejo en 2016, reporto en el secado de filetes de pollo con pretratamiento de ozono, una disminución significativa del porcentaje de rehidratación al ozonificar por más de 30 minutos; sin embargo, sus porcentajes de rehidratación mínimos fueron de 50%, lo cual probablemente está asociado a que deshidrataron mediante liofilización, técnica que genera un menor daño a nivel estructural y un mayor porcentaje de rehidratación (Abdelwahed et al., 2006; Cantalejo et al., 2016).

Respecto a cómo afecto la rehidratación la variación de temperatura (ver filas) podemos dar cuenta como los valores disminuyeron al aumentar la temperatura de

trabajo donde para 0 minutos de tratamiento de ozono existieron diferencias significativas en las 3 temperaturas, cuyos valores equivalen a 69,66, 43,62 y 26,77 % respectivamente. Para 30 minutos de ozonificación solo existieron diferencias significativas entre las muestras de 60 y 80 °C, donde los valores fluctuaron entre 33,69 y 25,49 % respectivamente. Para 60 minutos de ozono, existieron diferencias significativas solo para muestra de 80 °C con el resto de las muestras, siendo sus valores 30,68, 28,06 y 21,20 % para cada proceso. Vega y sus colaboradores en 2011, evidenciaron en el secado de jibia una disminución en la capacidad de retención de agua de las muestras a medida que aumentaba la temperatura de secado (Vega-Gálvez, Miranda, et al., 2011). De la misma forma Lemus en secado de Abalón en 2018, encontró resultados similares respecto a la capacidad de retención de agua (Lemus-Mondaca et al., 2018).

En la Figura 45, podemos ver la gráfica de rehidratación de todo el conjunto de tratamientos, donde en su totalidad al cabo de 100 minutos, se logró el % de hidratación final prácticamente, variando en pequeña medida hasta los 360 minutos. Es importante de destacar la rápida rehidratación de la muestra secada a 60 °C con 0 minutos de pretratamiento de ozono. Eduardo Marín y un grupo de colaboradores comentan en su artículo titulado *“La rehidratación de los alimentos deshidratados”*, que una mayor velocidad de rehidratación sumado a una deshidratación en condiciones óptimas genera un alimento en mejor condición en cuanto a su deterioro y calidad (Marín B. et al., 2006).

Diferentes autores, sugieren que la rehidratación está considerada como una medida del daño en el alimento durante el secado. La deshidratación es considerada un proceso complejo donde mediante este, se puede recuperar las propiedades del alimento fresco y dependiendo del caso la velocidad de rehidratación sirve como herramienta para evaluar la calidad del producto deshidratado (Guizani et al., 2008; Hoge Kamp & Schubert, 2003; Noshad et al., 2012; Weerts et al., 2005).

Podemos apreciar en la tabla 24 los resultados del análisis cinético de rehidratación. Ambos modelos describieron el proceso de forma adecuada, debido a que todos los valores de R^2 fueron iguales o superiores a 99,99%, para Chi cuadrado menores a 0,02, para SSE menores a 0,001 y RMSE menores a 0,03.

Respecto al modelo de Peleg, ambas constantes tuvieron diferencias significativas entre todos los tratamientos, resultados similares se obtuvieron en el secado de morilla, la cual corresponde a una seta comestible. En dicho estudio se deshidrató el vegetal a temperaturas que rondaron entre 15 y 70 °C y respecto al modelado cinético de rehidratación del modelo de Peleg, las constantes k_1 y k_2 presentaron diferencias significativas a bajas y a altas temperaturas (García-Pascual et al., 2006). La constante k_1 , se puede considerar como un valor de rehidratación inicial y por otro lado la constante k_2 representa la máxima capacidad de absorción de agua, donde más bajo este valor representa una mayor capacidad de absorción de agua (Benseddik et al., 2019). Esto se puede ver reflejado en la tabla 24, donde los valores de k_2 fueron aumentando en medida acorde aumenta el tiempo de exposición de ozono y temperatura de secado. Esto se puede contrastar con la tabla 23 y Figura 45, en donde se evidencio una disminución en el porcentaje de rehidratación a medida que aumento el tiempo de ozonificación y temperatura de secado.

Las muestras tratadas por ozono, el valor de la constante k_1 disminuyo tanto al aumentar temperatura y tiempo de ozono. Un comportamiento similar se encontró en el secado de calabaza por liofilización y extrusión realizado por Benseddik y sus colaboradores en el año 2019 (Benseddik et al., 2019).

Finalmente, en relación con el modelo de Weibull, el parámetro β el cual mide la velocidad de absorción de agua en un comienzo del proceso, donde menor sea el valor de este, mayor será la tasa de absorción de agua (Benseddik et al., 2019). Si observamos los valores de la tabla 24, podemos dar cuenta como este parámetro aumento de forma significativa en los tratamientos de 70 °C al existir un aumento en el tiempo de exposición de ozono, y también se evidencio un aumento de esta constante

al aumentar la temperatura de secado para 30 minutos de ozonificación. Para la mayoría de los tratamientos, los valores de β se mantuvieron cercanos al rango de 0,2 y 1,0, rango el cual fue reportados por diferentes investigadores (Benseddik et al., 2019; Cunningham et al., 2007; Goula & Adamopoulos, 2009).

Respecto a la variable α , muchos autores sugieren que este parámetro representa el tiempo necesario para alcanzar 63% del proceso (Cunningham et al., 2007; Marabi et al., 2003). Los valores obtenidos a para esta constante tuvieron gran variabilidad, en donde para las muestras no tratadas por ozono aumento significativamente al incrementar la temperatura de deshidratación, un comportamiento similar se encontró en el estudio rehidratación de rodajas de zapallo para las muestras que habían sido liofilizadas (Benseddik et al., 2019). Para la variable X_e , se evidencio una disminución estadística significante, tanto al aumentar la temperatura de deshidratación como el tiempo de ozonificación. La capacidad de absorción de agua de materias primas biológicas va a depender del material, la estructura del tejido y composición química de las células, las cuales van a provocar un cambio en X_e respecto a la temperatura de deshidratación, rehidratación o para este caso, el tiempo de exposición a pretratamiento con ozono (García-Pascual et al., 2006).

Como se mencionó anteriormente, ambos modelos cinéticos tienen parámetros estadísticos a destacar; sin embargo, el modelo de Peleg es el que mejor modela el comportamiento, ya que sus resultados a nivel de variables (comportamiento de las constantes) responden de mejor manera con la tabla 23 y Figura 45, pudiéndose contrastar, visualizar y entender de mejor manera el proceso de rehidratación.

4.9 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Se presenta en las figuras 44, 45, 46 el recuento microbiológico correspondiente para microorganismos aerobios mesófilos, enterobacterias y *Staphylococcus aureus*.

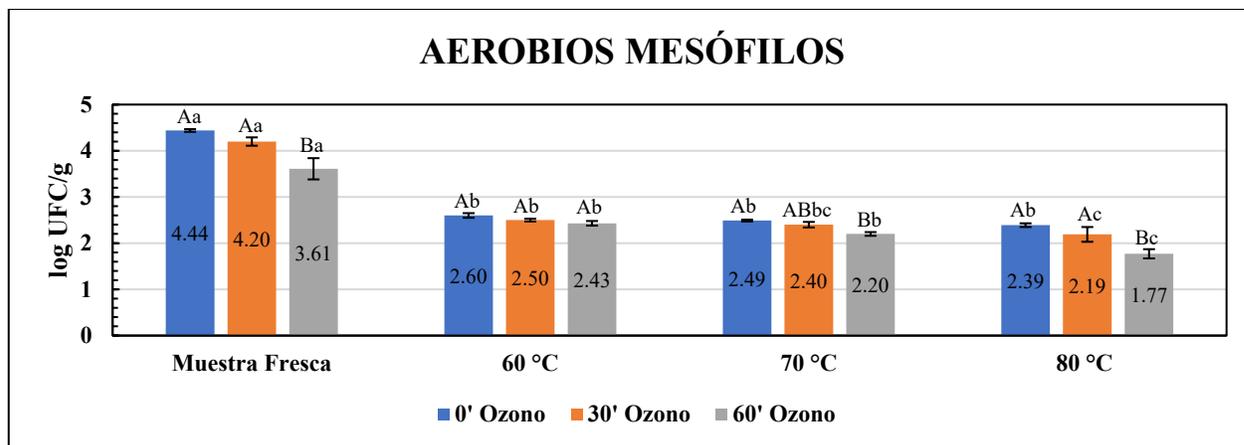


Figura 46: Recuento de aerobios mesófilos (log UFC/g)

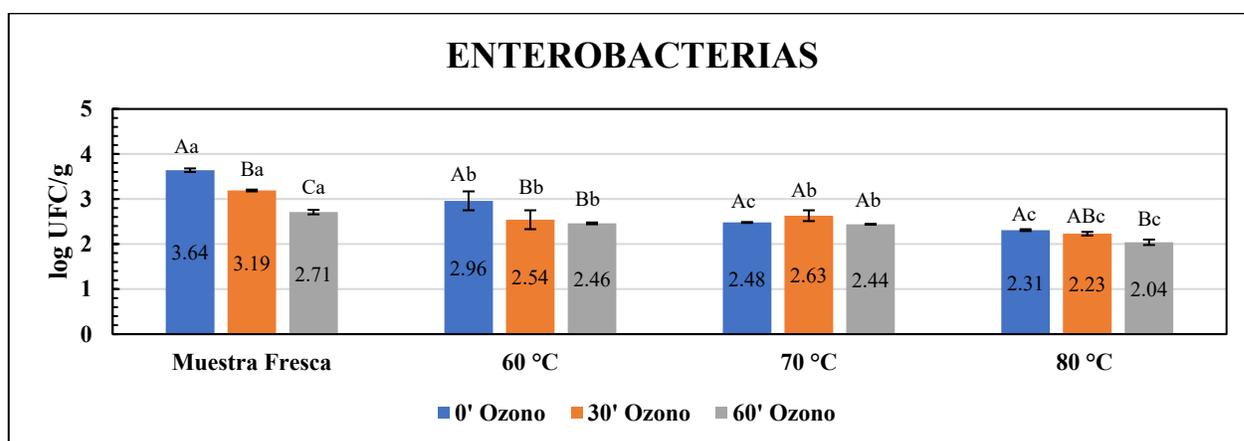


Figura 47: Recuento de enterobacterias (log UFC/g)

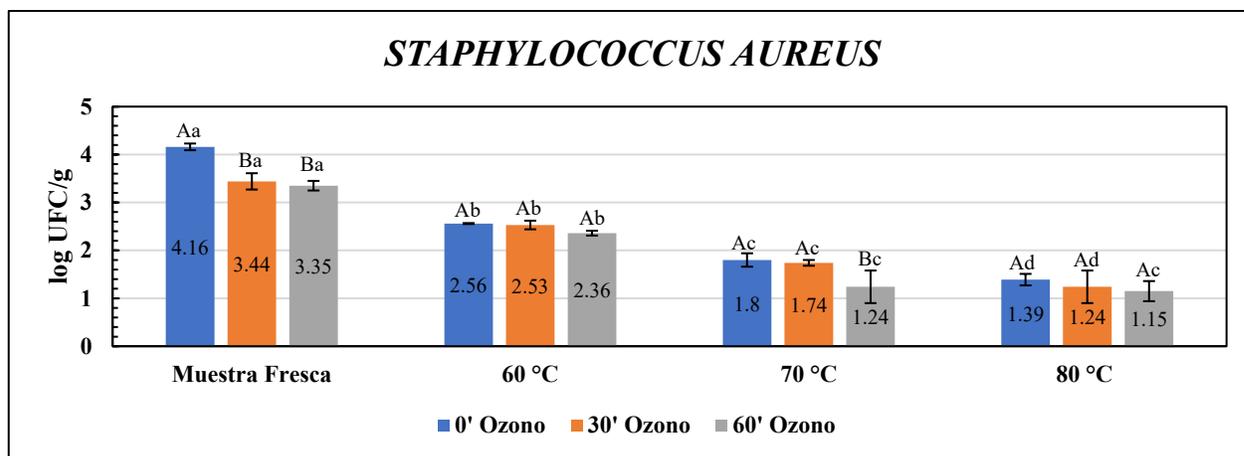


Figura 48: Recuento de *Staphylococcus aureus* (log UFC/g)

Nota Figura 46-45-46: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con letras: letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de ozono a una misma temperatura y letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a diferentes temperaturas a un tiempo de exposición de ozono igual ($p < 0,05$)

Respecto a los aerobios mesófilos (Figura 46) podemos observar en las muestras frescas que el recuento varió de 4,44 a 3,61 log UFC/g. Siendo los recuentos significativamente menores para 60 minutos de ozono respecto a los demás tratamientos. Este comportamiento se repitió para el resto de las temperaturas de trabajo, donde para 70 y 80 °C solo hubo diferencias significativas con la aplicación de 60 minutos de ozonificación. Para 60 °C, si bien existió una disminución del recuento, esta no fue estadísticamente significativa.

Por otro lado, si comparamos los valores de las muestras respecto a la temperatura de secado para cada tratamiento por separado, se evidencia que las tres temperaturas de secado se diferenciaron estadísticamente de la muestra fresca correspondiente para todos los tratamientos. En este sentido, las muestras sin ozonizar (0 minutos de ozono) disminuyeron 1,84, 1,95 y 2,05 unidades logarítmicas para 60, 70 y 80°C, respectivamente. Para 30 minutos de pretratamiento disminuyó 1,7, 1,8 y 2,01 unidades logarítmicas para cada temperatura. Finalmente, para 60 minutos de ozonificación la disminución logarítmica fue 1,18, 1,41 y 1,84, respectivamente. Para este último tratamiento el cambio respecto a la muestra fresca fue menor debido al mayor tiempo de tratamiento de ozono, en otras palabras, las muestras tratadas con ozono por 60 minutos tuvieron una disminución menor respecto a la muestra fresca debido a que la carga microbiana posterior al tratamiento de ozono fue menor en comparación a las demás muestras homologas.

Revisando publicaciones respecto a la utilización de ozono gaseo en diferentes materias primas se encontró que la combinación de ozono (0,4 – 0,72 ppm) y el secado (liofilización) redujeron significativamente el recuento de bacterias aerobias mesófilas en muestras de pechuga de pollo con una reducción de 4,65 a 1,98 log UFC/g, justificando este hecho a la capacidad antimicrobiana del ozono para disminuir amplias poblaciones de bacterias (Cantalejo et al., 2016; Guzel-Seydim et al., 2004),

esta amplia reducción logarítmica puede estar asociada al proceso de liofilización el cual logra actividades de agua finales y humedades muy bajas (Cantalejo et al., 2016) en comparación el presente estudio, por lo que justifica esa disminución logarítmica independiente que se haya usado una concentración de ozono similar a esta investigación. En el año 2019 Ayranci y sus colaboradores evaluaron el efecto del ozono gaseoso a una concentración de 0,01 kg/m³ a un tiempo de 120 minutos, reportando una reducción una reducción aproximada de 1,5 log UFC/g para microorganismos aerobios mesófilos para pechuga de pavo (Ayranci et al., 2019), estos resultados de disminución fueron superiores a los presentados de carne fresca el cual fue de 0,83 log UFC/g, en parte, esto puede ser debido a que utilizaron un tiempo y concentración de ozono considerablemente mayor por lo que era de esperar una mayor reducción logarítmica.

En general respecto a los resultados obtenidos, se evidenció una disminución significativa de unidades logarítmicas de aerobios mesófilos tanto al aumentar el tiempo de exposición al ozono, como la temperatura de secado respecto a la muestra fresca. La temperatura más alta de trabajo y tiempo mayor de exposición al ozono diferenció del resto de las muestras de forma significativa.

Analizando el recuento de enterobacterias desde la perspectiva del tiempo de exposición de ozono para una misma temperatura de secado (Figura 47) podemos ver que existen diferencias significativas entre todas las muestras frescas. Para las muestras tratadas a 60 °C, las tratadas por 30 y 60 minutos se diferenciarán significativamente de las muestras sin tratamiento de ozono. Para 70 °C no existieron diferencias significativas independiente del tiempo de exposición. Y para 80 °C solo la muestra tratada a 60 minutos difirió de las demás tratadas a la misma temperatura. Viendo diferencias respecto a la temperatura de trabajo para muestras tratadas a un mismo tiempo de pretratamiento de ozono, podemos ver para 0 minutos de ozono como disminuye el recuento microbiológico al aumentar la temperatura en donde todas las muestras evidenciaron diferencias significativas respecto a la muestra fresca variando de 0,68 a 1,33 unidades logarítmicas. Entre las muestras tratadas a 70 y 80

°C no existieron diferencias estadísticas. Para 30 y 60 minutos de ozono todas las muestras se diferenciaron significativamente de las muestras frescas al aumentar la temperatura de secado y las muestras tratadas a 80 °C tanto para 30 y 60 minutos de pretratamiento, tuvieron diferencias significativas con las muestras tratadas a 60 y 70 °C.

Watson y sus colaboradores en el año 2020 reportaron una disminución de 0,13 log UFC/g de la enterobacteria *E. coli* en el secado (lecho fluidizado) de hojuelas de ají en combinación con IR (100 W) y ozono gaseoso con una capacidad máxima de 300 mg por hora (Watson et al., 2020), esta disminución informada por Watson es menor al encontrado en el presente estudio pese a utilizar una concentración mayor de ozono, esto puede ser consecuencia de que el autor cultivo *E. coli* (enterobacteria) en específico y no enterobacterias total, motivo probable por el cual la disminución informada en esta investigación fue mayor.

Cárdenas y sus colaboradores en el año 2011 midieron el efecto del ozono (72 ppm por 3 h) en recuento de aerobios mesófilos y *E. coli* en medios de cultivo de carne de res, observándose una disminución de 0,7 y 2,0 log UFC/g para *E. coli* y aerobios mesófilos respectivamente (Coll Cárdenas et al., 2011), la disminución logarítmica de *E. coli* es similar a la reportadas por esta investigación la cual para el caso de las muestras tratadas a 70 °C por 30 minutos existió una disminución de 0,96 unidades logarítmicas (ver Figura 47). A pesar del largo tiempo de exposición junto con la alta concentración de ozono utilizada por Cárdenas sus resultados no estuvieron alejados de los obtenidos para la carne de jibia, pero esto se puede explicar debido a que el autor midió *E. coli* (enterobacteria) como microorganismo aislado y en la presente investigación se hizo el cultivo para enterobacterias totales, por lo que se esperaba que la disminución logarítmica y recuento inicial fuese mayor si se comparara el conteo de una enterobacteria aislada. En el año 2019 Ayranci y sus colaboradores evaluaron el efecto del ozono gaseoso a una concentración de 0,01 kg/m³ a un tiempo de 120 minutos observándose una reducción entre 1 a 1,5 unidades logarítmicas de UFC/g para enterobacterias (Ayranci et al., 2019), esta reducción es mayor al obtenido

para las muestras de calamar, no obstante, esto puede ser debido a que Ayranci utilizó el doble de tiempo de ozonificación para sus muestras de pavo.

Haciendo una visión general a los resultados obtenidos, existió una disminución significativa de enterobacterias al aumentar tanto el tiempo de pretratamiento de ozono como la temperatura de secado en comparación a las muestras frescas y/o muestras no tratadas con ozono.

En los recuentos de *Staphylococcus aureus* (Figura 48) podemos observar los grupos según la temperatura de trabajo, variando el tiempo de tratamiento de ozono. Respecto a las muestras frescas, estas presentaron diferencias significativas entre las muestras sin ozonificación (4,16 log UFC/g) y las muestras con ozono, las cuales redujeron su carga microbiana (3,44 y 3,35 log UFC/g para 30 y 60 minutos de ozono, respectivamente). Para las muestras secadas a 60 °C no existieron diferencias significativas entre las ozonificadas o no. Para las muestras secadas a 70 °C existieron diferencias significativas sólo al aumentar el tiempo de ozonificación a 60 minutos. Y para las secadas a 80 °C no existieron diferencias significativas con la ozonificación.

Al analizar las diferencias respecto de la temperatura de secado podemos dar cuenta de que todas las muestras secas difieren estadísticamente en los recuentos de *S. aureus* respecto de la muestra de jibia fresca, en donde el secado sin ozono provocó una disminución de 2,77 unidades logarítmicas entre la muestra fresca y la secada a 80 °C; mientras que para los tratamientos con ozono de 30 y 60 min la reducción fue de 2,2 unidades logarítmicas entre la muestra fresca y su correspondiente a 80 °C, para ambos tiempos de ozonificación. Para las muestras secas sin ozono existieron diferencias significativas entre las tres temperaturas de secado, con un conteo de carga microbiana de 2,56 a 1,39 unidades logarítmicas para 60 y 80 °C, respectivamente. Para 30 minutos de ozonificación tuvieron un comportamiento similar al antes mencionado y para 60 minutos no existieron diferencias significativas entre 70 y 80 °C, disminuyendo 1,12 y 1,21 unidades logarítmicas respectivamente en comparación con 60 °C.

Muhlisin y sus colaboradores informaron una reducción entre 1,01 y 1,07 log UFC/g para el recuento de bacterias anaeróbicas como aerobias en comparación a muestras no tratadas con ozono de pechuga de pollo, a una concentración de 10×10^{-6} kg O₃/m³ por 45 minutos (Muhlisin et al., 2015), además es importante destacar que el *S. aureus* es un tipo de bacteria anaeróbica facultativa (Neely & Maley, 2000), los resultados notificados por el autor son menores en comparación a la presente investigación la cual tuvo una reducción de 2,2 log UFC/g para las muestras tratadas a 80 °C con 60 minutos de pretratamiento de ozono. Esta diferencia que existe con los resultados de Muhlisin, pueden ser debido a la baja concentración de ozono que utilizaron, donde el mismo autor indica que utilizó una baja concentración en comparación a otros autores.

Güzel y sus colaboradores estudiaron la eficacia del ozono gaseoso en el control microbiano en presencia de componentes alimenticios a una concentración de 0,4 ppm de 2 a 10 minutos. El autor reportó una disminución logarítmica entre 0,49 and 1,47 para *S. aureus* en caseinato (Güzel-Seydim et al., 2004), los resultados reportados son similares a los obtenidos; sin embargo, el tiempo de ozonificación utilizado por el autor fue menor. Esta diferencia en el tiempo de ozonificación puede estar asociado que la materia prima utilizada por Muhlisin es un componente alimenticio el cual corresponde a caseinato, el cual probablemente al tratarse de un componente alimenticio apartado requiera tiempos de ozonificación menores en comparación a una materia prima compleja como lo es la carne animal.

A modo de síntesis parcial para este grupo de microorganismos, se observó una disminución en el recuento de *S. aureus* para las muestras frescas al aumentar el tiempo de exposición de ozono y temperatura de deshidratación.

Haciendo una revisión a la normativa nacional, el Reglamento Sanitario de los Alimentos (Ministerio de Salud, 2023) en el Título V de los criterios microbiológicos, párrafo III, punto 11.2 pescados y mariscos crudos congelados (ver anexo 15) indica que el recuento de aerobios mesófilos debe ser como máximo de 6,0 log UFC/g, para *E. coli* (enterobacteria) de 2,7 log UFC/g y para *Staphylococcus aureus* de 2,7 log UFC/g. Haciendo la comparación con las muestras frescas de nuestro estudio, para aerobios mesófilos el conteo fue de 4,4 log UFC/g estando bajo el límite máximo de la normativa. Para enterobacterias el conteo fue de 3,64 log UFC/g estando sobre el límite máximo, aunque el reglamento especifica límite para *E. coli* (tipo de enterobacteria) y en las muestras de jibia fresca se midieron enterobacterias totales. Mientras que para *Staphylococcus aureus* las muestras tuvieron un recuento de 4,16 log UFC/g un valor sobre el límite permitido, esto puede estar asociado a una contaminación cruzada tanto del laboratorio como del establecimiento alimenticio que proporcione las muestras, así como también a la pérdida de la cadena de frío durante la preparación de las muestras.

Por otro lado, el Reglamento Sanitario de los Alimentos (Ministerio de Salud, 2023) en el Título V de los criterios microbiológicos, párrafo III, punto 11.3 pescado y mariscos precocidos o cocidos congelados exige un límite máximo de aerobios mesófilos de 5,7 log UFC/g, límite para *E. coli* de 2 log UFC/g y para *Staphylococcus aureus* de 2 log UFC/g. Las muestras tratadas por aire caliente con o sin ozonificación están en su totalidad dentro de los límites permitidos para aerobios mesófilos. Para enterobacterias los resultados para todos los tratamientos dieron ligeramente superior al límite máximo permitido, excepto la muestra con 60 min de ozono y secada a 80°C. Finalmente para *Staphylococcus aureus* las muestras tratadas a 70 y 80 °C con y sin ozono, están por debajo del límite permitido; sin embargo, las muestras tratadas a 60 °C están sobre el límite antes descrito, independiente del tiempo de exposición de ozono.

Pese a que las muestras de enterobacterias están levemente sobre lo permitido por el Reglamento Sanitario de los Alimentos, como se vio en el apartado 4.1 “Análisis de cinética de secado”, las muestras deshidratadas sin tratamiento de ozono tuvieron una actividad de agua menor a 0,5. Diversos autores reportan que valores menores a 0,6 para actividad de agua se asegura que no existirá un desarrollo bacteriano en la matriz alimenticia (Barreiro & Sandoval, 2006; Cantalejo et al., 2016). Se espera que las muestras secadas con pretratamiento de ozono tengan una actividad de agua similar o levemente estadísticamente superior a las muestras sin ozonificar según lo estudiado por Fu y sus colaboradores en el secado de jibia y Cantalejo en el secado de filetes de pechuga de pollo con pretratamiento de ozono (Cantalejo et al., 2016; Fu et al., 2007), dicho esto; todos los tratamientos deberían tener actividades de agua bajo 0,6 por lo que no representarían un riesgo asociado al consumidos debido a su baja actividad de agua.

4.10 ELECCIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO

A modo de síntesis la muestra que fue tratada a 70 °C junto a un pretratamiento de 30 minutos de ozonificación es la muestra con parámetros en cuanto a costo/beneficio se refiere por las siguientes razones:

- a. Su cinética de secado es similar a la de los demás tratamientos en cuanto a la humedad final lograda. Su difusividad es mayor estadísticamente en comparación a su homólogo tratada por 60 minutos de ozono y no difiere estadísticamente en comparación a la muestra tratada a 80 °C con 30 minutos de ozonificación y está demostrado que un mayor tiempo de exposición genera cambios no deseados en las materias primas alimenticias.
- b. La diferencia de color de la muestra no presenta diferencias significativas con la muestra tratada por 80 °C a su mismo tiempo de ozono ni tampoco difiere de la muestra tratada a 70 °C por 60 minutos de pretratamiento ni de la muestra tratada a esta misma temperatura sin ozonificación.
- c. El daño microscópico observado es significativamente menor a las muestras tratadas a 80 °C por 30 minutos de ozono y no es significativamente mayor respecto a las muestras tratadas a 60 °C por el mismo tiempo de pretratamiento. Y no existe diferencia estadística en comparación a su análoga tratada por 60 minutos de ozono gaseoso.
- d. En cuanto a la textura, sus valores no son estadísticamente diferente respecto a las muestras tratadas por 60 y 80 °C por 30 minutos de ozono. Tampoco de diferencia de la muestra tratada a la misma temperatura, pero por 60 minutos de pretratamiento.
- e. Los valores de porcentaje de rehidratación para esta muestra fueron estadísticamente similares a los de las muestras tratadas a 60 °C con mismo tiempo de ozono y significativamente mayores a las tratadas a 80 °C.
- f. Respecto al recuento de aerobios mesófilos esta muestra no se diferenció estadísticamente con la muestra tratada por 60 minutos de ozono a la misma temperatura ni con el grupo de muestras tratadas a 80 °C para el mismo tiempo

de ozonificación. Para enterobacterias, no existieron diferencias significativas entre la muestra símil pretratada por 60 minutos. En el recuento de *Staphylococcus aureus* el conteo fue significativamente menor que las muestras tratadas a 60 °C por 30 minutos de ozono, además las muestras antes mencionadas (60 °C / 30'ozono) están fuera del límite permitido en cuanto al Reglamento Sanitario de los Alimentos se refiere.

5 CONCLUSIONES

Se logró la aplicación de ozono como pretratamiento para muestras de jibia, realizando su deshidratación para su posterior análisis en parámetros en términos de calidad y microbiológicos.

Las cinéticas de secado demostraron que todos procesos se rigen por una curva de tipo convexa decreciente clásica en la deshidratación de alimentos mediante aire caliente convectivo. Además, se encontró que un aumento en el tiempo de exposición al ozono causa una disminución en la velocidad del secado, en la zona de secado constante del proceso. Además, todos los procesos llegaron a una humedad estadísticamente similar, producto del encostramiento producido en la totalidad de las muestras.

La totalidad de los tratamientos obtuvieron valores de difusividad dentro del rango habitual en lo cual se refiere al secado de alimentos. Se comprobó que un aumento en el tiempo de ozonificación causó un aumento en la difusividad; sin embargo, un tiempo superior a 30 minutos causó una disminución significativa de este valor, causado probablemente por la gran generación de calor que se produce en la producción de ozono, provocando una deshidratación previa al proceso de secado de las muestras. Los valores de energía de activación estuvieron dentro de los esperados para este tipo de materia prima. Asimismo, la aplicación de ozono generó un aumento en la energía de activación en comparación a muestras sin pretreatmento de ozonificación. El modelo de Hii fue el modelo con valores de R^2 altos y χ^2 , SSE y RMSE bajos en todos los tratamientos.

Se observó un aumento de la luminosidad al aumentar el tiempo de exposición de ozono solo en muestras tratadas a 60 °C y al aumentar la temperatura de secado disminuyó de forma significativa para 60 y 70-80 °C. Para el parámetro a^* solo se evidenció un aumento al aumentar el tiempo de ozono para 70 °C y para b^* solo existió una disminución significativa para 30 minutos de ozono a 60 °C. Finalmente, la

diferencia de color (ΔE) aumento de forma significativa al aumentar la temperatura de trabajo de 60 a 70-80 °C independiente del tiempo de exposición de ozono.

A nivel microscópico se comprobó que existe un aumento en la desnaturalización de las proteínas y una reducción de la dimensión de las miofibrillas junto con el colágeno, generando estructuras con poros o cavidades irregulares de una dimensión mayor en cuanto aumenta el tiempo de exposición de ozono. Esto ocurrió para todas las muestras tratadas con ozono a diferentes tiempos para 60 y 70 °C.

En relación con la textura, un aumento en el tiempo de ozonificación se diferenció estadísticamente de las muestras las cuales no fueron tratadas por ozono; sin embargo, para todas las temperaturas de trabajo no existieron diferencias estadísticas entre los tiempos 30 y 60 minutos de exposición. El tiempo de ozonificación es una variable que influyo en mayor medida en las muestras en comparación con la temperatura.

Las muestras tratadas a una menor temperatura y un menor tiempo de ozonificación, en general, tienen porcentajes de rehidratación mayor, llegando a valores de 69,66 %. A su vez las muestras tratadas al tiempo máximo de ozonificación y temperatura de trabajo mayor tuvieron un 21,20 % y los tratamientos en su totalidad tienen un ajuste cinético adecuado tanto para el modelo de Peleg como Weibull siendo el primero el más representativo al comportamiento cinético del rehidratado.

Se determino el recuento microbiológico para aerobios mesófilos (RAM), enterobacterias y *Staphylococcus aureus*. Se probó que el ozono gaseoso en todos sus tiempos de exposición y temperatura de deshidratación, casaron un recuento menor y significativo para todas las bacterias de interés respecto a la muestra fresca. En la comparación de las muestras frescas sin deshidratación, la efectividad antimicrobiana para RAM y *Staphylococcus aureus* no fue significativa entre 30 y 60 minutos de exposición, pero ambos tratamientos difirieron estadísticamente de la muestra fresca sin tratamiento de ozonificación y para enterobacterias todos los tiempos de

exposición tuvieron diferencias significativas entre sí para muestras frescas. En general para todos los grupos de trabajo deshidratados y para los 3 conjuntos de interés bacteriano, una mayor temperatura de deshidratación junto con un mayor tiempo de exposición causó una disminución significativa en el recuento de microorganismos.

El tratamiento previo de ozono gaseoso generado por efecto corona en combinación con aire caliente asistido con infrarrojo, demostró mejorar los parámetros microbiológicos de la carne de jibia, sin embargo se debe tener en consideración las temperaturas de secado a utilizar, junto con la concentración y tiempo de exposición de pretratamiento de ozono, debido a que estos factores pueden afectar parámetros de calidad de la muestra de jibia como quedó demostrado en este estudio, por lo que se debe estudiar individualmente la materia prima a trabajar junto con la concentración y tiempo de ozonificación para que este no afecte significativamente las cualidades de interés de esta.

Este estudio es el primer acercamiento en el uso combinado de ozono gaseoso con secado por aire caliente asistido por infrarrojo de carne de jibia, realizado en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile, aportando conocimiento, innovación e investigación a la disciplina por medio de una materia prima innovadora y tecnologías las cuales no habían sido combinadas en la carrera de Ingeniería en Alimentos y Magíster en Ciencias de los Alimentos de la facultad.

Sería interesante que, en investigaciones futuras se pudiese evaluar otros métodos de secado en combinación con ozono gaseoso generado mediante otras técnicas, utilizando diferentes tiempos de exposición y concentraciones de este gas y ver su efecto sobre las características de diferentes materias primas o el desarrollo de alimentos en base a jibia para consumo humano mediante las técnicas antes mencionadas.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Abdelwahed, W., Degobert, G., Stainmesse, S., & Fessi, H. (2006). Freeze-drying of nanoparticles: Formulation, process and storage considerations. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 58(15), 1688-1713. <https://doi.org/10.1016/J.ADDR.2006.09.017>
- Adachi, D. (2001). *Virus inactivation by ozone*. <https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/15576>
- Afsah-Hejri, L., Hajeb, P., & Ehsani, R. J. (2020). Application of ozone for degradation of mycotoxins in food: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 1777-1808. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12594>
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., Khani, S., & Ghasemi, M. (2009). Mathematical modelling of thin-layer drying of carrot. *International Agrophysics*, 23(4), 313-317. www.international-agrophysics.org
- Aral, S., & Beşe, A. V. (2016). Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. *Food Chemistry*, 210, 577-584. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.04.128>
- Ayranci, U. G., Ozunlu, O., Ergezer, H., & Karaca, H. (2019). Effects of Ozone Treatment on Microbiological Quality and Physicochemical Properties of Turkey Breast Meat. <https://doi.org/10.1080/01919512.2019.1653168>, 42(1), 95-103. <https://doi.org/10.1080/01919512.2019.1653168>
- Babić, J., Cantalejo, M. J., & Arroqui, C. (2009). The effects of freeze-drying process parameters on Broiler chicken breast meat. *LWT - Food Science and Technology*, 42(8), 1325-1334. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2009.03.020>
- Barreiro, J., & Sandoval, A. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas* - Google Libros. Equinoccio. https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=r7y3XuFAB8UC&oi=fnd&pg=PA113&ots=VQVBylxSow&sig=wAfB0R5qkM8C0qITFxGgEl1rt8Q&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Beber-Rodrigues, M., Savi, G. D., & Scussel, V. M. (2015). Ozone Effect on Fungi Proliferation and Genera Susceptibility of Treated Stored Dry Paddy Rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Food Safety*, 35(1), 59-65. <https://doi.org/10.1111/JFS.12144>
- Bechlin, T. R., Granella, S. J., Christ, D., Coelho, S. R. M., & Paz, C. H. de O. (2020). Effects of ozone application and hot-air drying on orange peel: moisture diffusion, oil yield, and antioxidant activity. *Food and Bioprocess Technology*, 13, 80-89. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2020.06.012>
- Bellagha, S., Amami, E., Farhat, A., & Kechaou, N. (2007). DRYING KINETICS AND CHARACTERISTIC DRYING CURVE OF LIGHTLY SALTED SARDINE (*SARDINELLA AURITA*). <http://dx.doi.org/10.1081/DRT-120005866>, 20(7), 1527-1538. <https://doi.org/10.1081/DRT-120005866>
- Bennamoun, L., & Li, J. (2018). Drying Process of Food: Fundamental Aspects and Mathematical Modeling. *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes*, 29-82. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00002-8>
- Benseddik, A., Azzi, A., Zidoune, M. N., Khanniche, R., & Besombes, C. (2019). Empirical and diffusion models of rehydration process of differently dried pumpkin slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 401-410. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2018.01.003>

- Bialka, K. L., & Demirci, A. (2007). Decontamination of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella enterica on blueberries using ozone and pulsed UV-light. *Journal of Food Science*, 72(9). <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2007.00517.X>
- Brodowska, A. J., Nowak, A., & Śmigielski, K. (2017). Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview. *https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1308313*, 58(13), 2176-2201. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1308313>
- Calderón-guzmán, D., Luis Hernández-islas, J., Castilla-serna, L., Hernández-garcía, E., Barragán-mejía, G., Antonio Rodríguez-pérez, R., Villegas-osnaya, G., & Calderón-Gúzman, D. (2000). El ozono como molécula reactiva El ozono como molécula reactiva. Concepto actual Artemisa medigraphic en línea. *Perinatol Reprod Hum*, 14(2), 115-123.
- Cantalejo, M. J., Zouaghi, F., & Pérez-Arnedo, I. (2016). Combined effects of ozone and freeze-drying on the shelf-life of Broiler chicken meat. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 400-407. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.12.058>
- Castoldi, M., Zotarelli, M. F., Durigon, A., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2015). Production of Tomato Powder by Refractance Window Drying. <http://dx.doi.org.uchile.idm.oclc.org/10.1080/07373937.2014.989327>, 33(12), 1463-1473. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.989327>
- Castro, A. M., Mayorga, E. Y., & Moreno, F. L. (2018). Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. *Journal of Food Engineering*, 223, 152-167. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.12.012>
- Cataldo, F. (2006a). DNA degradation with ozone. *International journal of biological macromolecules*, 38(3-5), 248-254. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2006.02.029>
- Cataldo, F. (2006b). Ozone degradation of biological macromolecules: Proteins, hemoglobin, RNA, and DNA. *Ozone: Science and Engineering*, 28(5), 317-328. <https://doi.org/10.1080/01919510600900290>
- CFR. (2001). *CFR - Code of Federal Regulations Title 21*. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=173.368>
- Chandramohan, V. P. (2020). Convective drying of food materials: An overview with fundamental aspect, recent developments, and summary. *Heat Transfer*, 49(3), 1281-1313. <https://doi.org/10.1002/HTJ.21662>
- Chang, H. J., Xu, X. L., Li, C. B., Huang, M., Liu, D. Y., & Zhou, G. H. (2011). A COMPARISON OF HEAT-INDUCED CHANGES OF INTRAMUSCULAR CONNECTIVE TISSUE AND COLLAGEN OF BEEF SEMITENDINOSUS MUSCLE DURING WATER BATH AND MICROWAVE HEATING. *Journal of Food Process Engineering*, 34(6), 2233-2250. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4530.2009.00568.X>
- Chen, F. F., & Chang, J. P. (2003). *Lecture notes on principles of plasma processing*. Springer Science & Business Media. https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=fZgdq_9y_ekC&oi=fnd&pg=PA1&ots=k56LWqDBMI&sig=lcwK7JKlyYNx9S_KA6Ju_nVr8xk
- Cherono, K., Mwithiga, G., & Schmidt, S. (2016). Infrared drying as a potential alternative to convective drying for biltong production. *Italian Journal of Food Safety*, 5(3), 5625. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2016.5625>
- Cho, M., Chung, H., & Yoon, J. (2002). Effect of pH and importance of ozone initiated radical reactions in inactivating Bacillus subtilis spore. *Ozone: Science and Engineering*, 24(2), 145-150. <https://doi.org/10.1080/01919510208901605>
- Cihan, A., & Ece, M. C. (2001). Liquid diffusion model for intermittent drying of rough rice. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 327-331. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00230-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00230-2)

- Coll Cárdenas, F., Andrés, S., Giannuzzi, L., & Zaritzky, N. (2011). Antimicrobial action and effects on beef quality attributes of a gaseous ozone treatment at refrigeration temperatures. *Food Control*, 22(8), 1442-1447. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2011.03.006>
- Crowe, K. M., Skonberg, D., Bushway, A., & Baxter, S. (2012). Application of ozone sprays as a strategy to improve the microbial safety and quality of salmon fillets. *Food Control*, 25(2), 464-468. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2011.11.021>
- Cruz, M. (2022). *EFICIENCIA DE LOS ADITIVOS ALIMENTARIOS NOVOGIGAS LC Y ACUATIC II COMO REDUCTORES DE ACIDEZ EN TENTÁCULOS DE CALAMAR GIGANTE (Dosidicus gigas)* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA]. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/3513/IPES-CRU-ORT-2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cunningham, S. E., McMinn, W. A. M., Magee, T. R. A., & Richardson, P. S. (2007). Modelling water absorption of pasta during soaking. *Journal of Food Engineering*, 82(4), 600-607. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2007.03.018>
- Delfiya, D. S. A., Prashob, K., Murali, S., Alfiya, P. V., Samuel, M. P., & Pandiselvam, R. (2022). Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 45(6), e13810. <https://doi.org/10.1111/JFPE.13810>
- Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Pan, Z., Vidyarthi, S. K., Xu, J., Zielinska, M., & Xiao, H. W. (2020). Emerging chemical and physical disinfection technologies of fruits and vegetables: a comprehensive review. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1649633>, 60(15), 2481-2508. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1649633>
- Deng, Y., Luo, Y., Wang, Y., Yue, J., Liu, Z., Zhong, Y., Zhao, Y., & Yang, H. (2014). Drying-induced protein and microstructure damages of squid fillets affected moisture distribution and rehydration ability during rehydration. *Journal of Food Engineering*, 123, 23-31. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2013.09.006>
- Dewi, R. S., Huda, N., & Ahmad, R. (2011). Changes in the physicochemical properties, microstructure and sensory characteristics of shark dendeng using different drying methods. *American Journal of Food Technology*, 6(2), 149-157.
- Ding, T., Rahman, S. M. E., & Oh, D. H. (2011). Inhibitory effects of low concentration electrolyzed water and other sanitizers against foodborne pathogens on oyster mushroom. *Food Control*, 22(2), 318-322. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2010.07.030>
- do Nascimento Silveira Dorneles, L., Luís Duarte Goneli, A., Andrea Lima Cardoso, C., Bezerra da Silva, C., Rosemari Hauth, M., Cardoso Oba, G., & Schoeninger, V. (2019). Effect of air temperature and velocity on drying kinetics and essential oil composition of Piper umbellatum L. leaves. *Industrial Crops and Products*, 142, 111846. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2019.111846>
- Dongbang, W., & Matthujak, A. (2013). Anchovy drying using infrared radiation. *American Journal of Applied Sciences*, 10(4), 353-360. <https://doi.org/10.3844/AJASSP.2013.353.360>
- El-Desouky, T. A., Sharoba, A., El-Desouky, A. I., El-Mansy, H. A., & Naguib, K. (2012). Effect of Ozone Gas on Degradation of Aflatoxin B1 and Aspergillus Flavus Fungal. *Article in Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 2(2), 128. <https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000128>
- El-Mesery, H. S., & Mwithiga, G. (2015). Performance of a convective, infrared and combined infrared- convective heated conveyor-belt dryer. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 2721-2730. <https://doi.org/10.1007/S13197-014-1347-1/FIGURES/10>
- Erbay, Z., & Icier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(5), 441-464. <https://doi.org/10.1080/10408390802437063>

- Flyunt, R., Theruvathu, J. A., Leitzke, A., & Von Sonntag, C. (2002). The reactions of thymine and thymidine with ozone. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 2*, 2(9), 1572-1582. <https://doi.org/10.1039/B204067K>
- Freitas-Silva, O., & Venâncio, A. (2010). Ozone applications to prevent and degrade mycotoxins: a review. <http://dx.doi.org/10.3109/03602532.2010.484461>, 42(4), 612-620. <https://doi.org/10.3109/03602532.2010.484461>
- Fu, X. Y., Xue, C. H., Miao, B. C., Li, Z. J., Zhang, Y. qin, & Wang, Q. (2007). Effect of processing steps on the physico-chemical properties of dried-seasoned squid. *Food Chemistry*, 103(2), 287-294. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2006.07.047>
- García Martínez, E., & Fernández Segovia, I. (2012). *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación*.
- García-Pascual, P., Sanjuán, N., Melis, R., & Mulet, A. (2006). Morchella esculenta (morel) rehydration process modelling. *Journal of Food Engineering*, 72(4), 346-353. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2004.12.014>
- Gómez-Ramírez, A., Rico, V. J., Cotrino, J., González-Elipe, A. R., & Lambert, R. M. (2014). Low temperature production of formaldehyde from carbon dioxide and ethane by plasma-Assisted catalysis in a ferroelectrically moderated dielectric barrier discharge reactor. *ACS Catalysis*, 4(2), 402-408. <https://doi.org/10.1021/CS4008528>
- Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2009). Modeling the Rehydration Process of Dried Tomato. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930903218677>, 27(10), 1078-1088. <https://doi.org/10.1080/07373930903218677>
- Guizani, N., Al-Shoukri, A. O., Mothershaw, A., & Rahman, M. S. (2008). Effects of Salting and Drying on Shark (*Carcharhinus sorrah*) Meat Quality Characteristics. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930802046294>, 26(6), 705-713. <https://doi.org/10.1080/07373930802046294>
- Guzel-Seydim, Z. B., Greene, A. K., & Seydim, A. C. (2004). Use of ozone in the food industry. *LWT - Food Science and Technology*, 37(4), 453-460. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2003.10.014>
- Güzel-Seydim, Z., Bever, P. I., & Greene, A. K. (2004). Efficacy of ozone to reduce bacterial populations in the presence of food components. *Food Microbiology*, 21(4), 475-479. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2003.10.001>
- Hebbbar, H. U., Vishwanathan, K. H., & Ramesh, M. N. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 65(4), 557-563. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2004.02.020>
- Hii, C. L., Law, C. L., & Cloke, M. (2009). Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. *Journal of Food Engineering*, 90(2), 191-198. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2008.06.022>
- Hogekamp, S., & Schubert, H. (2003). Rehydration of Food Powders. <http://dx.doi.org/10.1177/1082013203034938>, 9(3), 223-235. <https://doi.org/10.1177/1082013203034938>
- Huang, H., Sun, W., Xiong, G., Shi, L., Jiao, C., Wu, W., Li, X., Qiao, Y., Liao, L., Ding, A., & Wang, L. (2020). Effects of HVEF treatment on microbial communities and physicochemical properties of catfish fillets during chilled storage. *LWT*, 131, 109667. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109667>
- İbanoğlu, Ş. (2023). Applications of ozonation in the food industry. *Non-thermal Food Processing Operations*, 55-91. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818717-3.00003-2>
- Instituto del Mar del Perú, & Instituto Tecnológico Pesquero del Perú. (1996). *COMPENDIO BIOLOGICO TECNOLOGICO DE LAS PRINCIPALES ESPECIES HIDROBIOLOGICAS COMERCIALES DEL PERU*. 1-146.

- Inyang, U. E., Oboh, I. O., & Etuk, B. R. (2018). Kinetic Models for Drying Techniques—Food Materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 08(02), 27-48. <https://doi.org/10.4236/ACES.2018.82003>
- Janjai, S., Lamlert, N., Hee, B. M., Bala, B. K., Precoppe, M., & Muller, J. (2011). Thin layer drying of peeled longan (*Dimocarpus longan* Lour.). *Food Science and Technology Research*, 17(4), 279-288. <https://doi.org/10.3136/FSTR.17.279>
- Jeevarathinam, G., Pandiselvam, R., Pandiarajan, T., Preetha, P., Balakrishnan, M., Thirupathi, V., & Kothakota, A. (2021). Infrared assisted hot air dryer for turmeric slices: Effect on drying rate and quality parameters. *LWT*, 144, 111258. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111258>
- Jéssica, L., Vega-Gálvez, A., Torres, M. J., Lemus-Mondaca, R., Quispe-Fuentes, I., & Di Scala, K. (2013). Effect of dehydration temperature on physico-chemical properties and antioxidant capacity of goldenberry (*Physalis peruviana* L.). *Chilean journal of agricultural research*, 73(3), 293-300. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000300013>
- Junqueira, J. R. de J., Corrêa, J. L. G., de Oliveira, H. M., Ivo Soares Avelar, R., & Salles Pio, L. A. (2017). Convective drying of cape gooseberry fruits: Effect of pretreatments on kinetics and quality parameters. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 404-410. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.04.072>
- Kerr, W. L. (2019). Food Drying and Evaporation Processing Operations. *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering*, 353-387. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814803-7.00014-2>
- Khanashyam, A. C., Shanker, M. A., Kothakota, A., Mahanti, N. K., & Pandiselvam, R. (2021). Ozone Applications in Milk and Meat Industry. <https://doi.org/10.1080/01919512.2021.1947776>, 44(1), 50-65. <https://doi.org/10.1080/01919512.2021.1947776>
- Kim, C., & Hung, Y. C. (2012). Inactivation of *E. coli* O157:H7 on Blueberries by Electrolyzed Water, Ultraviolet Light, and Ozone. *Journal of Food Science*, 77(4), M206-M211. <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2011.02595.X>
- Kim, J. G., Yousef, A. E., & Dave, S. (1999). Application of Ozone for Enhancing the Microbiological Safety and Quality of Foods: A Review. *Journal of Food Protection*, 62(9), 1071-1087. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-62.9.1071>
- Kim, J. G., Yousef, A. E., & Khadre, M. A. (2003). Ozone and its current and future application in the food industry. *Advances in Food and Nutrition Research*, 45, 167-218. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(03\)45005-5](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(03)45005-5)
- Kipcak, A. S., Doymaz, İ., & Derun, E. M. (2019). Infrared drying kinetics of blue mussels and physical properties. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 25(1), 1-10. <https://doi.org/10.2298/CICEQ170808014K>
- Kitsuka, K., Kaneda, K., Ikematsu, M., Iseki, M., Mushiake, K., & Ohsaka, T. (2009). Ex situ and in situ characterization studies of spin-coated TiO₂ film electrodes for the electrochemical ozone production process. *Electrochimica Acta*, 55(1), 31-36. <https://doi.org/10.1016/J.ELECTACTA.2009.07.059>
- Klockow, P. A., & Keener, K. M. (2009). Safety and quality assessment of packaged spinach treated with a novel ozone-generation system. *LWT - Food Science and Technology*, 42(6), 1047-1053. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2009.02.011>
- Kogelschatz, U. (2003). Dielectric-barrier discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 23(1), 1-46. <https://doi.org/10.1023/A:1022470901385/METRICS>
- Kong, F., Tang, J., Rasco, B., Crapo, C., & Smiley, S. (2007). Quality Changes of Salmon (*Oncorhynchus gorbusha*) Muscle during Thermal Processing. *Journal of Food Science*, 72(2), S103-S111. <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2006.00246.X>

- Krishnamurthy, K., Khurana, H. K., Soojin, J., Irudayaraj, J., & Demirci, A. (2008). Infrared Heating in Food Processing: An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), 2-13. <https://doi.org/10.1111/J.1541-4337.2007.00024.X>
- Kucuk, H., Midilli, A., Kilic, A., & Dincer, I. (2014). A Review on Thin-Layer Drying-Curve Equations. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2013.873047>, 32(7), 757-773. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.873047>
- Lemus-Mondaca, R., Pizarro-Oteiza, S., Perez-Won, M., & Tabilo-Munizaga, G. (2018). Convective Drying of Osmo-Treated Abalone (*Haliotis rufescens*) Slices: Diffusion, Modeling, and Quality Features. *Journal of Food Quality*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6317943>
- Lepetit, J., Grajales, A., & Favier, R. (2000). Modelling the effect of sarcomere length on collagen thermal shortening in cooked meat: consequence on meat toughness. *Meat Science*, 54(3), 239-250. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00086-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00086-8)
- Liao, X., Su, Y., Liu, D., Chen, S., Hu, Y., Ye, X., Wang, J., & Ding, T. (2018). Application of atmospheric cold plasma-activated water (PAW) ice for preservation of shrimps (*Metapenaeus ensis*). *Food Control*, 94, 307-314. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2018.07.026>
- Ling, J., Teng, Z. S., Lin, H. J., & Wen, H. (2017). Infrared drying kinetics and moisture diffusivity modeling of pork. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(3), 302-311. <https://doi.org/10.3965/J.IJABE.20171003.2518>
- Liu, B., Ji, J., Zhang, B., Huang, W., Gan, Y., Leung, D. Y. C., & Huang, H. (2022). Catalytic ozonation of VOCs at low temperature: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*, 422, 126847. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.126847>
- Liu, Z. L., Bai, J. W., Wang, S. X., Meng, J. S., Wang, H., Yu, X. L., Gao, Z. J., & Xiao, H. W. (2019). Prediction of energy and exergy of mushroom slices drying in hot air impingement dryer by artificial neural network. <https://doi.org/uchile.idm.oclc.org/10.1080/07373937.2019.1607873>, 38(15), 1959-1970. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1607873>
- Lopez-Quiroga, E., Prosapio, V., Fryer, P. J., Norton, I. T., & Bakalis, S. (2019). A model-based study of rehydration kinetics in freeze-dried tomatoes. *Energy Procedia*, 161, 75-82. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2019.02.060>
- Mansas, C., Mendret, J., Brosillon, S., & Ayril, A. (2020). Coupling catalytic ozonation and membrane separation: A review. *Separation and Purification Technology*, 236, 116221. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2019.116221>
- Marabi, A., Livings, S., Jacobson, M., & Saguy, I. S. (2003). Normalized Weibull distribution for modeling rehydration of food particulates. *European Food Research and Technology*, 217(4), 311-318. <https://doi.org/10.1007/S00217-003-0719-Y/TABLES/8>
- Marella, C., and, K. M.-J. of F. P., & 2013, undefined. (s. f.). Processing aids for improving heat transfer during drying of granular food materials. cabdirect.org. Recuperado 6 de abril de 2023, de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133378993>
- Marella, C., & Muthukumarappan, K. (2013). Processing aids for improving heat transfer during drying of granular food materials. *Journal of Food Processing and Technology*, 4(8).
- Marín B., E., Lemus M., R., Flores M., V., & Vega G., A. (2006). LA REHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS DESHIDRATADOS. *Revista chilena de nutrición*, 33(3), 527-538. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182006000500009>
- Marinos-Kouris, D., & Maroulis, Z. B. (1995). Transport Properties in the Drying of Solids. *Handbook of Industrial Drying*, 113-159. <https://doi.org/10.1201/9780429289774-4>
- Marriott, N. G., Schilling, W., & Gravani, R. B. (2006). *Food Science Text Series Principles of Food Sanitation Sixth Edition*. <http://www.springer.com/series/5999>

- Méndez, A., & De Damas, M. (2014). *Plasmas de Descarga de Barrera Dieléctrica con Empaquetamiento Ferroeléctrico a Presión Atmosférica Aplicados a la Producción de Hidrógeno, Amoníaco y a la Descontaminación de Aire*.
- Meseguer, J., Pérez-Grande, I., & Sanz-Andrés, A. (2012). Thermal radiation heat transfer. *Spacecraft Thermal Control*, 73-86. <https://doi.org/10.1533/9780857096081.73>
- Ministerio de Economía-Fomento y Turismo. (2015). *Resolución 4866 EXENTA 22-DIC-2014 MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y TURISMO, SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA, SERVICIO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA, DIRECCIÓN NACIONAL - Biblioteca del Congreso Nacional*. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1072843>
- Ministerio de Salud. (2023). *REGLAMENTO SANITARIO DE LOS ALIMENTOS*. <https://www.dinta.cl/wp-content/uploads/2023/03/RSA-decreto-977-96-act-al-26-01-23.pdf>
- Moreira, R., Chenlo, F., Chaguri, L., & Fernandes, C. (2008). Water absorption, texture, and color kinetics of air-dried chestnuts during rehydration. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 584-594. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2007.11.012>
- Mouele, E. S. M., Tijani, J. O., Badmus, K. O., Perea, O., Babajide, O., Fatoba, O. O., Zhang, C., Shao, T., Sosnin, E., Tarasenko, V., Laatikainen, K., & Petrik, L. F. (2021). A critical review on ozone and co-species, generation and reaction mechanisms in plasma induced by dielectric barrier discharge technologies for wastewater remediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 105758. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2021.105758>
- Muga, F. C., Marennya, M. O., & Workneh, T. S. (2021). Modelling the Thin-Layer Drying Kinetics of Marinated Beef during Infrared-Assisted Hot Air Processing of Biltong. *International Journal of Food Science*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8819780>
- Muhlisin, Cho, Y., Choi, J. H., Hahn, T. W., & Lee, S. K. (2015). Bacterial Counts and Oxidative Properties of Chicken Breast Inoculated with Salmonella Typhimurium Exposed to Gaseous Ozone. *Journal of Food Safety*, 35(1), 137-144. <https://doi.org/10.1111/JFS.12161>
- Mujaffar, S., & Sankat, C. K. (2005). The air drying behaviour of shark fillets. *CANADIAN BIOSYSTEMS ENGINEERING*, 47(11). <https://www.researchgate.net/publication/236964732>
- Neely, A. N., & Maley, M. P. (2000). Survival of enterococci and staphylococci on hospital fabrics and plastic. *Journal of Clinical Microbiology*, 38(2), 724-726. <https://doi.org/10.1128/JCM.38.2.724-726.2000>
- Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F., & Mortazavi, S. A. (2012). KINETIC MODELING OF REHYDRATION IN AIR-DRIED QUINCES PRETREATED WITH OSMOTIC DEHYDRATION AND ULTRASONIC. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(5), 383-392. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4549.2011.00593.X>
- Novak, J. S., & Yuan, J. T. C. (2004). Increased Inactivation of Ozone-Treated Clostridium perfringens Vegetative Cells and Spores on Fabricated Beef Surfaces Using Mild Heat. *Journal of Food Protection*, 67(2), 342-346. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.2.342>
- O'Donnell, C., Tiwari, B., Cullen, P., & Rice, R. (2012). *Ozone in food processing*. John Wiley & Sons. https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=8Dw-HdFvpkYC&oi=fnd&pg=PR12&ots=E-8o_GfFAz&sig=zLkInbqGvkHVfWRdQMSIbd1vsVg
- Ölmez, H., & Temur, S. D. (2010). Effects of different sanitizing treatments on biofilms and attachment of Escherichia coli and Listeria monocytogenes on green leaf lettuce. *LWT - Food Science and Technology*, 43(6), 964-970. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2010.02.005>
- Oner, M. E., & Demirci, A. (2016). Ozone for Food Decontamination: Theory and Applications. *Handbook of Hygiene Control in the Food Industry: Second Edition*, 491-501. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100155-4.00033-9>

- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., & Abdan, K. (2016). Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 599-618. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196>
- Ortega, Y. R., Torres, M. P., & Tatum, J. M. (2011). Efficacy of Levulinic Acid-Sodium Dodecyl Sulfate against *Encephalitozoon intestinalis*, *Escherichia coli* O157:H7, and *Cryptosporidium parvum*. *Journal of Food Protection*, 74(1), 140-144. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-10-104>
- Ortiz, J., Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Puente-Díaz, L., Zura-Bravo, L., & Aubourg, S. (2013). Influence of air-drying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. *Food Chemistry*, 139(1-4), 162-169. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.01.037>
- Pan, C., Chen, S., Hao, S., & Yang, X. (2019). Effect of low-temperature preservation on quality changes in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(14), 6121-6128. <https://doi.org/10.1002/JSFA.9905>
- Pan, Z., Venkitasamy, C., & Li, X. (2016). Infrared Processing of Foods. *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03105-X>
- Panagiotou, N. M., Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., & Saravacos, G. D. (2007). Moisture Diffusivity: Literature Data Compilation for Foodstuffs. <http://dx.doi.org/10.1081/JFP-120030038>, 7(2), 273-299. <https://doi.org/10.1081/JFP-120030038>
- Pandiselvam, R., Singh, A., Agriopoulou, S., Sachadyn-Król, M., Aslam, R., Gonçalves Lima, C. M., Khanashyam, A. C., Kothakota, A., Atakan, O., Kumar, M., Mathanghi, S. K., & Mousavi Khaenegah, A. (2022). A comprehensive review of impacts of ozone treatment on textural properties in different food products. *Trends in Food Science & Technology*, 127, 74-86. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.06.008>
- Pandiselvam, R., Sunoj, S., Manikantan, M. R., Kothakota, A., & Hebbar, K. B. (2017). Application and Kinetics of Ozone in Food Preservation. <http://dx.doi.org/10.1080/01919512.2016.1268947>, 39(2), 115-126. <https://doi.org/10.1080/01919512.2016.1268947>
- Pascual, A., Llorca, I., & Canut, A. (2007). Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. *Trends in Food Science & Technology*, 18(SUPPL. 1), S29-S35. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2006.10.006>
- Pashazadeh, H., Zannou, O., & Koca, I. (2020). Modeling of drying and rehydration kinetics of *Rosa pimpinellifolia* fruits: Toward formulation and optimization of a new tea with high antioxidant properties. *Journal of Food Process Engineering*, 43(10), e13486. <https://doi.org/10.1111/JFPE.13486>
- Patil, S., Valdramidis, V. P., Cullen, P. J., Frias, J. M., & Bourke, P. (2010). Ozone inactivation of acid stressed *Listeria monocytogenes* and *Listeria innocua* in orange juice using a bubble column. *Food Control*, 21(12), 1723-1730. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2010.04.031>
- Pham, N. D., Khan, M. I. H., & Karim, M. A. (2020). A mathematical model for predicting the transport process and quality changes during intermittent microwave convective drying. *Food Chemistry*, 325, 126932. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.126932>
- Pian, M. H., Dong, L., Yu, Z. T., Wei, F., Li, C. Y., Fan, D. C., Li, S. J., Zhang, Y., & Wang, S. (2022). Ozone-Microbubble-Washing with Domestic Equipment: Effects on the Microstructure, and Lipid and Protein Oxidation of Muscle Foods. *Foods*, 11(7), 903. <https://doi.org/10.3390/FOODS11070903/S1>
- Popa, G. N., Popa, L., & Dinis, C. M. (2021). Ozone and anions generator for disinfection of enclosed spaces. *Journal of Physics: Conference Series*, 1781(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1781/1/012047>

- Prabha, V., Barma, R. D., Singh, R., & Madan, A. (2015). *Ozone Technology in Food Processing: A Review*.
- Prabhakar, G., & Raju, D. C. (2000). Drying technology in agriculture and food sciences. *Drying technology in agriculture and food sciences.*, 85-89.
- Pryor, W. A. (1994). Mechanisms of radical formation from reactions of ozone with target molecules in the lung. *Free Radical Biology and Medicine*, 17(5), 451-465. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(94\)90172-4](https://doi.org/10.1016/0891-5849(94)90172-4)
- Qian, Y. F., Zhang, J. J., Liu, C. C., Ertbjerg, P., & Yang, S. P. (2022). Effects of gaseous ozone treatment on the quality and microbial community of salmon (*Salmo salar*) during cold storage. *Food Control*, 142, 109217. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2022.109217>
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 311-319.
- Rodriguez-Romo, L. A., Vurma, M., Lee, K., & Yousef, A. E. (2007). Research Note: Penetration of Ozone Gas Across the Shell of Hen Eggs. <http://dx.doi.org/10.1080/01919510601187087>, 29(2), 147-150. <https://doi.org/10.1080/01919510601187087>
- Rojas, M. L., & Augusto, P. E. D. (2018). Microstructure elements affect the mass transfer in foods: The case of convective drying and rehydration of pumpkin. *LWT*, 93, 102-108. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.03.031>
- Sadeghi, E., Haghghi Asl, A., & Movagharnjad, K. (2020). Optimization and quality evaluation of infrared-dried kiwifruit slices. *Food Science & Nutrition*, 8(2), 720-734. <https://doi.org/10.1002/FSN3.1253>
- Salcedo Palomino, F. (2015). «ELABORACIÓN DE HOJUELA DULCE A PARTIR DEL MANTO MOLIDO DE POTA (*Dosidicus gigas*) CON QUINUA (*Chenopodium quinoa*)». <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1368971>
- Segurondo Loza, R., & Cortez Quisbert, V. (2020). Determinación de la rancidez en aceites usados en el proceso de frituras en establecimientos de expendio de comida rápida. *Revista CON-CIENCIA*, 8(2), 115-128. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-02652020000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Selma, M. V., Ibáñez, A. M., Allende, A., Cantwell, M., & Suslow, T. (2008). Effect of gaseous ozone and hot water on microbial and sensory quality of cantaloupe and potential transference of *Escherichia coli* O157:H7 during cutting. *Food Microbiology*, 25(1), 162-168. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2007.06.003>
- SERNAPESCA. (2014). *Res. Ex. N°4866-2014 Aprobación de Sistemas de Tratamiento de las Aguas 2014-12-09 | Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura*. <http://www.sernapesca.cl/normativa-relacionada/res-ex-ndeg4866-2014-aprobacion-de-sistemas-de-tratamiento-de-las-aguas-2014>
- Shelake, P. S., Mohapatra, D., Tripathi, M. K., & Giri, S. K. (2022). Explicating the effect of the ozonation on quality parameters of onion (*Allium cepa* L.) in terms of pungency, phenolics, antioxidant activity, colour, and microstructure. <https://doi.org/uchile.idm.oclc.org/10.1080/01919512.2022.2037404>, 45(1), 75-88. <https://doi.org/10.1080/01919512.2022.2037404>
- Shen, S. C., Tseng, K. C., & Wu, J. S. B. (2007). An analysis of Maillard reaction products in ethanolic glucose–glycine solution. *Food Chemistry*, 102(1), 281-287. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2006.05.018>
- Shynkaryk, M. V., Pyatkovskyy, T., Mohamed, H. M., Yousef, A. E., & Sastry, S. K. (2015). Physics of Fresh Produce Safety: Role of Diffusion and Tissue Reaction in Sanitization of Leafy Green Vegetables with Liquid and Gaseous Ozone-Based Sanitizers. *Journal of Food Protection*, 78(12), 2108-2116. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-290>

- Singh, N., Singh, R. K., Bhunia, A. K., & Stroshine, R. L. (2002). Efficacy of Chlorine Dioxide, Ozone, and Thyme Essential Oil or a Sequential Washing in Killing Escherichia coli O157:H7 on Lettuce and Baby Carrots. *LWT*, 35(8), 720-729. <https://doi.org/10.1006/FSTL.2002.0933>
- Sivaranjani, S., Prasath, V. A., Pandiselvam, R., Kothakota, A., & Mousavi Khaneghah, A. (2021). Recent advances in applications of ozone in the cereal industry. *LWT*, 146, 111412. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111412>
- SUBPESCA. (2017). *INFORME FINAL Evaluación directa de jibia en la zona centro sur. Propuesta metodológica*. https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-92073_informe_final.pdf
- SUBPESCA. (2018). *ACCESO A LAS VACANTES DEL REGISTRO PESQUERO ARTESANAL (RPA) PARA LA PESQUERÍA DE JIBIA O CALAMAR ROJO (Dosidicus gigas)*. http://www-old.subpesca.cl/transparencia/documentos/2018/RPESQ_020-2018_Acceso_a_las_vacantes_del_RPA_para_la_pesqueria_de_jibia_o_calamar_rojo_2017_f.pdf
- SUBPESCA. (2023). *Jibia - SUBPESCA. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura*. <https://www.subpesca.cl/portal/616/w3-article-85094.html>
- Sudheer, S., Yeoh, W. K., Manickam, S., & Ali, A. (2016). Effect of ozone gas as an elicitor to enhance the bioactive compounds in Ganoderma lucidum. *Postharvest Biology and Technology*, 117, 81-88. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2016.01.014>
- Sun, Y., Wang, Q., Jin, H., Li, Z., & Sheng, L. (2021). Impact of ozone-induced oxidation on the textural, moisture, micro-rheology and structural properties of egg yolk gels. *Food Chemistry*, 361, 130075. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130075>
- Taghinezhad, E., Kaveh, M., & Szumny, A. (2021). Optimization and Prediction of the Drying and Quality of Turnip Slices by Convective-Infrared Dryer under Various Pretreatments by RSM and ANFIS Methods. *Foods* 2021, Vol. 10, Page 284, 10(2), 284. <https://doi.org/10.3390/FOODS10020284>
- Theruvathu, J. A., Flyunt, R., Aravindakumar, C. T., & Sonntag, C. von. (2001). Rate constants of ozone reactions with DNA, its constituents and related compounds. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 2*, 3, 269-274. <https://doi.org/10.1039/B009388M>
- Tiwari, B. K., Brennan, C. S., Curran, T., Gallagher, E., Cullen, P. J., & O' Donnell, C. P. (2010). Application of ozone in grain processing. *Journal of Cereal Science*, 51(3), 248-255. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2010.01.007>
- Trinetta, V., Vaidya, N., Linton, R., & Morgan, M. (2011). A comparative study on the effectiveness of chlorine dioxide gas, ozone gas and e-beam irradiation treatments for inactivation of pathogens inoculated onto tomato, cantaloupe and lettuce seeds. *International Journal of Food Microbiology*, 146(2), 203-206. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2011.02.014>
- Umesh Hebbar, H., & Rastogi, N. K. (2001). Mass transfer during infrared drying of cashew kernel. *Journal of Food Engineering*, 47(1), 1-5. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00088-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00088-1)
- Uribe, E., Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Quispe, I., Clavería, R., & Di Scala, K. (2011). Mass Transfer Modelling During Osmotic Dehydration of Jumbo Squid (*Dosidicus gigas*): Influence of Temperature on Diffusion Coefficients and Kinetic Parameters. *Food and Bioprocess Technology*, 4(2), 320-326. <https://doi.org/10.1007/S11947-010-0336-2/FIGURES/2>
- Valenzuela, R., Tapia, G., González, M., & Valenzuela, A. (2011). ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3 (EPA Y DHA) Y SU APLICACIÓN EN DIVERSAS SITUACIONES CLÍNICAS OMEGA-3 FATTY ACIDS (EPA AND DHA) AND ITS APPLICATION IN DIVERSE CLINICAL SITUATIONS. *Rev Chil Nutr*, 38.
- Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Plaza-Sáez, D., & Pérez-Won, M. (2011). Effect of air-temperature and diet composition on the drying process of pellets for japanese abalone

- (*Haliotis discus hannai*) feeding. *Food Science and Technology*, 31(3), 694-702. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000300022>
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Clavería, R., Quispe, I., Vergara, J., Uribe, E., Paez, H., & Di Scala, K. (2011). Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmotreated jumbo squid (*Dosidicus gigas*). *LWT - Food Science and Technology*, 44(1), 16-23. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2010.06.012>
- Vijay Rakesh Reddy, S., Sudhakar Rao, D. V., Sharma, R. R., Preethi, P., & Pandiselvam, R. (2021). Role of Ozone in Post-Harvest Disinfection and Processing of Horticultural Crops: A Review. <https://doi.org/10.1080/01919512.2021.1994367>, 44(1), 127-146. <https://doi.org/10.1080/01919512.2021.1994367>
- Vurma, M., Pandit, R. B., Sastry, S. K., & Yousef, A. E. (2009). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and Natural Microbiota on Spinach Leaves Using Gaseous Ozone during Vacuum Cooling and Simulated Transportation. *Journal of Food Protection*, 72(7), 1538-1546. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-72.7.1538>
- Wang, W., Zhu, Z., Wang, C., Zhou, F., Yu, H., Zhang, Y., Zhou, W., Yang, J., Zhu, Q., Chen, Y., Pan, S., Yan, W., & Wang, L. (2023). Post-drying decontamination of laver by dielectric barrier discharge plasma, UV radiation, ozonation, and hot air treatments. *LWT*, 176, 114518. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114518>
- Wang, Y., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Chen, H. (2014). Drying and Quality Characteristics of Shredded Squid in an Infrared-Assisted Convective Dryer. <https://doi.org/uchile.idm.oclc.org/10.1080/07373937.2014.952379>, 32(15), 1828-1839. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.952379>
- Watson, I., Kamble, P., Shanks, C., Khan, Z., & El Darra, N. (2020). Decontamination of chilli flakes in a fluidized bed using combined technologies: Infrared, UV and ozone. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 102248. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2019.102248>
- Weerts, A. H., Martin, D. R., Lian, G., & Melrose, J. R. (2005). Modelling the hydration of foodstuffs. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 13(2), 119-128. <https://doi.org/10.1016/J.SIMPAT.2004.09.001>
- Wen, Y. X., Chen, L. Y., Li, B. S., Ruan, Z., & Pan, Q. (2020). Effect of infrared radiation-hot air (IR-HA) drying on kinetics and quality changes of star anise (*Illicium verum*). <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1696816>, 39(1), 90-103. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1696816>
- Wu, J., Doan, H., & Cuenca, M. A. (2006). Investigation of gaseous ozone as an anti-fungal fumigant for stored wheat. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81(7), 1288-1293. <https://doi.org/10.1002/JCTB.1550>
- Yan, Y., Gao, Y., Zheng, H., Yuan, B., Zhang, Q., Gu, Y., Zhuang, G., Wei, Z., Yao, Z., Zhong, X., Li, X., & Wang, J. (2020). Simultaneous electrochemical ozone production and hydrogen evolution by using tantalum-based nanorods electrocatalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, 266, 118632. <https://doi.org/10.1016/J.APCATB.2020.118632>
- Zambelli, R. A. (2023). Principles of ozonation and its equipment. *Non-thermal Food Processing Operations*, 17-54. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818717-3.00006-8>
- Zhang, Q. A., Song, Y., Wang, X., Zhao, W. Q., & Fan, X. H. (2016). Mathematical modeling of debittered apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernels during thin-layer drying. <http://mc.manuscriptcentral.com/tcyt>, 14(4), 509-517. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1136843>
- Zhao, T., Zhao, P., & Doyle, M. P. (2009). Inactivation of *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 on Lettuce and Poultry Skin by Combinations of Levulinic Acid and Sodium

Dodecyl Sulfate. *Journal of Food Protection*, 72(5), 928-936. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-72.5.928>

Zhu, Y., Chen, C., Shi, J., & Shangguan, W. (2020). A novel simulation method for predicting ozone generation in corona discharge region. *Chemical Engineering Science*, 227, 115910. <https://doi.org/10.1016/J.CES.2020.115910>

7 ANEXOS

ANEXO 1: ANOVA DIFUSIVIDAD

Análisis de Varianza (Una Vía)							
Estadística Descriptiva							
Grupos	Tamaño muestral	Suma	Varianza	Dev. Est.	Medias	95% Intervalo de confianza*	
60°C / 15% IR	3	9,66816	0,139587391299997	0,373613960258443	3,222720000000001	2,294611471685614	4,150828528314388
60°C / 15% IR / 30' O3	3	10,72941	0,303779219199999	0,551161699685309	3,57647	2,207308436539314	4,945631563460687
60°C / 15% IR / 60' O3	3	6,2423	0,154473613333332	0,393031313425956	2,080766666666667	1,104422759086487	3,057110574246847
70°C / 15% IR	3	11,42462	0,491362065833329	0,700972229002925	3,808206666666667	2,066895117710814	5,54951821562252
70°C / 15% IR / 30' O3	3	12,044880000000000	1,987980390099999	1,409957584503874	4,01496	0,512431192365526	7,517488807634475
70°C / 15% IR / 60' O3	3	7,062300000000000	0,234857529999998	0,484621016878135	2,354100000000001	1,150234656066233	3,557965343933768
80°C / 15% IR	3	11,891369999999998	0,151637710900008	0,389406870637908	3,963790000000000	2,996449707433691	4,931130292566308
80°C / 15% IR / 30' O3	3	15,247220000000002	0,373600058433325	0,611228319397264	5,082406666666667	3,564031347961902	6,600781985371434
80°C / 15% IR / 60' O3	3	8,49258	0,024432586899998	0,156309266839807	2,83086	2,44256625547191	3,219153744452809
Total	27		1,093383605279491	1,045649848314191	3,437142222222222		

Los intervalos de confianza se calculan utilizando las desviaciones estándar individuales.

Gráfico de medias (95% CI)

ANOVA							
Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	Valor p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	8	20,70455260526677	2,588069075658346	6,031684996281806	0,000767488864847	2,510157895383574	0,598533785732101
Dentro de Grupos	18	7,723421131999999	0,429078951777778				
Total	26	28,42797373726677					

Fisher LSD				
Grupo vs Grupo (Contraste)	Diferencia	Estadístico de la prueba	Valor p	Significativo
60°C / 15% IR vs 60°C / 15% IR / 30' O3	-0,353750000000000	0,661414135967684	0,515895021331543	No
60°C / 15% IR vs 60°C / 15% IR / 60' O3	1,141953333333334	2,135135200797409	0,045307416156022	No
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR	-0,585486666666667	1,094697265735499	0,286658167885487	No
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 30' O3	-0,79224	1,481268509057351	0,154118781965800	No
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 60' O3	0,86862	1,624077870768197	0,120015732000925	No
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR	-0,741069999999999	1,385594837432003	0,181129340186291	No
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-1,859686666666667	3,477096960576554	0,002377877666310	Si
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0,391860000000000	0,732669239067977	0,47226041469505	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 60°C / 15% IR / 60' O3	1,495703333333333	2,796549336765092	0,011141753834814	Si
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR	-0,231736666666667	0,433283129767815	0,66944619277062	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 30' O3	-0,438490000000000	0,819854373089668	0,421962763894729	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	1,222370000000000	2,28549200673588	0,033333695275056	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR	-0,387319999999999	0,724180701464319	0,477341342642011	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-1,505936666666667	2,81568282460887	0,010679893635114	Si
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0,745610000000000	1,394083375035660	0,178588873762417	No
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR	-1,72744	3,229832466532907	0,004200019826059	Si
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR / 30' O3	-1,934193333333333	3,616403709854759	0,001721467905513	Si
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	-0,273333333333333	0,511057330029212	0,614906440439313	No
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR	-1,883023333333332	3,520730038229411	0,002149406576161	Si
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-3,001640000000000	5,612232161373962	0,000017116637787	Si
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-0,750093333333333	1,402465961729432	0,176108192027690	No
70°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 30' O3	-0,206753333333333	0,386571243321852	0,703155816779446	No
70°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 60' O3	1,454106666666667	2,718775136503696	0,013222822064919	Si
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR	-0,155833333333333	0,290897571696504	0,774124891626134	No
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-1,274200000000000	2,382399694841055	0,027238351774557	No
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0,977346666666667	1,827366504803476	0,082605529242243	No
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	1,66086	3,105346379825548	0,005576841582973	Si
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR	0,051170000000001	0,095673671625348	0,924731902074800	No
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-1,067446666666667	1,995828451519203	0,059751935143484	No
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	1,184100000000001	2,213937748125328	0,038614794280150	No
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR	-1,609689999999999	3,009672708200199	0,006923444062094	Si
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-2,728306666666667	5,10117483134475	0,000054492176745	Si
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-0,476760000000000	0,891408631700220	0,383309098291894	No
80°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-1,118616666666668	2,091502123144551	0,049450333127414	No
80°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	1,132930000000000	2,118264076499980	0,046870534195800	No
80°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	2,251546666666668	4,20976619964453	0,000430769307457	Si

ANEXO 2: ANOVA CONSTANTE “a” MODELO DE HII

Análisis de Varianza (Una Vía)							
Estadística Descriptiva							
Grupos	Tamaño muestral	Suma	Varianza	Desv.Est.	Media	95% Intervalo de confianza*	
60°C / 15% IR	3	3,005220000	0,000000004	0,000020000	1,001740000	1,0016903172	1,0017896828
60°C / 15% IR / 30' O3	3	2,988480000	0,000000049	0,000070000	0,996160000	0,9959861104	0,9963338896
60°C / 15% IR / 60' O3	3	2,975640000	0,000000081	0,000090000	0,991880000	0,9916564276	0,9921035724
70°C / 15% IR	3	2,910630000	0,000000049	0,000070000	0,970210000	0,9700361104	0,9703838896
70°C / 15% IR / 30' O3	3	2,689800000	0,000000040	0,000200000	0,896600000	0,8961031725	0,8970968275
70°C / 15% IR / 60' O3	3	0,385800000	0,000000160	0,000400000	0,128600000	0,1276063449	0,1295936551
80°C / 15% IR	3	0,037860000	0,000000064	0,000080000	0,012620000	0,0124212690	0,0128187310
80°C / 15% IR / 30' O3	3	0,189900000	0,000000040	0,000200000	0,063300000	0,0628031725	0,0637968275
80°C / 15% IR / 60' O3	3	0,071100000	0,000000040	0,000200000	0,023700000	0,0232031725	0,0241968275
Total	27		0,2161498171	0,4649191512	0,5649788889		
Los intervalos de confianza se calculan utilizando las desviaciones estándar individuales.							
Gráfico de medias (95% CI)							
ANOVA							
Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	Valor p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	8	5,6198946363	0,7024868295	20,749,529,0303981970	0,0000000000	2,5101578954	0,9999998373
Dentro de Grupos	18	0,0000006094	0,0000000339				
Total	26	5,6198952457					
Resumen del modelo							
R-Cuadrado	0,9999998916						
R-Cuadrado Ajustado	0,9999998434						
Error estándar de los residuos	0,0001839988						
Coefficiente de Variación	0,0003256737						
Fisher LSD							
Grupo vs Grupo (Contraste)	Diferencia	Estadístico de la prueba	Valor p	Significativo			
60°C / 15% IR vs 60°C / 15% IR / 30' O3	0,0055800000	37,1419633481	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR vs 60°C / 15% IR / 60' O3	0,0098600000	65,6307811132	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR	0,0315300000	209,8720617140	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 30' O3	0,1051400000	699,8397896800	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 60' O3	0,8731400000	5,811,8519494118	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR	0,9891200000	6,583,8456607213	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0,9384400000	6,246,5061083057	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0,9780400000	6,510,0942352918	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 60°C / 15% IR / 60' O3	0,0042800000	28,4888177652	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR	0,0259500000	172,7300983659	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 30' O3	0,0995600000	662,6978263319	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	0,8675600000	5,774,7099860637	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR	0,9835400000	6,546,7036973732	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0,9328600000	6,209,3641449576	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0,9724600000	6,472,9522719438	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR	0,0216700000	144,2412806008	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR / 30' O3	0,0952800000	634,2090085667	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	0,8632800000	5,746,2211682986	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR	0,9792600000	6,518,2148796081	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0,9285800000	6,180,8753271924	0,0000000000	SI			
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0,9681800000	6,444,4634541786	0,0000000000	SI			
70°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 30' O3	0,0736100000	489,9677279660	0,0000000000	SI			
70°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 60' O3	0,8416100000	5,601,9798876978	0,0000000000	SI			
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR	0,9575900000	6,373,9735990073	0,0000000000	SI			
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0,9069100000	6,036,6340465917	0,0000000000	SI			
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0,9465100000	6,300,2221735778	0,0000000000	SI			
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	0,7680000000	5,112,0121597318	0,0000000000	SI			
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR	0,8839800000	5,884,0058710413	0,0000000000	SI			
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0,8333000000	5,546,6663186257	0,0000000000	SI			
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0,8729000000	5,810,2544456119	0,0000000000	SI			
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR	0,1159800000	771,9937113095	0,0000000000	SI			
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0,0653000000	434,6541588939	0,0000000000	SI			
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0,1049000000	698,2422858800	0,0000000000	SI			
80°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-0,0506800000	337,3395524156	0,0000000000	SI			
80°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-0,0110800000	73,7514254295	0,0000000000	SI			
80°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0,0396000000	263,5881269862	0,0000000000	SI			

ANEXO 3: ANOVA PARÁMETRO ΔE

Análisis de Varianza (Una Vía)							
Estadística Descriptiva							
Grupos	Tamaño muestral	Suma	Varianza	Dev.Est.	Media	95% Intervalo de confianza*	
60°C / 15% IR	15	742,9200000000	7,1596600000	2,6757354129	49,5280000000	48,0462271182	51,0097728818
60°C / 15% IR / 30' O3	15	677,56	22,1189780952	4,7030817657	45,1706666667	42,5661867963	47,7751465370
60°C / 15% IR / 60' O3	15	671,1200000000	61,2252266667	7,8246550510	44,7413333333	40,4081837970	49,0744828697
70°C / 15% IR	15	901,36	6,4587066667	2,5413985651	60,0906666667	58,6832870516	61,4980462818
70°C / 15% IR / 30' O3	15	895,1900000000	25,7350923810	5,0729766785	59,6793333333	56,8700124880	62,4886541787
70°C / 15% IR / 60' O3	15	918,3500000000	17,0943666667	4,1345334279	61,2233333333	58,9337050380	63,5129616287
80°C / 15% IR	15	879,7500000000	24,7010857143	4,9700186835	58,6500000000	55,8976953918	61,4023046082
80°C / 15% IR / 30' O3	15	896,2900000000	13,0035780952	3,6060474339	59,7526666667	57,7557041598	61,7496291735
80°C / 15% IR / 60' O3	15	920,5	12,9362238095	3,5966666667	61,3666666667	59,3748826809	63,3584506524
Total	135		63,7516007407	7,9844599530	55,5780740741		

Los intervalos de confianza se calculan utilizando las desviaciones estándar individuales.

Gráfico de medias (95% CI)

ANOVA							
Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	Valor p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	8	5,876,8550459256	734,5818807407	34,7168990765	0	2,0126543877	0,6664485756
Dentro de Grupos	126	2,666,0594533334	21,1592020106				
Total	134	8,542,7144992590					

Resumen del modelo	
R-Cuadrado	0,6879142510
R-Cuadrado Ajustado	0,6680992828
Error estándar de los residuos	4,5999132612
Coefficiente de Variación	0,0827648913

Fisher LSD				
Grupo vs Grupo (Contraste)	Diferencia	Estadístico de la prueba	Valor p	Significativo
60°C / 15% IR vs 60°C / 15% IR / 30' O3	4,3573333333	2,5941899572	0,0105866751	SI
60°C / 15% IR vs 60°C / 15% IR / 60' O3	4,7866666667	2,8497986372	0,0051001665	SI
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR	-10,5626666667	6,2886085804	0,000000047	SI
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 30' O3	-10,1513333333	6,0437164134	0,000000153	SI
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 60' O3	-11,8953333333	6,9629550825	0,000000002	SI
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR	-9,122	5,4308906341	0,0000002718	SI
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-10,2246666667	6,0873762811	0,000000124	SI
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-11,8386666667	7,0482902784	0,000000001	SI
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 60°C / 15% IR / 60' O3	0,4293333333	0,2556086800	0,7986633094	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR	-14,9200000000	8,8827985376	0,000000000	SI
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 30' O3	-14,5086666667	8,6379063706	0,000000000	SI
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	-16,0526666667	9,5571450397	0,000000000	SI
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR	-13,4793333333	8,0250805913	0,000000000	SI
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-14,5820000000	8,6815662383	0,000000000	SI
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-16,1960000000	9,6424802356	0	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR	-15,3493333333	9,1384072176	0,000000000	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR / 30' O3	-14,9380000000	8,8935150506	0,000000000	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	-16,4820000000	9,8127537197	0	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR	-13,9086666667	8,2806892713	0,000000000	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-15,0113333333	8,9371749183	0,000000000	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-16,6253333333	9,8980889156	0	SI
70°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 30' O3	0,4113333333	0,2448921670	0,8069320921	No
70°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 60' O3	-1,1326666667	0,6743465020	0,5013071325	No
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR	1,4406666667	0,8577179464	0,3926513834	No
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0,3380000000	0,2012322993	0,8408363652	No
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-1,2760000000	0,7596816980	0,4488417495	No
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	-1,5440000000	0,9192386690	0,3596997899	No
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR	1,0293333333	0,6128257794	0,5410788312	No
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-0,0733333333	0,0436598677	0,9652435653	No
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-1,6873333333	1,0045738650	0,3169973849	No
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR	2,5733333333	1,5320644484	0,1279743889	No
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	1,4706666667	0,8755788013	0,3828991501	No
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-0,1433333333	0,0853351960	0,9321282442	No
80°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-1,1026666667	0,6564856471	0,5126901871	No
80°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-2,7166666667	1,6173996444	0,1082538219	No
80°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-1,6140000000	0,9609139973	0,3384070989	No

ANEXO 4: ANOVA MICROSCOPIA

Análisis de Varianza (Una Vía)									
Estadística Descriptiva									
Grupos	Tamaño muestral	Suma	Varianza	Desv.Est.	Media	95% Intervalo de confianza*			
60°C	3	31.505	3.017.310,333333340	1.737,0406826938000	10.501,66666666666	6.186,61839994246	14.816,714933390873		
60°C / 30' O3	3	79.831	76.105.222,333333337	8.723,830714389946	26.610,33333333332	4.939,136464791456	48.281,53020187521		
60°C / 60' O3	3	82.761	24.560.199	4.955,824754770895	27.587	15.276,048833847794	39.897,951166152210		
70°C	3	45.492	2.278.963	1.509,6234629867145	15.164	11.413,887425051576	18.914,112574948424		
70°C / 30' O3	3	84.130	23.202.297,333333258	4.816,876304549792	28.043,33333333332	16.077,549252364632	40.009,11741430203		
70°C / 60' O3	3	101.389	15.873.440,333333254	3.984,148633438925	33.796,33333333336	23.899,159463789165	43.693,5072028775		
80°C	3	111.104	7.655.905,333333254	2.766,9306701349155	37.034,66666666666	30.161,22984318591	43.908,10349014742		
80°C / 30' O3	3	127.437	717.289	846,9291587848419	42.479	40.375,11133748159	44.582,88866251841		
80°C / 60' O3	3	127.671	1.549.849	1.244,9293152625170	42.557	39.464,42413949287	45.649,57586050713		
Total	27		126.661.647,3618233	11.254,405686744338	29.308,14814814815				

Los intervalos de confianza se calculan utilizando las desviaciones estándar individuales.

Gráfico de medias (95% CI)

ANOVA							
Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	Valor p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	8	2.983.281.880,074074	372.910.235,0092952	21,65837514788484	0,000000097705882	2,510157895383574	0,859570285936429
Dentro de Grupos	18	309.920.951,33333210	17.217.830,62962956				
Total	26	3.293.202.831,407406					

Resumen del modelo	
R-Cuadrado	0,905890718792780
R-Cuadrado Ajustado	0,864064371589571
Emor estándar de los residuos	4.149,437387120037
Coefficiente de Variación	0,141579651028966

Fisher LSD				
Grupo vs Grupo (Contraste)	Diferencia	Estadístico de la prueba	Valor p	Significativo
60°C vs 60°C / 30' O3	-16.108,666666666666	4,754622143762429	0,000121079255775	SI
60°C vs 60°C / 60' O3	-17.085,333333333336	5,042894355019805	0,000062281887440	SI
60°C vs 70°C	-4.662,333333333334	1,376130859678126	0,183995686470057	No
60°C vs 70°C / 30' O3	-17.541,666666666664	5,177585364306953	0,000045756009181	SI
60°C vs 70°C / 60' O3	-23.294,666666666667	6,875636590959187	0,000001112750074	SI
60°C vs 80°C	-26.533	7,831460663438845	0,000000161714395	SI
60°C vs 80°C / 30' O3	-31.977,333333333336	9,43840606496332	0,00000008286178	SI
60°C vs 80°C / 60' O3	-32.055,333333333336	9,461428487295820	0,00000007959619	SI
60°C / 30' O3 vs 60°C / 60' O3	-976,6666666666680	0,288272211257376	0,776104695168247	No
60°C / 30' O3 vs 70°C	11.446,333333333332	3,378491284084304	0,002985771461778	SI
60°C / 30' O3 vs 70°C / 30' O3	-1.433	0,422963220544524	0,67683522626551	No
60°C / 30' O3 vs 70°C / 60' O3	-7.186,000000000000	2,121014447196758	0,046612425001233	No
60°C / 30' O3 vs 80°C	-10.424,333333333332	3,076838519676415	0,005949025918468	SI
60°C / 30' O3 vs 80°C / 30' O3	-15.868,666666666668	4,683783921200891	0,000142689736459	SI
60°C / 30' O3 vs 80°C / 60' O3	-15.946,666666666668	4,706806343533390	0,000135269026354	SI
60°C / 60' O3 vs 70°C	12.423	3,666763495341679	0,001531224109129	SI
60°C / 60' O3 vs 70°C / 30' O3	-456,3333333333321	0,134691009287149	0,894202459443700	No
60°C / 60' O3 vs 70°C / 60' O3	-6.209,333333333336	1,832742235939382	0,081771980726993	No
60°C / 60' O3 vs 80°C	-9.447,666666666664	2,788566308419040	0,011340041877779	SI
60°C / 60' O3 vs 80°C / 30' O3	-14.892	4,395511709943515	0,000279126269279	SI
60°C / 60' O3 vs 80°C / 60' O3	-14.970	4,418534132276015	0,000264528255805	SI
70°C vs 70°C / 30' O3	-12.879,333333333332	3,801454504628828	0,00118720816231	SI
70°C vs 70°C / 60' O3	-18.632,333333333336	5,499505731281061	0,000022047733654	SI
70°C vs 80°C	-21.870,666666666664	6,455329803760718	0,000002701128491	SI
70°C vs 80°C / 30' O3	-27.315	8,062275205285195	0,000000103384269	SI
70°C vs 80°C / 60' O3	-27.393	8,085297627617694	0,000000098910732	SI
70°C / 30' O3 vs 70°C / 60' O3	-5.753,000000000000	1,698051226652233	0,105003966928706	No
70°C / 30' O3 vs 80°C	-8.991,333333333332	2,653875299131891	0,015237285312181	SI
70°C / 30' O3 vs 80°C / 30' O3	-14.435,666666666668	4,260820700656367	0,000382310395248	SI
70°C / 30' O3 vs 80°C / 60' O3	-14.513,666666666668	4,283843122988866	0,000362285703790	SI
70°C / 60' O3 vs 80°C	-3.238,3333333333285	0,955824072479658	0,350572789877945	No
70°C / 60' O3 vs 80°C / 30' O3	-8.682,666666666664	2,562769474004133	0,018559740993583	SI
70°C / 60' O3 vs 80°C / 60' O3	-8.760,666666666664	2,585791896336634	0,017660977629489	SI
80°C vs 80°C / 30' O3	-5.444,333333333336	1,606945401524475	0,123739867267352	No
80°C vs 80°C / 60' O3	-5.522,333333333336	1,629967823856976	0,118757420044362	No
80°C / 30' O3 vs 80°C / 60' O3	-78	0,0230224222332500	0,98186053930971	No

ANEXO 5: ANOVA TEXTURA

Análisis de Varianza (Una Via)										
Estadística Descriptiva										
Grupos	Tamaño muestral	Suma	Varianza	Dev.Est.	Media	95% Intervalo de confianza*				
60°C / 15% IR	2	2.182831443619866	1,237784626858862	1,12557695968556	1,091415721809933	-8,90451858535108	11,087350028974972			
60°C / 15% IR / 30' O3	2	24,0701945895653	4,61315398304248	2,147825407951606	12,03509729478265	-7,262348364836418	31,332542954401717			
60°C / 15% IR / 60' O3	2	26,786626398832	10,908001922456664	3,30272643726362	13,3933313199416	-16,280488407051678	43,06715104693488			
70°C / 15% IR	2	12,02084671716289	1,211213570836378	1,100551484864010	6,010423385881445	-3,877639394338189	15,8948616610108			
70°C / 15% IR / 30' O3	2	29,03592254105502	0,508640517086690	0,713190379272386	14,517796127052751	8,1100347987716	20,9255574553339			
70°C / 15% IR / 60' O3	2	29,55626948907800	1,797698799059731	1,340782905268310	14,778133474453900	2,731677016693072	26,82458932214730			
80°C / 15% IR	2	9,92420067215094	0,002260284742910	0,047542452007757	4,96210033607547	4,534948352144100	5,38925232000684			
80°C / 15% IR / 30' O3	2	31,563089273102600	17,449867688090876	4,17703877872769	15,781544636551300	-21,75004163136853	53,31313090447112			
80°C / 15% IR / 60' O3	2	45,0791039521268	30,323416281435357	5,506670162760373	22,5395519760634	-26,935916485155374	72,01502043728217			
Total	18	44,5745843640754	6,676420773618716	11,67882158584583						

Los intervalos de confianza se calculan utilizando las desviaciones estándar individuales.

Gráfico de medias (95% CI)

ANOVA										
Origen de la Varianción	d.f.	SS	MS	F	Valor p	F crit	Omega Cuadrado			
Entre Grupos	8	689,7160662153187	86,21450827691484	11,402018235129775	0,000693277571895	3,229582612686775	0,822162760265977			
Dentro de Grupos	9	68,05203767360945	7,561337519289939							
Total	17	757,7681038889282								

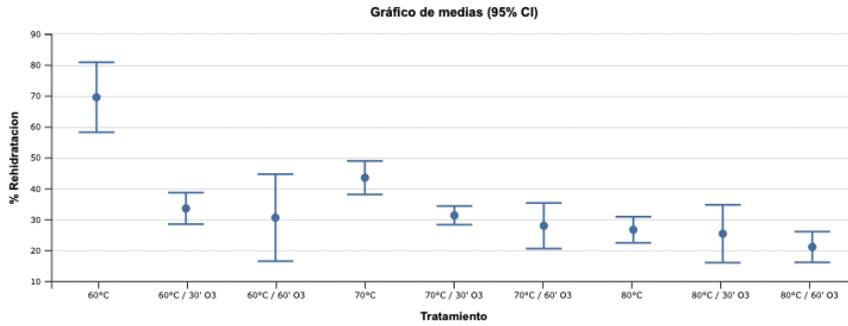
Resumen del modelo	
R-Cuadrado	0,910194111728429
R-Cuadrado Ajustado	0,830366655487032
Error estándar de los residuos	2,749788631747891
Coefficiente de Variación	0,235450863902271

Fisher LSD				
Grupo vs Grupo (Contraste)	Diferencia	Estadístico de la prueba	Valor p	Significativo
60°C / 15% IR vs 60°C / 15% IR / 30' O3	-10,943681572972718	3,979826466158752	0,002159451083843	SI
60°C / 15% IR vs 60°C / 15% IR / 60' O3	-12,301915598131668	4,473767712943089	0,000941025353673	SI
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR	-4,919007664071512	1,788867554138067	0,101176427894617	No
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 30' O3	-13,426380405242820	4,882695437106523	0,000484795633607	SI
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 60' O3	-13,686717752643968	4,977370840297665	0,000417168874437	SI
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR	-3,870684614265537	1,407629870011192	0,186866534296819	No
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-14,690128914741369	5,342275673531915	0,000236587258835	SI
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-21,448136254253463	7,799921785486491	0,000008304039655	SI
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 60°C / 15% IR / 60' O3	-1,35823402515895	0,493941246784337	0,631062467359994	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR	6,024673908901205	2,19058912020684	0,050883010147205	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 30' O3	-2,482698832270101	0,902868970947772	0,385939887056812	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	-2,743036179671248	0,997544374138913	0,339938446622197	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR	7,07299695870718	2,572196596147560	0,025948637069364	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-3,746447341768649	1,362449207373163	0,200300052241996	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-10,50445468128075	3,820095319327741	0,002842673435389	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR	7,382907934060155	2,684900158805022	0,021221615272690	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR / 30' O3	-1,124464807111151	0,40892724163435	0,690441407715490	No
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	-1,384802154512298	0,503603127354576	0,624472721738493	No
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR	8,43123098386613	3,066137842931896	0,010733677048488	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-2,388213316609699	0,868507960588826	0,403667454900362	No
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-9,1462206561218	3,326154072543403	0,006757163537485	SI
70°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 30' O3	-8,507372741171306	3,093827882968456	0,010216038050933	SI
70°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 60' O3	-8,767710088572453	3,188503286159597	0,008629500883318	SI
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR	1,048323049805975	0,381237684126875	0,710287671289440	No
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-9,771121250669854	3,553408119393848	0,004524908119930	SI
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-16,529128590181955	6,011054231348424	0,000087856183440	SI
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	-0,260337347401148	0,094675403191141	0,926275265496656	No
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR	9,555695790977282	3,475065567095332	0,005193400970495	SI
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-1,263748509498548	0,459580236425391	0,654767290449848	No
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-8,021755849010649	2,917226348379969	0,014006801621512	SI
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR	9,81603313837843	3,569740970286473	0,004397059098183	SI
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-1,003411162097400	0,364904833234250	0,722101132961835	No
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-7,761418501609501	2,822550945188828	0,016591784614574	SI
80°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-10,81944430047583	3,934645803520723	0,00233382770638	SI
80°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-17,577451639987293	6,3922919154753	0,00005134992326	SI
80°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	-6,758007339512101	2,457646111954577	0,031811343851263	No

ANEXO 6: ANOVA REHIDRATACIÓN

Grupos	Tamaño muestral	Suma	Varianza	Desv.Est.	Media	95% Intervalo de confianza*	
60°C	3	208,9731	20,77529779000877	4,557992736940339	69,65769999999999	58,335018352282400	80,98038164771758
60°C / 30' O3	3	101,08330000000000	4,21705204333297	2,053546211638126	33,694433333333336	28,593141746181050	38,795724920485625
60°C / 60' O3	3	92,0539	32,16745512333184	5,671636018234350	30,684633333333338	16,59650841311591	44,77375825355076
70°C	3	130,865	4,76413002333109	2,182688714254305	43,62166666666667	38,19956731857572	49,04376001475762
70°C / 30' O3	3	94,3372	1,48240336333788	1,217539881619402	31,445733333333333	28,42196597842545	34,47027006882412
70°C / 60' O3	3	84,1939	8,80989802333329	2,968147237475475	28,064633333333333	20,691346846692948	35,437919819973715
80°C	3	80,3091	2,88050372999873	1,697204681233196	26,7697	22,563609846789424	30,985790153210576
80°C / 30' O3	3	76,4774	14,17802122333303	3,765371326089009	25,49246666666667	16,138765756785617	34,84616757654772
80°C / 60' O3	3	63,6049	4,01166846333194	2,00291499153938	21,201633333333337	16,262116669420268	26,1771499972464
Total	27		203,67067752923	14,27132360817419	34,514733333333334		

Los intervalos de confianza se calculan utilizando las desviaciones estándar individuales.



Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	Valor p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	8	5,108,864756193314	638,6080945241642	61,61102814274867	1,670985572133077E-11	2,510157895383574	0,947254110030543
Dentro de Grupos	18	186,572859566666	10,365158864814780				
Total	26	5,295,43761575998					

Resumen del modelo	
R-Cuadrado	0,964767244351742
R-Cuadrado Ajustado	0,949108241841405
Error estándar de los residuos	3,219496678801639
Coefficiente de Variación	0,09327890261986

Grupo vs Grupo (Contraste)	Diferencia	Estadístico de la prueba	Valor p	Significativo
60°C vs 60°C / 30' O3	35,963266666666655	13,680966561792763	1,297206786432526E-11	Si
60°C vs 60°C / 60' O3	38,973066666666666	14,825939668361242	2,983835400982571E-12	Si
60°C vs 70°C	26,036033333333332	9,904497962783928	0,000000003716897	Si
60°C vs 70°C / 30' O3	38,211966666666666	14,536405801855404	4,287459276497430E-12	Si
60°C vs 70°C / 60' O3	41,593066666666666	15,822627002805197	0,000000000000896	Si
60°C vs 80°C	42,887999999999999	16,3152390838291	0,000000000000506	Si
60°C vs 80°C / 30' O3	44,165233333333332	16,801117819120304	0,000000000000292	Si
60°C vs 80°C / 60' O3	48,456066666666666	18,433415238029948	0,000000000000051	Si
60°C / 30' O3 vs 60°C / 60' O3	3,009800000000000	1,144973106568478	0,265737750506061	No
60°C / 30' O3 vs 70°C	-9,927233333333334	3,776468599008838	0,001185867632432	Si
60°C / 30' O3 vs 70°C / 30' O3	2,248700000000000	0,855439240062641	0,402440227773214	No
60°C / 30' O3 vs 70°C / 60' O3	5,629800000000000	2,141660441012431	0,044715631590560	No
60°C / 30' O3 vs 80°C	6,924733333333336	2,634272522036332	0,015900802750355	Si
60°C / 30' O3 vs 80°C / 30' O3	8,201966666666667	3,120151257327539	0,005392566481025	Si
60°C / 30' O3 vs 80°C / 60' O3	12,492800000000004	4,752448676237181	0,00012169037137	Si
60°C / 60' O3 vs 70°C	-12,937033333333336	4,921441705577315	0,000082351763637	Si
60°C / 60' O3 vs 70°C / 30' O3	-0,761099999999999	0,289533866505836	0,775153075280144	No
60°C / 60' O3 vs 70°C / 60' O3	2,620000000000001	0,996687334443953	0,330823048329122	No
60°C / 60' O3 vs 80°C	3,914933333333334	1,489299415467855	0,152009464278111	No
60°C / 60' O3 vs 80°C / 30' O3	5,192166666666665	1,975178150759062	0,062212567979765	No
60°C / 60' O3 vs 80°C / 60' O3	9,483	3,607475569668704	0,001757553483430	Si
70°C vs 70°C / 30' O3	12,175933333333337	4,631907839071479	0,000160954967945	Si
70°C vs 70°C / 60' O3	15,557033333333337	5,918129040021268	0,000008673096390	Si
70°C vs 80°C	16,851966666666667	6,41074112104517	0,000002971621711	Si
70°C vs 80°C / 30' O3	18,1292	6,896619856336377	0,000001065212040	Si
70°C vs 80°C / 60' O3	22,420033333333336	8,52891727524602	0,00000042754022	Si
70°C / 30' O3 vs 70°C / 60' O3	3,3811	1,286221200949790	0,213057268771470	No
70°C / 30' O3 vs 80°C	4,676033333333333	1,778833281973691	0,090472049222215	No
70°C / 30' O3 vs 80°C / 30' O3	5,953266666666664	2,264712017264898	0,034794598342260	No
70°C / 30' O3 vs 80°C / 60' O3	10,2441	3,897009436174541	0,000895002246108	Si
70°C / 60' O3 vs 80°C	1,294933333333333	0,492612081023902	0,627651206529751	No
70°C / 60' O3 vs 80°C / 30' O3	2,572166666666665	0,978490816315109	0,339520147130317	No
70°C / 60' O3 vs 80°C / 60' O3	6,863000000000000	2,610788235224751	0,016731672264594	Si
80°C vs 80°C / 30' O3	1,277233333333332	0,485878735291207	0,632333865209874	No
80°C vs 80°C / 60' O3	5,568066666666667	2,118176154200850	0,046878806581123	No
80°C / 30' O3 vs 80°C / 60' O3	4,290833333333335	1,632297418909642	0,118262812527735	No

ANOVA 7: ANOVA CONSTANTE “k1” MODELADO REHIDRATACIÓN

Análisis de Varianza (Una Vía)									
Estadística Descriptiva									
Grupos	Tamaño muestral	Suma	Varianza	Desv.Est.	Medio	95% Intervalo de confianza*			
60°C / 15% IR	3	7,622999999999999	0,000064000000002	0,008000000000115	2,541	2,521126898305712	2,560873101694289		
60°C / 15% IR / 30' O3	3	27,990000000000000	0,000399999999985	0,019999999999621	9,33	9,280317245765934	9,379682754234066		
60°C / 15% IR / 60' O3	3	16,47	0,000100000000010	0,010000000000521	5,489999999999999	5,465158622881202	5,514841377118797		
70°C / 15% IR	3	27,4557	0,000063999999995	0,007999999999671	9,1519	9,132026898306814	9,171773101693184		
70°C / 15% IR / 30' O3	3	15,57	0,000399999999999	0,019999999999977	5,19	5,140317245765051	5,239682754234949		
70°C / 15% IR / 60' O3	3	8,01	0,000100000000000	0,009999999999988	2,67	2,645158622882526	2,694841377117475		
80°C / 15% IR	3	11,220000000000000	0,003600000000002	0,060000000000019	3,740000000000000	3,590951737294933	3,889048262705067		
80°C / 15% IR / 30' O3	3	18,24	0,002500000000005	0,050000000000048	6,079999999999999	5,955793114412363	6,204206885587635		
80°C / 15% IR / 60' O3	3	5,259000000000000	0,000004000000000	0,001999999999918	1,753	1,748031724576704	1,757968275423296		
Total	27		7,031696636923095	2,651734646778048	5,105099999999999				

Los intervalos de confianza se calculan utilizando las desviaciones estándar individuales.

Gráfico de medias (95% CI)

ANOVA									
Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	Valor p	F crit	Omega Cuadrado		
Entre Grupos	8	182,80964856000023	22,85120670000030	28,437,618172997412	0	2,510157895383574	0,999881329085437		
Dentro de Grupos	18	0,014464000000203	0,000803555555567						
Total	26	182,82411256000050							

Resumen del modelo	
R-Cuadrado	0,999920885709233
R-Cuadrado Ajustado	0,999885723802226
Error estándar de los residuos	0,028347055500824
Coefficiente de Variación	0,005552693483149

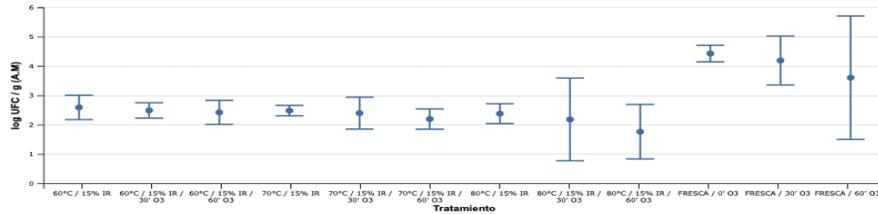
Fisher LSD				
Grupo vs Grupo (Contraste)	Diferencia	Estadístico de la prueba	Valor p	Significativo
60°C / 15% IR vs 60°C / 15% IR / 30' O3	-6,789	293,32122102190397	0	Si
60°C / 15% IR vs 60°C / 15% IR / 60' O3	-2,948999999999999	127,412620532272	0	Si
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR	-6,610899999999999	285,626345566903	0	Si
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 30' O3	-2,649000000000000	114,45101111901955	0	Si
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 60' O3	-0,129	5,573492047698573	0,000018669635214	Si
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR	-1,199000000000000	51,803232288299140	0	Si
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-3,538999999999999	152,90378571166858	0	Si
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0,788	34,045827392143224	0	Si
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 60°C / 15% IR / 60' O3	3,840000000000001	165,90860048963197	0	Si
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR	0,178100000000001	7,694875455000924	0,00000211435657	Si
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 30' O3	4,14	178,87020990288443	0	Si
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	6,66	287,7477289742054	0	Si
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR	5,59	241,51798873360480	0	Si
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	3,250000000000001	140,41743531023542	0	Si
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	7,577	327,3670484140472	0	Si
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR	-3,6619	158,21372503463104	0	Si
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR / 30' O3	0,299999999999999	12,96160941325245	3,441469331733060E-11	Si
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	2,820000000000000	121,83912848457344	0	Si
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR	1,750000000000000	75,60938824397287	0	Si
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-0,590000000000000	25,491165179396570	0	Si
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	3,736999999999999	161,45844792441522	0	Si
70°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 30' O3	3,961899999999999	171,1753344478835	0	Si
70°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 60' O3	6,481900000000000	280,05285351920450	0	Si
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR	5,411899999999999	233,8231132786039	0	Si
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	3,071900000000001	132,7225598552345	0	Si
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	7,398899999999999	319,6721729590463	0	Si
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	2,520000000000001	108,87751907132100	0	Si
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR	1,450000000000001	62,64777883072042	0	Si
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-0,889999999999999	38,45277459264902	0	Si
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	3,437000000000001	148,49683851116276	0	Si
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR	-1,070000000000000	46,22974024060056	0	Si
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-3,409999999999999	147,33029366397	0	Si
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0,917	39,619319439841790	0	Si
80°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	-2,339999999999999	101,10055342336943	0	Si
80°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	1,987000000000000	85,84905968044235	0	Si
80°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	4,326999999999999	186,9496131038118	0	Si

ANEXO 8: ANOVA AEROBIOS MESÓFILOS

Análisis de Varianza (Una Via)							
Estadística Descriptiva							
Grupos	Tamaño muestral	Suma	Varianza	Dev. Est.	Media	95% intervalo de confianza*	
60°C / 15% IR	2	5.20167018000001	0.002129873152978	0.046150548793059	2.600835090000001	2.18818866373710	3.015481319626291
60°C / 15% IR / 30' O3	2	4.99932195	0.000866671185755	0.029289048255029	2.4978115975	2.234845632044913	2.76078562598086
60°C / 15% IR / 60' O3	2	4.860338007	0.002077416172963	0.045578681123554	2.4301690035	2.020660800941894	2.83967206058107
70°C / 15% IR	2	4.982271233000000	0.003928046656503	0.019819300101238	2.491135616500001	2.313066270034787	2.669204962965214
70°C / 15% IR / 30' O3	2	4.80885867	0.003649159108868	0.060408270202578	2.4044429335	1.861896159339436	2.947189707660564
70°C / 15% IR / 60' O3	2	4.4054018	0.001477377709651	0.038436671409620	2.20327009	1.857930298824344	2.54809881175956
80°C / 15% IR	2	4.776701184	0.001417542274071	0.037650262602948	2.388350592	2.050076403622787	2.72862478037214
80°C / 15% IR / 30' O3	2	4.380211242	0.024608433832823	0.15680755522766	2.190105621	0.780677802017720	3.599533439982279
80°C / 15% IR / 60' O3	2	3.544068040000001	0.010676701452608	0.103328125177069	1.772034022000000	0.843667650444667	2.70040393555533
FRESCA / 0' O3	2	8.874368539999999	0.00098529999182	0.031409075108662	4.437182918000000	4.154983574475991	4.719382261524089
FRESCA / 30' O3	2	8.398366731	0.008617076761787	0.092828211023305	4.1991783655	3.365148979733627	5.033208751268373
FRESCA / 60' O3	2	7.225309281000000	0.054778255511991	0.234647549811664	3.612654640500000	1.509820837050242	5.71488443949758
Total	24	0.679701898962269	0.824440355005909	2.768931374166667			

Los intervalos de confianza se calculan utilizando las desviaciones estándar individuales.

Gráfico de medias (95% CI)



ANOVA							
Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	Valor p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	11	15.5214758620811	1.410643257109828	151.63289523435282	4.079703241899324E-11	2.171331440972896	0.985722460010272
Dentro de Grupos	12	0.111667847924082	0.00930563993673				
Total	23	15.633143678132192					

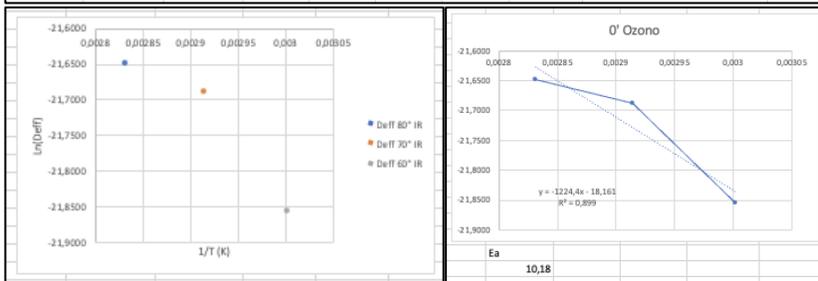
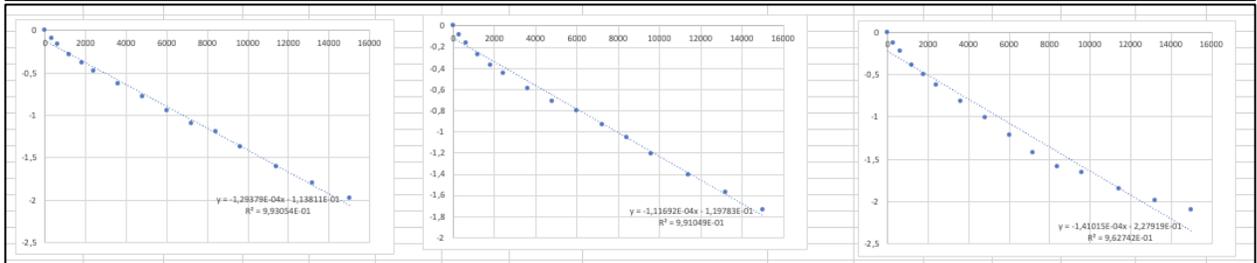
Resumen del modelo	
R-Cuadrado	0.992856980640780
R-Cuadrado Ajustado	0.986309212894828
Error estándar de los residuos	0.09645817747394
Coefficiente de Variación	0.034839645207098

Fisher LSD				
Grupo vs Grupo (Contraste)	Diferencia	Estadístico de la prueba	Valor p	Significativo
60°C / 15% IR vs 60°C / 15% IR / 30' O3	0.103017492500000	1.067917060214658	0.303627094554162	No
60°C / 15% IR vs 60°C / 15% IR / 60' O3	0.170666086500000	1.769187163756878	0.098632335956690	No
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR	0.109699473500000	1.137184922718009	0.274550608044866	No
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 30' O3	0.196392156500000	2.035873028250003	0.061143993223468	No
60°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 60' O3	0.397565000000000	4.121304408999692	0.0010380533953117	SI
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR	0.212484498000000	2.202692134496936	0.045873247714945	No
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0.410729469000001	4.257772116497662	0.000796056317182	SI
60°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0.828801068000000	8.591655441830202	0.000000591124649	SI
60°C / 15% IR vs FRESCA / 0' O3	-1.836347827999999	19.036254197405626	2.098143880857606E-11	SI
60°C / 15% IR vs FRESCA / 30' O3	-1.598343275499999	16.56901183054735	0.00000000135547	SI
60°C / 15% IR vs FRESCA / 60' O3	-1.011819550499999	10.48892066924205	0.000000051555260	SI
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 60°C / 15% IR / 60' O3	0.367650000000000	0.367650000000000	0.5494626943251248	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR	0.006681981000000	0.006681981000000	0.945756062177594	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 30' O3	0.093374664000000	0.096795968035345	0.349491832501914	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	0.294547507500000	3.053387348784034	0.008591849219744	SI
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR	0.109467005500000	1.134775074282278	0.275525573612994	No
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0.307711976500000	3.189855056283004	0.006551391700071	SI
60°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0.725783575500000	7.523738381615644	0.000002777110705	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 60°C / 15% IR	-1.939365324999999	20.104171257622028	1.002198324329129E-11	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR	-1.701360768000000	17.636928890762007	5.869660313351233E-11	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs FRESCA / 0' O3	-1.114837043000000	11.55680912713886	0.000000015138636	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR	-0.060966613000000	0.632002241038868	0.537570028484934	No
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR / 30' O3	0.025726070000000	0.266685864493126	0.793598938412162	No
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	0.226898913500000	2.352117245241815	0.033826635024429	No
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR	0.041818411500000	0.4335048970740059	0.671253043742833	No
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0.240033825000000	2.489534952740785	0.026034257955909	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0.658134981500000	6.822468298707325	0.000082991297001	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs FRESCA / 0' O3	-2.007013914499999	20.805441361162497	6.292522058970462E-12	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs FRESCA / 30' O3	-1.789009362000000	18.338198994304225	3.473488163763250E-11	SI
60°C / 15% IR / 60' O3 vs FRESCA / 60' O3	-1.182485636999999	12.25807923068108	0.000000007114393	SI
70°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 30' O3	0.086692683000000	0.898688105531994	0.384015109194205	No
70°C / 15% IR vs 70°C / 15% IR / 60' O3	0.287865526500000	2.984119486290683	0.00956877666366	SI
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR	0.102785024500000	1.068196702117892	0.309678225048435	No
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0.301029995500000	3.120587193779653	0.007518521120483	SI
70°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0.719101594500000	7.454470519112193	0.000003085181969	SI
70°C / 15% IR vs FRESCA / 0' O3	-1.946047301499999	20.17343912012363	9.565237490960500E-12	SI
70°C / 15% IR vs FRESCA / 30' O3	-1.708042748999999	17.70619675326536	5.568501215691413E-11	SI
70°C / 15% IR vs FRESCA / 60' O3	-1.121519023999999	11.626076989642211	0.000000014027161	SI
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 70°C / 15% IR / 60' O3	0.201112843500000	2.085431380748689	0.055815951377634	No
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR	0.016092341500000	0.166819106246933	0.698897832739686	No
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0.214337312500000	2.221899088247659	0.043284132448271	No
70°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0.632408911500000	6.555782413580199	0.000012788178459	SI
70°C / 15% IR / 30' O3 vs FRESCA / 0' O3	-2.032739984499999	21.0721222655624	5.291989069178271E-12	SI
70°C / 15% IR / 30' O3 vs FRESCA / 30' O3	-1.794735432	18.604884885879735	2.859090741935688E-11	SI
70°C / 15% IR / 30' O3 vs FRESCA / 60' O3	-1.208211707000000	12.524765095174208	0.000000005389354	SI
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR	-0.185080502000000	1.918612274501756	0.07565683076023	No
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0.013154469000000	0.13646770749897	0.893394539133948	No
70°C / 15% IR / 60' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0.431236068000000	4.470351032831178	0.000528363787178	SI
70°C / 15% IR / 60' O3 vs FRESCA / 0' O3	-2.233912827999999	23.15755860640431	1.461719634221481E-12	SI
70°C / 15% IR / 60' O3 vs FRESCA / 30' O3	-1.995908275500000	20.690316239546043	6.785239037299107E-12	SI
70°C / 15% IR / 60' O3 vs FRESCA / 60' O3	-1.409384550499999	14.610196475922894	0.00000000720687	SI
80°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 30' O3	0.198244971000000	2.05079982000726	0.059025826642645	No
80°C / 15% IR vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0.61631657	6.389863307333266	0.000016851523869	SI
80°C / 15% IR vs FRESCA / 0' O3	-2.048832325999999	21.238946331902957	4.75375294839995E-12	SI
80°C / 15% IR vs FRESCA / 30' O3	-1.010827773500000	18.771703965044285	2.634639165219233E-11	SI
80°C / 15% IR vs FRESCA / 60' O3	-1.224304048499999	12.691584201421138	0.000000004541484	SI
80°C / 15% IR / 30' O3 vs 80°C / 15% IR / 60' O3	0.418071599000000	4.33388332533254	0.000687039200884	SI
80°C / 15% IR / 30' O3 vs FRESCA / 0' O3	-2.247077297000000	23.294026313903284	1.348920974919565E-12	SI
80°C / 15% IR / 30' O3 vs FRESCA / 30' O3	-2.0090727445	20.826783947045012	6.205258529234925E-12	SI
80°C / 15% IR / 30' O3 vs FRESCA / 60' O3	-1.4225490195	14.746664183421863	0.00000000637461	SI
80°C / 15% IR / 60' O3 vs FRESCA / 0' O3	-2.665148895999999	27.627909639235824	0.000000000001030	SI
80°C / 15% IR / 60' O3 vs FRESCA / 30' O3	-2.427144343499999	25.16066727237755	0.000000000000469	SI
80°C / 15% IR / 60' O3 vs FRESCA / 60' O3	-1.840620618499999	19.080547508754403	2.033262447298512E-11	SI
FRESCA / 0' O3 vs FRESCA / 30' O3	0.238004552500000	2.46724366858272	0.027128136917967	No
FRESCA / 0' O3 vs FRESCA / 60' O3	0.824528277500000	8.547362130481417	0.000000628611212	SI
FRESCA / 30' O3 vs FRESCA / 60' O3	0.586523725000000	6.080119763623146	0.000028371996792	SI

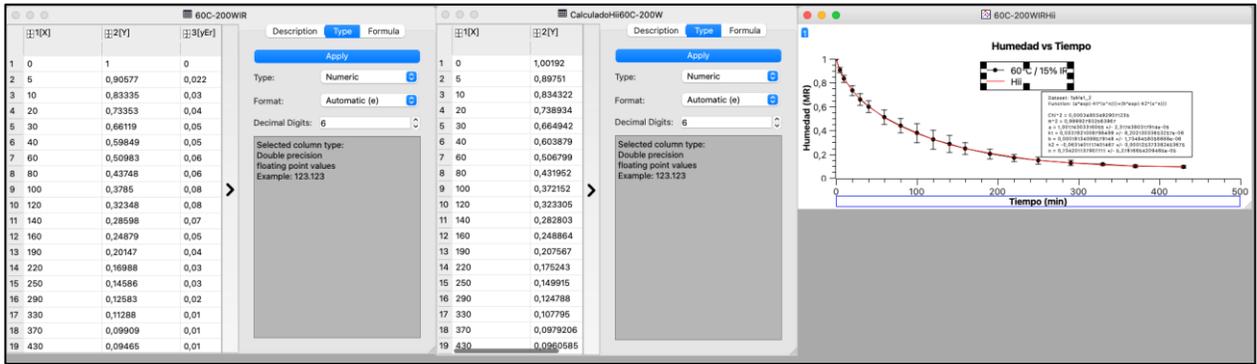
ANEXO 9: CALCULO DIFUSIVIDAD 60, 70, 80 °C / 0' O3 / 200 W

60 °C	Tiempo(seg)	PPV+M1	PPV+M2	PPV+M3	M1	M2	M3	Xw1 (bh)	Xw1(bs)	Xw2 (bh)	Xw2(bs)	Xw3 (bh)	Xw3(bs)
IR 200 W	0	7,8425	7,7160	7,1463	4,3662	4,7428	3,5269	0,8300	4,8824	0,8300	4,8824	0,8300	4,8824
	300	7,5415	7,3997	6,7971	4,0652	4,4265	3,1777	0,8174	4,4768	0,8179	4,4901	0,8113	4,2999
	600	7,3040	7,1365	6,5487	3,8277	4,1633	2,9293	0,8061	4,1569	0,8063	4,1636	0,7953	3,8856
	1200	6,9661	6,7741	6,2145	3,4898	3,8009	2,5951	0,7873	3,7016	0,7879	3,7141	0,7690	3,3282
	1800	6,7006	6,5053	5,9936	3,2243	3,5321	2,3742	0,7698	3,3439	0,7717	3,3808	0,7475	2,9598
	2400	6,4669	6,2883	5,7931	2,9906	3,3151	2,1737	0,7518	3,0291	0,7568	3,1116	0,7242	2,6254
	3600	6,1517	5,9674	5,5077	2,6754	2,9942	1,8883	0,7226	2,6044	0,7307	2,7136	0,6825	2,1494
	4800	5,8829	5,7017	5,2871	2,4066	2,7285	1,6677	0,6916	2,2423	0,7045	2,3841	0,6405	1,7815
	6000	5,6245	5,5523	5,0889	2,1482	2,5791	1,4695	0,6545	1,8942	0,6874	2,1988	0,5920	1,4509
	7200	5,4247	5,3324	4,9307	1,9484	2,3592	1,3113	0,6190	1,6250	0,6582	1,9260	0,5428	1,1871
	8400	5,3251	5,1530	4,8152	1,8488	2,1798	1,1958	0,5985	1,4908	0,6301	1,7035	0,4986	0,9944
	9600	5,1429	4,9571	4,7815	1,6666	1,9839	1,1621	0,5546	1,2453	0,5936	1,4606	0,4841	0,9382
	11400	4,9469	4,7464	4,6809	1,4706	1,7732	1,0615	0,4953	0,9813	0,5453	1,1992	0,4352	0,7704
	13200	4,8162	4,5936	4,6227	1,3399	1,6204	1,0033	0,4460	0,8052	0,5024	1,0097	0,4024	0,6734
	15000	4,7210	4,4702	4,5804	1,2447	1,4970	0,9610	0,4037	0,6769	0,4614	0,8567	0,3761	0,6028
	17400	4,6491	4,3568	4,5469	1,1728	1,3836	0,9275	0,3671	0,5801	0,4173	0,7160	0,3536	0,5469
	19800	4,6044	4,2799	4,5265	1,1281	1,3067	0,9071	0,3420	0,5198	0,3830	0,6207	0,3390	0,5129
	22200	4,5552	4,2045	4,5012	1,0789	1,2313	0,8818	0,3120	0,4535	0,3452	0,5271	0,3201	0,4707
	25800	4,5444	4,1730	4,4943	1,0681	1,1998	0,8749	0,3051	0,4390	0,3280	0,4881	0,3147	0,4592

Xw1/Xbs i 1	Xw1/Xbs i 2	Xw1/Xbs i 3	Xw1/Xbs i prom (XR)	Desv	Ln(XR) 1	Ln(XR) 2	Ln(XR) 3	Deff 1	Deff 2	Deff 3	Deff PROM	Desvest Deff PROM	Ln(Deff) PROM
1,0000	1,0000	1,0000	1,0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
0,9169	0,9196	0,8807	0,91	0,022	-0,086711749	-0,083762198	-0,127026554	-	-	-	-	-	-
0,8514	0,8528	0,7959	0,8	0,03	-0,16086727	-0,159243233	-0,228338627	-	-	-	-	-	-
0,7582	0,7607	0,6817	0,73	0,04	-0,276855338	-0,273479419	-0,383181544	-	-	-	-	-	-
0,6849	0,6924	0,6062	0,66	0,05	-0,378480267	-0,367527333	-0,50049946	-	-	-	-	-	-
0,6204	0,6373	0,5377	0,60	0,05	-0,477368653	-0,450483983	-0,620388887	-	-	-	-	-	-
0,5334	0,5558	0,4402	0,51	0,06	-0,62841476	-0,587344951	-0,820434811	-	-	-	-	-	-
0,4593	0,4883	0,3649	0,44	0,06	-0,778131234	-0,716815251	-1,008183073	-	-	-	-	-	-
0,3880	0,4504	0,2972	0,38	0,08	-0,946853102	-0,797724345	-1,213435699	-	-	-	-	-	-
0,3328	0,3945	0,2431	0,32	0,08	-1,100133335	-0,930158495	-1,414150588	-	-	-	-	-	-
0,3053	0,3489	0,2037	0,29	0,07	-1,186320035	-1,0529184	-1,591223532	-	-	-	-	-	-
0,2551	0,2992	0,1922	0,25	0,05	-1,366232306	-1,206799251	-1,649405866	-	-	-	-	-	-
0,2010	0,2456	0,1578	0,20	0,04	-1,604542556	-1,403933481	-1,846438129	-	-	-	-	-	-
0,1649	0,2068	0,1379	0,17	0,03	-1,802320161	-1,575940691	-1,981106092	-	-	-	-	-	-
0,1386	0,1755	0,1235	0,15	0,03	-1,975830595	-1,740313057	-2,091784914	-	-	-	-	-	-
0,1188	0,1467	0,1120	0,13	0,02	-2,130264596	-1,919649745	-2,189053976	-	-	-	-	-	-
0,1065	0,1271	0,1051	0,11	0,01	-2,23988044	-2,06259764	-2,253282111	-	-	-	-	-	-
0,0929	0,1080	0,0964	0,10	0,01	-2,376286833	-2,225907741	-2,339133287	-	-	-	-	-	-
0,0899	0,1000	0,0941	0,09	0,01	-2,408893889	-2,302911322	-2,363885517	3,27376,E-10	2,82621,E-10	3,56819,E-10	3,22272E-10	3,74,E-11	-21,8556



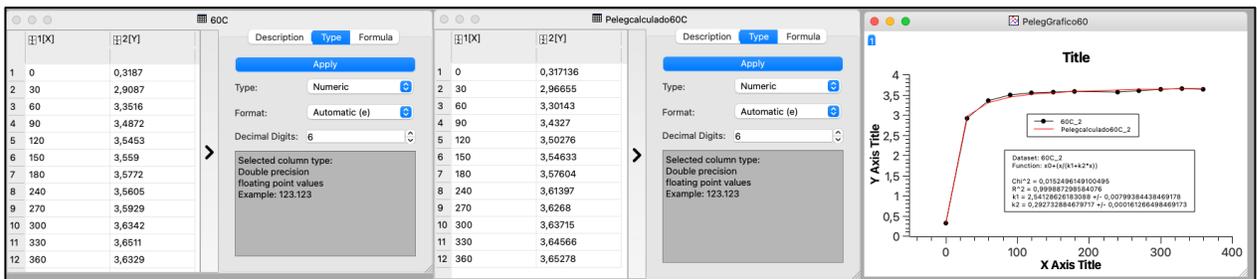
ANEXO 10: MODELADO SECADO HII 60 °C / 0' O3 / 200 W IR VÍA SciDAVis



ANEXO 11: CALCULO REHIDRATACIÓN 60 °C / 0' O3 / 200 W IR

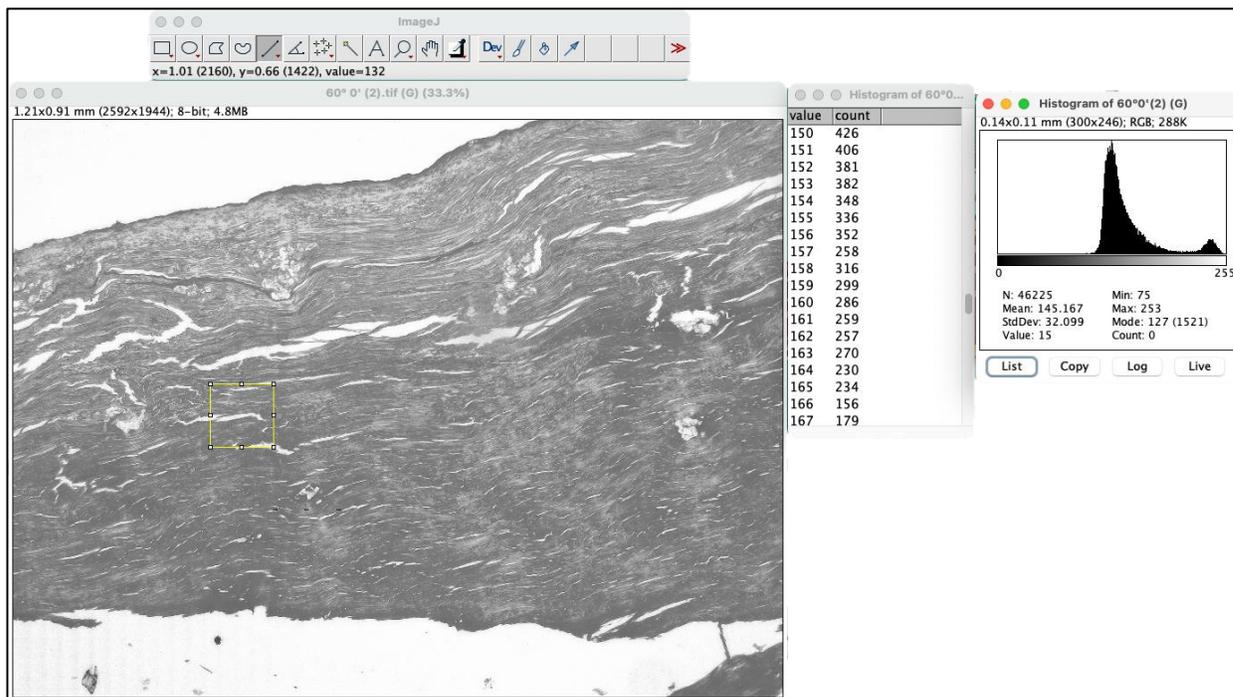
Tiempo	Wr	Wr	Wr	Rehidratación M1	Rehidratación M2	Rehidratación M3	Rehidratación Promedio	Desvest
0	1,042	1,4109	0,8798	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
30	2,7221	4,3963	2,7835	47,4470	63,2085	53,6949	54,78	7,94
60	3,1436	4,5688	3,2065	59,3505	66,8607	65,6259	63,95	4,03
90	3,2909	4,5714	3,3520	63,5103	66,9158	69,7298	66,72	3,11
120	3,3615	4,5922	3,3958	65,5041	67,3562	70,9652	67,94	2,78
150	3,3700	4,5888	3,4181	65,7441	67,2842	71,5942	68,21	3,03
180	3,3727	4,5959	3,4479	65,8204	67,4345	72,4347	68,56	3,45
240	3,3570	4,5914	3,4305	65,3770	67,3392	71,9439	68,22	3,37
270	3,3896	4,6179	3,4513	66,2977	67,9003	72,5306	68,91	3,24
300	3,3962	4,6400	3,5146	66,4840	68,3682	74,3160	69,72	4,09
330	3,4120	4,6405	3,5347	66,9302	68,3788	74,8829	70,06	4,24
360	3,3892	4,6152	3,5333	66,2864	67,8432	74,8435	69,66	4,56

ANEXO 12: MODELADO REHIDRATACION PELEG 60 °C / 0' O3 / 200 W IR VÍA SciDAVis

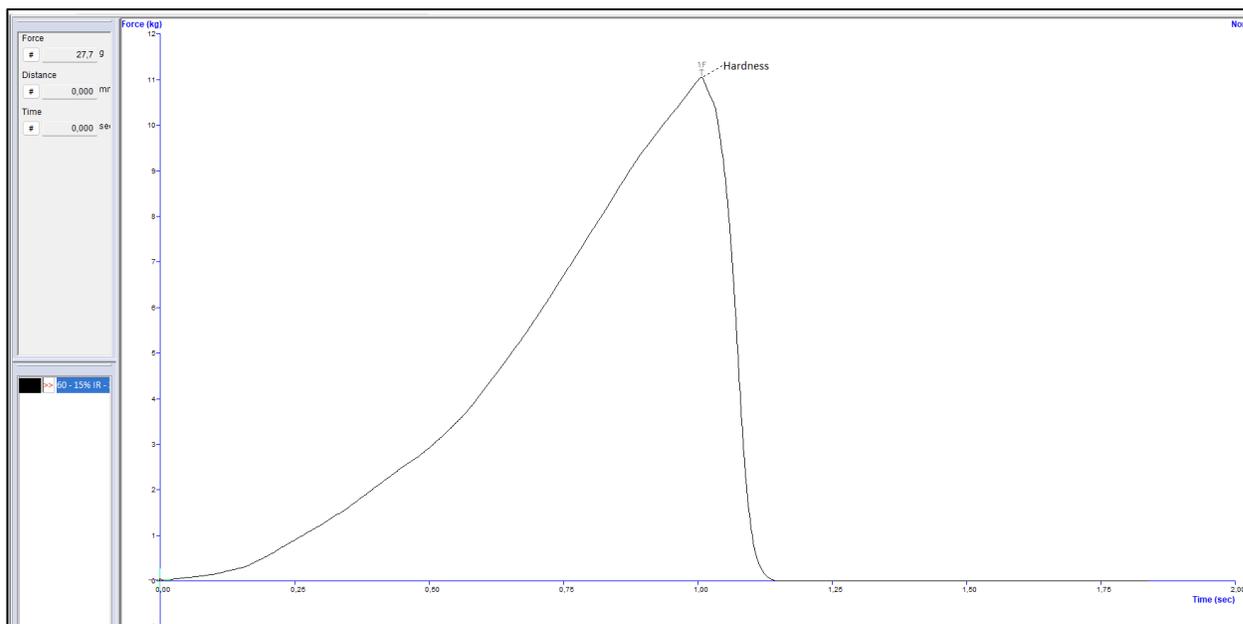


60 °C	Tiempo(min)	M1	M2	M3	Xw1 (bh)	Xw1(bs)	Xw2 (bh)	Xw2(bs)	Xw3 (bh)	Xw3(bs)	Prom Xbs	Desvest
15% IR MAX	0	1,042	1,4109	0,8798	0,2417	0,3187	0,2417	0,3187	0,2417	0,3187	0,3187	0,0000
	30	2,7221	4,3963	2,7835	0,7097	2,4449	0,7566	3,1090	0,7603	3,1721	2,9087	0,4028
	60	3,1436	4,5688	3,2065	0,7486	2,9784	0,7658	3,2702	0,7919	3,8061	3,3516	0,4198
	90	3,2909	4,5714	3,3520	0,7599	3,1648	0,7660	3,2726	0,8010	4,0242	3,4872	0,4681
	120	3,3615	4,5922	3,3958	0,7649	3,2541	0,7670	3,2921	0,8035	4,0898	3,5453	0,4719
	150	3,3700	4,5888	3,4181	0,7655	3,2649	0,7668	3,2889	0,8048	4,1232	3,5590	0,4888
	180	3,3727	4,5959	3,4479	0,7657	3,2683	0,7672	3,2955	0,8065	4,1679	3,5772	0,5117
	240	3,3570	4,5914	3,4305	0,7646	3,2484	0,7670	3,2913	0,8055	4,1418	3,5605	0,5039
	270	3,3896	4,6179	3,4513	0,7669	3,2897	0,7683	3,3161	0,8067	4,1730	3,5929	0,5025
	300	3,3962	4,6400	3,5146	0,7673	3,2980	0,7694	3,3368	0,8102	4,2679	3,6342	0,5491
	330	3,4120	4,6405	3,5347	0,7684	3,3180	0,7694	3,3372	0,8112	4,2980	3,6511	0,5603
	360	3,3892	4,6152	3,5333	0,7669	3,2892	0,7682	3,3136	0,8112	4,2959	3,6329	0,5743

ANEXO 13: METODOLOGÍA MICROSCOPIA VÍA IMAGEJ 60 °C / 0' O3 / 200 W IR



ANEXO 14: METODOLOGIA TEXTURA VIA EXPONENT 60 °C / 30' O3 / 200 W IR



ANEXO 15: REGLAMENTO SANITARIO DE LOS ALIMENTOS APARTADO 11.2 Y 11.3

11.2.- PESCADOS Y MARISCOS CRUDOS CONGELADOS

Parámetro	Plan de muestreo		n	Límite por gramo		
	Categoría	Clases		c	m	M
Rcto. Aerobios Mesóf.	1	3	5	3	5×10^5	10^6
E. coli	4	3	5	3	10^2	5×10^2
S. aureus	7	3	5	2	10^2	5×10^2

11.3.- PESCADOS Y MARISCOS PRECOCIDOS O COCIDOS CONGELADOS

Parámetro	Plan de muestreo		n	Límite por gramo		
	Categoría	Clases		c	m	M
Rcto. Aerobios Mesóf.	1	3	5	3	10^5	5×10^5
E. coli	4	3	5	3	10	10^2
S. aureus	8	3	5	1	10	10^2
Salmonella en 25 g	10	2	5	0	0	---

ANEXO 16: TABLAS DE RESULTADOS RECUESTO MICROBIOLÓGICO

Recuento de aerobios mesófilos (log UFC/g)

AEROBIOS MESÓFILOS (log UFC/g)					
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Muestra Fresca	Temperatura °C		
			60	70	80
200	0	4,44 ± 0,03 ^{Aa}	2,60 ± 0,05 ^{Ab}	2,49 ± 0,02 ^{Ab}	2,39 ± 0,04 ^{Ab}
	30	4,20 ± 0,09 ^{Aa}	2,50 ± 0,03 ^{Ab}	2,40 ± 0,06 ^{ABbc}	2,19 ± 0,16 ^{Ac}
	60	3,61 ± 0,23 ^{Ba}	2,43 ± 0,05 ^{Ab}	2,20 ± 0,04 ^{Bb}	1,77 ± 0,10 ^{Bc}

Nota: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con las letras en superíndice: letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de ozono a una misma temperatura (misma columna) y letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a diferentes temperaturas a un tiempo de exposición de ozono igual (misma fila) (p<0,05)

Recuento de enterobacterias (log UFC/g)

ENTEROBACTERIAS (log UFC/g)					
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Muestra Fresca	Temperatura °C		
			60	70	80
200	0	3,64 ± 0,04 ^{Aa}	2,96 ± 0,21 ^{Ab}	2,48 ± 0,01 ^{Ac}	2,31 ± 0,02 ^{Ac}
	30	3,19 ± 0,02 ^{Ba}	2,54 ± 0,21 ^{Bb}	2,63 ± 0,12 ^{Ab}	2,23 ± 0,04 ^{ABc}
	60	2,71 ± 0,05 ^{Ca}	2,46 ± 0,02 ^{Bb}	2,44 ± 0,01 ^{Ab}	2,04 ± 0,06 ^{Bc}

Nota: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con las letras en superíndice: letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de ozono a una misma temperatura (misma columna) y letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a diferentes temperaturas a un tiempo de exposición de ozono igual (misma fila) (p<0,05)

Recuento de *Staphylococcus aureus* (log UFC/g)

STAPHYLOCOCCUS AUREUS (log UFC/g)					
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Muestra Fresca	Temperatura °C		
			60	70	80
200	0	4,16 ± 0,07 ^{Aa}	2,56 ± 0,01 ^{Ab}	1,80 ± 0,14 ^{Ac}	1,39 ± 0,12 ^{Ad}
	30	3,44 ± 0,17 ^{Ba}	2,53 ± 0,09 ^{Ab}	1,74 ± 0,06 ^{Ac}	1,24 ± 0,34 ^{Ad}
	60	3,35 ± 0,10 ^{Ba}	2,36 ± 0,05 ^{Ab}	1,24 ± 0,34 ^{Bc}	1,15 ± 0,21 ^{Ac}

Nota: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con las letras en superíndice: letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de ozono a una misma temperatura (misma columna) y letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a diferentes temperaturas a un tiempo de exposición de ozono igual (misma fila) (p<0,05)

ANEXO 17: HUMEDADES RELATIVAS A 330 MINUTOS

MR 330 MINUTOS SECADO (ADIMENSIONAL)				
Potencia (W)	Tratamiento Ozono (min)	Temperatura °C		
		60	70	80
200	0	0,113 ± 0,012 ^{Aa}	0,099 ± 0,031 ^{Aa}	0,075 ± 0,027 ^{Aa}
	30	0,126 ± 0,030 ^{Aa}	0,103 ± 0,010 ^{Aa}	0,089 ± 0,015 ^{Aa}
	60	0,103 ± 0,043 ^{Aa}	0,095 ± 0,004 ^{Aa}	0,095 ± 0,009 ^{Aa}

Nota: Las comparaciones estadísticas entre los grupos se indican con las letras en superíndice: letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de ozono a una misma temperatura (misma columna) y letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a diferentes temperaturas a un tiempo de exposición de ozono igual (misma fila) (p<0,05)