

Alimentos fermentados: microbiología, nutrición, salud y cultura

Editores:
Alejandro Ferrari
Gabriel Vinderola
Ricardo Weill



ASOCIACIÓN CIVIL DANONE PARA LA NUTRICIÓN, LA SALUD Y LA CALIDAD DE VIDA
MIEMBRO DE LA RED
INSTITUTO DANONE
INTERNACIONAL
REGIÓN CONO SUR

ALIMENTOS FERMENTADOS

MICROBIOLOGÍA, NUTRICIÓN, SALUD Y CULTURA

Tapa y contratapa: Victoria Weill

Diseño de interiores: Blaunt

Edición general: Alejandro Ferrari

Ferrari, Alejandro

Alimentos fermentados : microbiología, nutrición, salud y cultura / Alejandro Ferrari ; Gabriel Vinderola ; Ricardo Weill. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Instituto Danone del Cono Sur, 2020.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga
ISBN 978-987-25312-2-5

1. Microorganismo. 2. Salud. 3. Alimentación. I. Vinderola, Gabriel. II. Weill, Ricardo. III. Título.
CDD 664.001579

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

1ª edición, Asociación Civil Danone para la Nutrición, la Salud y la Calidad de Vida, 2020.

© de todas las ediciones

Asociación Civil Danone para la Nutrición,
la Salud y la Calidad de Vida
Moreno 877 - Piso 13 - C.A.B.A.
secretaria@institutodanoneconosur.org

Queda hecho el depósito que previene la Ley 11.723
Impreso en Argentina – Printed in Argentina

ALIMENTOS FERMENTADOS

MICROBIOLOGÍA, NUTRICIÓN, SALUD Y CULTURA

Danone Cono Sur // 2020

Editores:

Alejandro Ferrari

Gabriel Vinderola

Ricardo Weill

ÍNDICE

PRÓLOGO	17
• CAPÍTULO 1	
LA FERMENTACIÓN: UNA MIRADA ANTROPOLÓGICA	19
I. INTRODUCCIÓN	21
II. PRINCIPALES HITOS HISTÓRICOS	22
II.A. LOS GRANDES SIMIOS: EL AGRADO POR EL ETANOL	24
II.B. LOS HOMBRES PREHISTÓRICOS Y LAS BEBIDAS ALCOHÓLICAS FERMENTADAS: CERVEZA Y RITUAL	25
III. BEBIDAS Y ALIMENTOS FERMENTADOS EN MESOAMÉRICA Y AMÉRICA DEL SUR: DIVERSIDAD DE PRODUCTOS	26
III.A. EL PULQUE Y EL POZOL: NUTRICIÓN CON Y SIN ALCOHOL	27
III.B. EL CACAO Y EL CHOCOLATE: SABOR, ENERGÍA Y RITUAL	28
III.C. LA LECHE Y LOS PRODUCTOS LÁCTEOS FERMENTADOS: SIN PRESENCIA EN LA AMÉRICA DEL SUR PREHISPÁNICA	29
IV. BEBIDAS Y ALIMENTOS FERMENTADOS EN EL CERCANO ORIENTE	30
IV.A. LA CERVEZA Y EL PAN, BÁSICOS Y SAGRADOS	30
IV.B. EL VINO; LO PERMITIDO Y LO PROHIBIDO	31
IV.C. LAS BEBIDAS FERMENTADAS LÁCTEAS. PRESERVACIÓN Y BENEFICIOS PARA LA SALUD	32
V. PESCADOS FERMENTADOS EN EL ÁRTICO Y ESCANDINAVIA; QUESOS DE CABRA EN AMÉRICA DEL SUR. IMPORTANCIA DE LO SOCIAL	34
VI. ALGUNAS INVARIANTES	35

VII. LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL: PÉRDIDAS Y GANANCIAS. LOUIS PASTEUR.	36
VIII. LOS ÚLTIMOS 100 AÑOS	38
IX. CONCLUSIONES	39
X. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	39
XI. BIBLIOGRAFÍA CITADA	40
• CAPÍTULO 2	
VARIEDAD DE ALIMENTOS FERMENTADOS EN JAPÓN Y OTROS PAÍSES DEL ESTE ASIÁTICO, Y LOS MICROORGANISMOS INVOLUCRADOS EN SU FERMENTACIÓN	43
I. INTRODUCCIÓN	45
II. BEBIDAS ALCOHÓLICAS	45
II.A. SAKE	45
II.B. SHOCHU	48
II.C. AWAMORI	49
II.D. BEBIDAS ALCOHÓLICAS DE CHINA Y COREA DEL SUR	49
III. CONDIMENTOS FERMENTADOS	50
III.A. MISO (PASTA DE POROTOS DE SOJA)	50
III.B. SHOYU (SALSA DE SOJA)	50
III.C. KUROZU (KROZSU)	51
III.D. CONDIMENTOS FERMENTADOS EN CHINA Y COREA DEL SUR	52
IV. VEGETALES FERMENTADOS	52
IV.A. VEGETALES FERMENTADOS ÚNICOS DE JAPÓN	52
IV.B. VEGETALES FERMENTADOS DE CHINA Y COREA DEL SUR	54
V. OTROS	54
VI. CONCLUSIONES	56
VII. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	56
VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA	56

• CAPÍTULO 3

INTRODUCCIÓN A LA MICROBIOTA INTESTINAL: SU ROL EN LA SALUD Y LA ENFERMEDAD	61
I. INTRODUCCIÓN	63
II. LA MICROBIOTA INTESTINAL, UN ÓRGANO ÚNICO	63
III. COMPOSICIÓN Y DISTRIBUCIÓN	65
IV. CONFORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LA MICROBIOTA INTESTINAL	68
V. FUNCIONES DE LA MICROBIOTA INTESTINAL	74
V.A. FUNCIONES INMUNOLÓGICAS	74
V.B. FUNCIONES ESTRUCTURALES	76
V.C. FUNCIONES NUTRICIONALES	78
V.D. FUNCIONES METABÓLICAS.	79
VI. LA MICROBIOTA INTESTINAL EN LA SALUD Y EN LA ENFERMEDAD	81
VII. ENFERMEDAD Y MICROBIOTA INTESTINAL	82
VII.A. INTRUSOS MICROBIANOS EN EL TRACTO GASTRO-INTESTINAL (TGI)	82
VII.B. ALTERACIONES DEL TGI	83
VIII. ¿CÓMO LOGRAR UNA MBT SANA?	88
IX. CONCLUSIONES	89
X. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	89
XI. BIBLIOGRAFÍA CITADA	89

• CAPÍTULO 4

CONSUMO DE LECHE FERMENTADAS PROBIÓTICAS Y SU IMPACTO SOBRE EL SISTEMA INMUNE	97
I. INTRODUCCIÓN	99
II. ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA INMUNE DE MUCOSA INTESTINAL	99
II.A. INDUCCIÓN DE LA RESPUESTA INMUNE EN EL INTESTINO	101
III. PROBIÓTICOS Y SALUD	102

III.A. PROBIÓTICOS EN LA MODULACIÓN DEL SISTEMA INMUNE INTESTINAL	103
III.B. PROBIÓTICOS Y SUS EFECTOS SOBRE CÉLULAS DEL TIMO	107
IV. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	108
V. BIBLIOGRAFÍA CITADA	108
• CAPÍTULO 5	
LECHES FERMENTADAS, YOGURES Y PROBIÓTICOS	117
I. UNA INTRODUCCIÓN A LA TRANSFORMACIÓN DE LA LECHE EN YOGUR	119
II. ¿CÓMO EMPEZÓ EL HOMBRE A CONSUMIR LECHE FERMENTADAS Y YOGURES?	119
III. EL RECORRIDO DEL YOGUR DESDE LA ANTIGÜEDAD HASTA NUESTROS DÍAS	120
IV. PROBIÓTICOS: DE ARGENTINA AL MUNDO	121
V. LECHE FERMENTADAS Y YOGURES CON PROBIÓTICOS	122
VI. RECUENTO DE CÉLULAS VIABLES DE PROBIÓTICOS EN YOGURES	124
VII. EL YOGUR Y SU POTENCIAL RELEVANCIA EN LAS GUÍAS ALIMENTARIAS.	125
VIII. CONCEPCIONES POPULARIZADAS ENTORNO AL YOGUR: ANTIBIÓTICOS, CADENA DE FRÍO Y RIESGO DE SÍNDROME URÉMICO HEMOLÍTICO	127
IX. CONCLUSIONES	130
X. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	130
XI. BIBLIOGRAFÍA CITADA	131
• CAPÍTULO 6	
EL KEFIR Y LOS ALIMENTOS FERMENTADOS ARTESANALES	135
I. INTRODUCCIÓN	137
II. EL KEFIR	137
III. EFECTOS BENEFICIOSOS SOBRE LA SALUD ATRIBUIDOS AL KEFIR	142
IV. KEFIR DE AGUA	145
V. KOMBUCHA	149
VI. CONCLUSIONES	152

VII. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	153
VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA	153
• CAPÍTULO 7	
EMBUTIDOS FERMENTADOS CÁRNICOS: CONTRIBUCIÓN DE BACTERIAS LÁCTICAS EN LA CALIDAD GLOBAL	165
I. INTRODUCCIÓN	167
II. EMBUTIDOS FERMENTADOS Y CURADOS	168
III. FUNCIÓN DE LOS ADITIVOS EN LA ELABORACIÓN DE EMBUTIDOS FERMENTADOS	169
IV. TIPOS DE EMBUTIDOS FERMENTADOS	169
V. MADURACIÓN DE EMBUTIDOS FERMENTADOS; IMPORTANCIA DE LA PROTEÓLISIS CÁRNICA	170
VI. MICROBIOTA DE LOS EMBUTIDOS FERMENTADO-CURADOS	171
VI.A. BACTERIAS LÁCTICAS EN EMBUTIDOS FERMENTADOS ESPONTÁNEAMENTE	172
VI.B. COCOS GRAM POSITIVOS, CATALASA POSITIVOS, EN EMBUTIDOS FERMENTADOS ESPONTÁNEAMENTE	173
VII. CULTIVOS INICIADORES PARA PRODUCTOS CÁRNICOS	174
VII.A. PROPIEDADES DE LOS CULTIVOS INICIADORES	174
VII.B. CULTIVOS INICIADORES AUTÓCTONOS	175
VII.B.1. <i>LACTOBACILLUS CURVATUS</i> CRL705, UNA CEPA AUTÓCTONA ARGENTINA	176
VIII. CARNES FERMENTADAS EN AMÉRICA LATINA	177
IX. SITUACIÓN DEL SECTOR PRODUCTOR DE EMBUTIDOS EN ARGENTINA	177
X. TENDENCIAS DE CONSUMO DE EMBUTIDOS FERMENTADOS	178
XI. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y ORGANOLÉPTICOS COMO DESCRIPTORES DE CALIDAD EN EMBUTIDOS FERMENTADOS ARGENTINOS	179
XII. EVOLUCIÓN DE LA PROTEÓLISIS DURANTE LA FERMENTACIÓN Y MADURACIÓN DE EMBUTIDOS FERMENTADOS ARGENTINOS	181
XIII. CONTRIBUCIÓN DE UN CULTIVO INICIADOR AUTÓCTONO A LA PROTEÓLISIS CÁRNICA, ESTUDIOS <i>IN VITRO</i>	182

XIV. ROL DEL CULTIVO INICIADOR AUTÓCTONO EN LA CALIDAD DE EMBUTIDOS FERMENTADOS	
ELABORADOS EN PLANTA PILOTO	186
XV. CONCLUSIONES	187
XVI. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	188
XVII. BIBLIOGRAFÍA CITADA	188
• CAPÍTULO 8	
FERMENTACIÓN LÁCTICA DE CEREALES Y GRANOS ANCESTRALES ANDINOS	195
I. INTRODUCCIÓN	197
II. CEREALES	198
III. PSEUDOCEREALES	200
IV. FERMENTACIÓN	201
IV.A. FERMENTACIÓN DE CEREALES Y PSEUDOCEREALES	202
IV.A.1. MASA MADRE	202
V. ALIMENTOS FERMENTADOS DERIVADOS DE CEREALES	209
V.A. PANIFICADOS	209
V.B. PASTAS	210
V.C. ALIMENTOS Y BEBIDAS AFRICANOS TRADICIONALES DERIVADOS DE CEREALES FERMENTADOS	212
V.D. ALIMENTOS Y BEBIDAS LATINOAMERICANOS TRADICIONALES DERIVADOS DE CEREALES FERMENTADOS	216
VI. CONCLUSIONES	218
VII. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	218
VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA	218
• CAPÍTULO 9	
HORTALIZAS Y LEGUMBRES FERMENTADAS	231
I. INTRODUCCIÓN	233
II. EL LABERINTO METABÓLICO DE LA FERMENTACIÓN DE VEGETALES	234

III. EL ARTE O LA CIENCIA DE FERMENTAR VEGETALES	239
III.A. FERMENTACIÓN ESPONTÁNEA	240
III.B. FERMENTACIÓN CONTROLADA	242
IV. MODALIDADES DE FERMENTACIÓN DE LOS VEGETALES	245
IV.A. FERMENTACIÓN SUMERGIDA (FSM)/ FERMENTACIÓN LÍQUIDA (FL)	245
IV.A.1. SALADO EN SECO	246
IV.A.2. SALADO EN SALMUERA	246
IV.A.3. VEGETALES FERMENTADOS NO SALADOS	247
IV.B. FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO (FSS)	247
V. LAS ESTRELLAS DEL MERCADO: VEGETALES FERMENTADOS TRADICIONALES Y EMERGENTES	249
V.A. PEPINOS CHICOS O PEPINILLOS	250
V.B. CHUCRUT	250
V.C. ACEITUNAS	251
V.D. SALSA DE SOJA	252
V.E. KIMCHI	253
V.F. SILOS PARA CONSUMO ANIMAL	254
V.G. LEGUMBRES FERMENTADAS	256
V.H. VEGETALES FERMENTADOS DE AMÉRICA LATINA	258
VI. CONCLUSIÓN	258
VII. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	259
VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA	259
• CAPÍTULO 10	
FERMENTACIÓN DE JUGOS Y BEBIDAS A BASE DE FRUTAS	273
I. LAS FRUTAS COMO ALIMENTO Y SUS EFECTOS BENÉFICOS PARA LA SALUD	275
II. DESAFÍOS A SUPERAR PARA INCREMENTAR EL CONSUMO DE FRUTAS	278
III. FERMENTACIÓN LÁCTICA DE FRUTAS COMO ALTERNATIVA DE PRESERVACIÓN Y DE VALOR	
AGREGADO	279

IV. COMPUESTOS FENÓLICOS EN FRUTAS	281
IV.A. METABOLISMO DE LOS CF POR BAL	282
IV.B. METABOLISMO DE ÁCIDOS FENÓLICOS: UNA VENTAJA ENERGÉTICA	284
V. FORMACIÓN DE COMPUESTOS DE AROMA EN JUGOS DE FRUTAS FERMENTADAS	285
VI. BACTERIAS PROBIÓTICAS EN JUGOS DE FRUTA	287
VII. ALIMENTOS FERMENTADOS ARTESANALES Y COMERCIALES A BASE DE FRUTAS	290
VII.A. VINO: LA BEBIDA ALCOHÓLICA FERMENTADA A BASE DE JUGO DE UVA MUNDIALMENTE ACEPTADA	292
VII.A.1. PRODUCCIÓN DE VINO EN ARGENTINA	292
VII.A.2. COMPOSICIÓN DEL MOSTO DE UVA Y VINO	293
VII.A.3. TIPOS DE FERMENTACIONES QUE OCURREN DURANTE LA VINIFICACIÓN	294
VII.A.4. IMPORTANCIA DE LAS BAL EN LA PRODUCCIÓN DEL VINO	294
VII.A.5. ESTRATEGIAS DE INOCULACIÓN: FERMENTACIÓN SECUENCIAL VS. SIMULTÁNEA	295
VIII. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	295
IX. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	296
X. BIBLIOGRAFÍA	296
• CAPÍTULO 11	
LEVADURAS EN CERVEZA Y PANIFICADOS, APORTES DESDE LA PATAGONIA ARGENTINA	307
I. BREVE HISTORIA DE LA CERVEZA Y EL PAN	309
I.A. PRODUCCIÓN DE CERVEZA	309
I.B. PRODUCCIÓN DE PAN	312
II. LEVADURAS ASOCIADAS A PAN Y CERVEZA	313
II.A. LEVADURAS DE LA CERVEZA	313
II.A.1. LEVADURAS <i>ALE</i>	313
II.A.2 LEVADURAS <i>LAGER</i>	314
II.B. LEVADURAS DEL PAN	315

III. EL CASO DEL HÍBRIDO <i>LAGER</i> Y SUS ORÍGENES PATAGÓNICOS	316
IV. ALIMENTOS FERMENTADOS CON <i>S. EUBAYANUS</i> : EL DESAFÍO DE LA VINCULACIÓN PÚBLICO-PRIVADA	317
V. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	319
VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA	320
• CAPÍTULO 12	
EL PAPEL DE LOS ALIMENTOS FERMENTADOS EN LA ALIMENTACIÓN	323
I. INTRODUCCIÓN	325
II. LA FERMENTACIÓN DE LOS ALIMENTOS: CULTURA, GASTRONOMÍA Y CIENCIA	326
III. BENEFICIOS NUTRICIONALES DE LOS ALIMENTOS FERMENTADOS	328
III.A. LECHE FERMENTADAS Y PRODUCTOS LÁCTEOS FERMENTADOS	330
III.B. CEREALES FERMENTADOS	331
III.C. LEGUMBRES FERMENTADAS	332
IV. ALIMENTOS FERMENTADOS MÁS ALLÁ DE SUS BENEFICIOS NUTRICIONALES	333
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	334
VI. AGRADECIMIENTOS	335
VII. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	335
VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA	335
• CAPÍTULO 13	
ROL DEL ÁCIDO LÁCTICO EN LOS EFECTOS BENÉFICOS DE LOS ALIMENTOS FERMENTADOS	341
I. INTRODUCCIÓN	343
II. ROL DEL LACTATO SOBRE CÉLULAS INMUNES	345
III. EFECTO DEL LACTATO SOBRE LA BIOLOGÍA EPITELIAL	347
IV. MECANISMOS DE ACCIÓN DEL LACTATO	349
IV.A. MODIFICACIÓN DEL METABOLISMO CELULAR	349

IV.B. EL LACTATO COMO MOLÉCULA DE SEÑALIZACIÓN: ROL DEL GPR81	351
IV.C. EL LACTATO COMO MODIFICADOR DE LA EXPRESIÓN GÉNICA Y SU PARTICIPACIÓN EN PROCESOS DE REPARACIÓN DEL ADN	352
V. CONCLUSIONES	354
VI. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	354
VII. BIBLIOGRAFIA	354
• CAPÍTULO 14	
SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA DE LOS ALIMENTOS FERMENTADOS	359
I. INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS GENERALES	361
II. SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA DE LOS ALIMENTOS FERMENTADOS	365
III. SUGERENCIAS PARA ELABORAR ALIMENTOS FERMENTADOS SEGUROS	367
III.A. UTILIZAR AGUA Y MATERIAS PRIMAS SEGURAS	367
III.B. MANTENER LA LIMPIEZA	368
III.B.1. LAVAR Y DESINFECTAR LAS MATERIAS PRIMAS QUE SE UTILIZARÁN	369
III.B.2. TRABAJAR SOBRE SUPERFICIES LIMPIAS	370
III.B.3. PROTEGER LOS ALIMENTOS Y LAS ÁREAS DE ELABORACIÓN DE LAS PLAGAS, MASCOTAS Y OTROS ANIMALES	370
III.C. SEPARAR ALIMENTOS CRUDOS Y COCIDOS	371
III.D. TRATAR TÉRMICAMENTE LOS ALIMENTOS QUE ASÍ LO REQUIERAN	371
III.E. MANTENER LOS ALIMENTOS A TEMPERATURAS SEGURAS	372
III.F. UTILIZAR MATERIALES DE GRADO ALIMENTICIO	372
III.G. UTILIZAR CULTIVOS INICIADORES ADECUADOS	373
III.H. ADICIONAR UNA CONCENTRACIÓN SALINA ADECUADA	374
III.I. CONTROLAR TIEMPOS, TEMPERATURAS Y CONDICIONES DE FERMENTACIÓN	374
III.J. ROTULAR LOS ALIMENTOS FERMENTADOS ELABORADOS	375
IV. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	377
V. BIBLIOGRAFÍA CITADA	377

• CAPÍTULO 15

ALIMENTOS FERMENTADOS Y ENFERMEDADES CRÓNICAS NO TRANSMISIBLES: UNA REVISIÓN NARRATIVA DE LA LITERATURA	381
I. INTRODUCCIÓN	383
II. ALIMENTOS FERMENTADOS EN EL MANEJO Y ENFERMEDADES INMUNOLÓGICAS	385
III. ALIMENTOS FERMENTADOS, SÍNDROME METABÓLICO Y DIABETES MELLITUS TIPO 2	385
IV. ALIMENTOS FERMENTADOS E HIPERTENSIÓN ARTERIAL	386
V. ALIMENTOS FERMENTADOS Y EXCESO DE PESO	387
VI. APROXIMACIÓN AL IMPACTO ECONÓMICO POTENCIAL DE LA PROMOCIÓN DEL CONSUMO DE CIERTOS ALIMENTOS FERMENTADOS SOBRE LOS SISTEMAS DE SALUD PÚBLICOS Y PRIVADOS	388
VII. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	389
VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA	389

• CAPÍTULO 16

LA FERMENTACIÓN Y LA GASTRONOMÍA UN COCINERO ENTRE LOS CIENTÍFICOS, UN CIENTÍFICO ENTRE LOS COCINEROS	395
I. MARTÍN RUSSO POR MARTÍN RUSSO	397
I.A. EL CAMINO A LA COCINA	397
I.B. ORDEN Y DISCIPLINA: MUGARITZ	399
I.C. LA PARTIDA DE FERMENTOS	401
II. LOS ALIMENTOS FERMENTADOS, AQUÍ Y AHORA	401
II.A. ¿QUÉ IMPLICA FERMENTAR ALIMENTOS?	401
II.B. ¿QUÉ ALIMENTOS FERMENTADOS SE CONSUMEN EN LA ARGENTINA, Y EN LA REGIÓN?	402
II.C. EN BUSCA DE LA VANGUARDIA DE LA FERMENTACIÓN	404
II.D. LA ESTANDARIZACIÓN COMO META	406
III. LAS FRONTERAS: INVESTIGACIÓN Y FUTURO DE LA FERMENTACIÓN GASTRONÓMICA	407
IV. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS	407
V. BIBLIOGRAFÍA CITADA	408

HORTALIZAS Y LEGUMBRES FERMENTADAS

Jesica E. Blajman

blajman.jesica@inta.gob.ar

- *Investigadora Asistente del CONICET, Instituto de Investigación de la Cadena Láctea (IDICAL). CONICET - INTA EEA Rafaela.*

Gabriela Zárate

gzarate@cerela.org.ar

- *Investigadora Independiente del CONICET, Centro de Referencia para Lactobacilos (CERELA-CONICET), Tucumán, Argentina.*
- *Profesora Adjunta de Microbiología de los Alimentos, Universidad de San Pablo Tucumán, Argentina.*

RESUMEN

Para el correcto funcionamiento del organismo, es indispensable incrementar en nuestra dieta habitual, el consumo de hortalizas y legumbres, ya que aportan nutrientes esenciales y numerosos compuestos bioactivos con efectos beneficiosos para la salud. Sin embargo, su contenido de agua y riqueza nutricional los torna altamente perecederos, por lo que son necesarias estrategias para incrementar su vida útil además de su consumo. En este contexto, la fermentación representa una manera simple y atractiva de biotransformar positivamente estas materias primas mejorando sus características organolépticas, nutricionales y funcionales. En este capítulo, abordamos la fermentación de los vegetales desde un punto de vista microbiológico y tecnológico, con particular énfasis en el potencial de las bacterias lácticas para llevar a cabo estas transformaciones, y recorreremos el espectro de alimentos vegetales fermentados tradicionales y emergentes. El conocimiento del proceso con fundamento científico puede contribuir a mejorar la calidad de los productos ya existentes y a innovar en el desarrollo de Alimentos Funcionales de base vegetal, diversificando la oferta y abriendo nuevos mercados.

I. INTRODUCCIÓN

Las plantas representan la fuente más importante de alimentos para la humanidad. En particular, las hortalizas y las legumbres aportan a la dieta diferentes vitaminas, minerales, fibras y fitoquímicos como polifenoles y péptidos bioactivos [1]. A sus beneficios nutricionales se suma su potencial para prevenir enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) como patologías cardiovasculares, obesidad, diabetes, cáncer colorrectal, entre otras [2]. Al respecto, la OMS y la FAO recomiendan el consumo diario de un mínimo de 400 g de frutas y verduras (excluidas papas y otros tubérculos feculentos) para evitar las ECNT y mitigar varias carencias de micronutrientes, sobre todo en los países menos desarrollados. Desafortunadamente, se estima que la ingesta de vegetales es inferior a las porciones recomendadas, lo que hace necesaria la búsqueda de estrategias para incrementarla. En general, los vegetales se consumen frescos o mínimamente procesados (enlatados, deshidratados, en pasta, jugos) pero su naturaleza extremadamente perecedera condiciona su vida útil debido al rápido deterioro microbiano. Para evitar esto, se suele recurrir a métodos de conservación como tratamientos térmicos, preservantes químicos, alta presión hidrostática, radiación ionizante o campos pulsados, aunque algunos de estos procesamientos pueden afectar las características físicas, químicas y sensoriales del alimento [3, 4]. Por el contrario, la fermentación es una técnica de preservación biológica que modifica favorablemente a los alimentos, y que ha sido usada por el hombre desde épocas ancestrales, ya que se encuentra presente en todas las culturas del mundo. Este tipo de procesamiento implica el crecimiento y la actividad de microorganismos a expensas de los nutrientes presentes en la matriz alimentaria, con la producción de metabolitos que inhiben el desarrollo de potenciales patógenos y deteriorantes. Actualmente, la fermentación es considerada mucho más que un método de conservación y prolongación de la vida útil y seguridad de los alimentos: se trata de una estrategia biotecnológica atractiva, que permite incrementar las propiedades nutricionales y nutraceuticas de los mismos, transformándolos en Alimentos Funcionales, como así también mejorar sus propiedades reológicas y sensoriales [5].

La mayoría de los vegetales son susceptibles de ser fermentados. Los productos típicos más investigados y con mayor difusión en el mercado internacional son las aceitunas, pepinos y coles (repollo y coliflor) [6, 7]. Otros vegetales fermentados de consumo mundial son los encurtidos o pickles elaborados con zanahorias, pimientos, remolachas, cebollas, calabazas, tomates, rábanos, espárragos, lechuga, brócoli, brotes de bambú, nabos y alcaparras [8, 9]; y también los purés/pastas untables y bebidas fermentados obtenidos a partir de legumbres como la soja [10, 11].

Si bien los actores biológicos que llevan a cabo las transformaciones pueden pertenecer a cualquiera de los 3 dominios biológicos, en general las fermentaciones vegetales en Europa y América están asociadas a bacterias lácticas (BAL) y levaduras, mientras que en los países asiáticos la mayoría de los alimentos vegetales son fermentados por hongos [12]. Cada uno de estos tipos microbianos está asociado a

productos metabólicos diferentes que se generan a partir de los carbohidratos presentes, confiriendo al alimento características organolépticas particulares, propias del gusto de cada cultura. En general, la fermentación láctica es la más buscada y la preferida, por cuanto las BAL son reconocidas por su seguridad (*GRAS status*, siglas en inglés para “Generalmente Reconocido como Seguro” de la Administración de Alimentos y Medicamentos, y *QPS*, sigla en inglés para “Presunción Cualificada de Seguridad” de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, EFSA) y por sus beneficios a la salud como probióticos y productores de prebióticos y postbióticos [13, 14].

En años recientes, los alimentos vegetales fermentados han ganado un renovado interés debido a sus múltiples ventajas: 1) extensión de su vida de estante; 2) mejoramiento nutricional/funcional; 3) modificación organoléptica (sabor, aroma, textura); 4) mayor seguridad/inocuidad; 5) producción de compuestos bioactivos; 6) simplicidad en su preparación; 7) valorización de subproductos de la industria agroalimentaria; 8) proceso económico y energéticamente compatible con el desarrollo sustentable [2, 15]. A esto se suma su potencial como vehículo de probióticos, alternativa de consumo para intolerantes a la lactosa, alérgicos a las proteínas lácteas, población celíaca, vegetarianos y veganos [16].

Es importante destacar que, en comparación con las fermentaciones de base láctea, las que usan vegetales como materia prima se encuentran aún subexploradas y representan nichos ecológicos muy valiosos para el aislamiento de microorganismos con potencial tecnológico y probiótico [17].

Por lo expuesto y considerando el creciente interés de los consumidores por alimentos que promuevan su bienestar y el de la industria por satisfacer esa demanda, en este capítulo presentamos la fermentación de los vegetales desde un enfoque microbiológico, tecnológico y de la salud, abordando factores relevantes para su elaboración como así también un relevamiento sobre los alimentos vegetales tradicionales existentes y los emergentes.

El conocimiento del proceso con fundamento científico puede mejorar la calidad de los productos ya existentes valorizando el patrimonio cultural regional; como así también contribuir a diversificar la oferta de alimentos fermentados, abriendo nuevos mercados e incrementando el consumo de vegetales.

II. EL LABERINTO METABÓLICO DE LA FERMENTACIÓN DE VEGETALES

La fermentación es un proceso biológico de conversión de sustratos complejos en compuestos más simples. Desde el punto de vista bioquímico es un metabolismo catabólico anaeróbico en el que los carbohidratos (y otros compuestos) son oxidados parcialmente en ausencia de aceptores externos de electrones. Los aceptores finales de electrones son los compuestos orgánicos producidos en el desdoblamiento de la molécula inicial con liberación de una pequeña cantidad de energía [18]. Este proceso es característico del metabolismo de microorganismos, como bacterias y

hongos (levaduras y mohos), que tienen la facultad de llevar a cabo estas reacciones en las matrices alimentarias, produciendo su modificación fisicoquímica. En el curso de esta degradación metabólica, los microorganismos también liberan numerosos compuestos adicionales o metabolitos secundarios, muchos de los cuales poseen actividad biológica y afectan a quien los consume, por lo que reciben el nombre de compuestos bioactivos [2].

Para que la fermentación tenga lugar se necesitan tres componentes: 1) un sustrato; 2) microorganismos; y 3) las condiciones ambientales apropiadas. Los vegetales representan un nicho ecológico particular cuya riqueza en nutrientes fermentables (fibras, azúcares simples) y carga microbiana dependen de sus características intrínsecas (especie, variedad, características del tegumento, etc.) y extrínsecas (clima, prácticas agrícolas, etc.). La microbiota presente suele provenir del ambiente (suelo, aire, agua, animales que contactan con ellos) y es el resultado de los factores antes mencionados. En general, la carga microbiana endofítica de los vegetales varía entre 5,0 y 7,0 log UFC/g y está conformada por bacterias aerobias (*Pseudomonas*, enterobacterias, corineformes) y levaduras (ya que suelen desarrollar antes que los mohos) [11]. Las bacterias lácticas son solo una pequeña fracción (2,0-4,0 log UFC/g) de la microbiota autóctona [12] y están representadas por especies homofermentativas y heterofermentativas de los géneros *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Weissella*, *Enterococcus* y *Pediococcus*. Entre estos, *L. plantarum* es particularmente la especie más frecuente en estos alimentos [11].

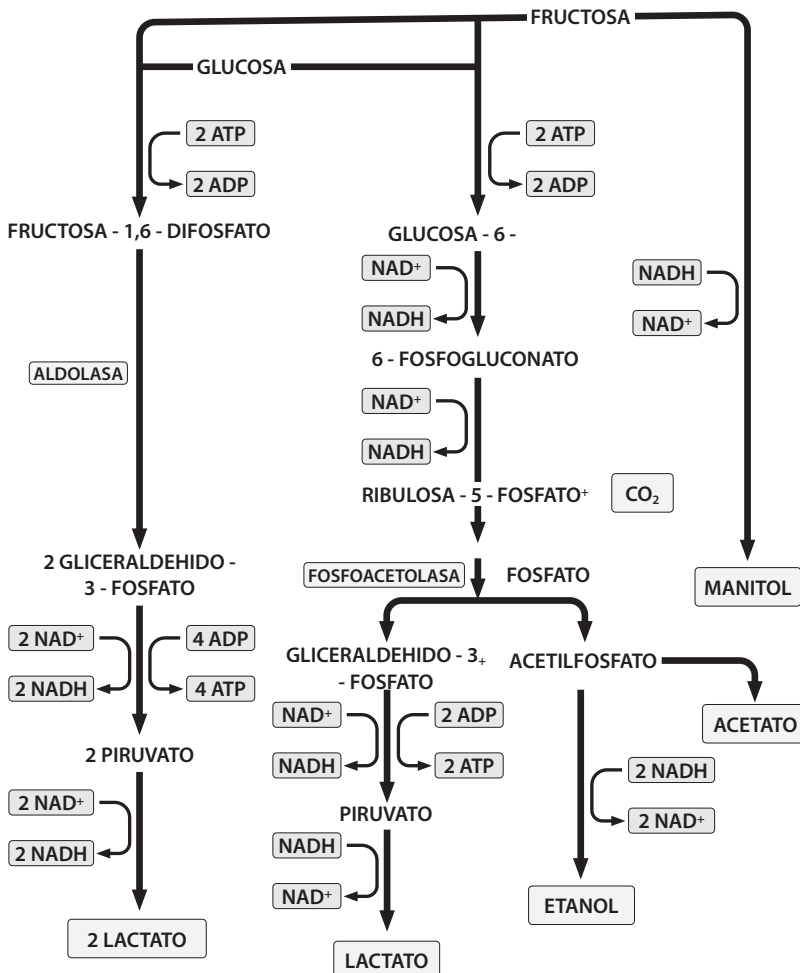
Cuando se dan las condiciones favorables de anaerobiosis, actividad de agua, concentración de sal y temperatura, los microorganismos naturalmente presentes en la materia prima desarrollan su actividad fermentativa con el fin de proveerse nutrientes y energía para crecer. Esto lleva a la transformación física de los vegetales, la modificación de su composición química y de sus propiedades promotoras de la salud [19]. El curso del proceso tiende, en general, a seleccionar a las BAL en detrimento de los otros microorganismos presentes menos tolerantes a las condiciones de estrés ácido y osmótico que se generan.

Los principales carbohidratos existentes en la mayoría de los vegetales son la glucosa, fructosa y sacarosa. Las BAL que intervienen en las fermentaciones vegetales pueden metabolizar estos azúcares siguiendo dos rutas importantes: la ruta glucolítica y la del 6-fosfogluconato. Las bacterias homofermentativas metabolizan las hexosas a través de la ruta glucolítica o vía de Embden-Meyerhof, dando ácido láctico como producto final. Por cada mol de glucosa fermentada se producen 2 moles de ácido láctico y 2 de ATP. Las bacterias heterofermentativas carecen de la enzima aldolasa (EC 4.1.2.13), por lo que usan la vía del 6-fosfogluconato para producir a partir de 1 mol de glucosa, 1 mol de ácido láctico, 1 mol de etanol (o ácido acético), 1 mol de CO₂ y 1 mol de ATP. La fructosa puede ser metabolizada a través de la ruta heterofermentativa de forma análoga a la glucosa, o puede funcionar como un aceptor de electrones reduciéndose a manitol (ver Figura 1). El ácido láctico producido por reducción del piruvato corresponderá a los isómeros L, D o ambos según

la BAL fermentadora: *L. mesenteroides* produce solo el isómero D (isómero no fisiológico), mientras que *L. plantarum*, *L. brevis* y *P. pentosaceus* forman mezclas de ambos isómeros.

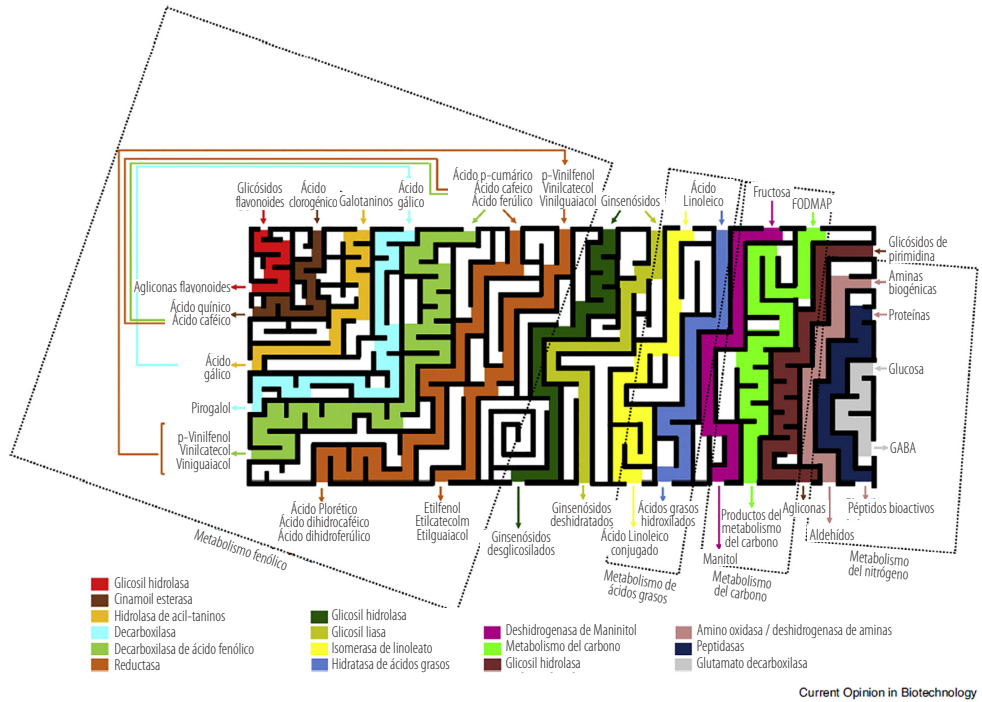
Existen otros grupos de bacterias además de las BAL, que pueden llevar adelante fermentaciones vegetales siguiendo la ruta glucolítica, diferenciándose únicamente en los productos finales que originan a partir del ácido pirúvico como por ejemplo, la fermentación propiónica llevada a cabo por *Propionibacterium* en aceitunas, u otras fermentaciones como la ácido-mixta, butanodiólica o butírica que desarrollan enterobacterias o clostridios. Las levaduras también metabolizan glucosa por glucólisis pero poseen la enzima piruvato descarboxilasa, que actúa sobre el piruvato para dar CO₂ y acetaldehído que luego se reduce a etanol dando como resultado 2 moles de ATP por mol de hexosa fermentada.

Figura 1. Rutas metabólicas que intervienen en la fermentación de carbohidratos por BAL.



La riqueza de las plantas como sustrato y el amplio arsenal de enzimas que poseen las BAL les permite ingresar durante la fermentación en un complejo laberinto de rutas metabólicas, que dará como resultado alimentos vegetales fermentados enriquecidos en compuestos bioactivos y/o escasa cantidad de factores antinutricionales (FAN) [19] (Figura 2). El primer cambio y más evidente en la matriz vegetal causado por la fermentación es el incremento en la densidad de nutrientes como consecuencia de la disminución en los carbohidratos que son transformados a ácido láctico. El catabolismo de di, oligo y polisacáridos por glucosidasas ha sido caracterizado en diferentes BAL que contribuyen así, a la liberación de monómeros utilizables por el consumidor.

Figura 2. Laberinto metabólico y funcional de las BAL durante la fermentación de plantas comestibles.



Adaptado de [19]

La fermentación láctica también puede ser útil para reducir los FODMAP (oligo, di, monosacáridos y polioles fermentables) que acceden al intestino grueso, reduciendo su incidencia en el desarrollo de síntomas del síndrome del intestino irritable (IBS) [20].

El ácido láctico, principal producto del metabolismo de carbohidratos, cumple no solo un rol tecnológico en las características organolépticas y de seguridad del alimento, sino también en salud, ya que se ha demostrado que reduce la secreción de citoquinas pro-inflamatorias por macrófagos y células dendríticas de médula ósea

activadas por receptores tipo Toll [21].

La fermentación contribuye también al incremento de péptidos y aminoácidos en diferentes vegetales (como las legumbres). Numerosos estudios han demostrado la capacidad de las BAL de liberar y acumular en la matriz vegetal, péptidos bioactivos y derivados de aminoácidos como el ácido γ -aminobutírico (GABA) mediante proteasas específicas e inespecíficas a partir de proteínas sin bioactividad. Su impacto en salud incluye la modulación del sistema inmune, disminución de procesos inflamatorios, efectos antioxidantes y antihipertensivos [22, 23].

Uno de los metabolismos más relevantes de las BAL en las matrices vegetales es el de los compuestos fenólicos [24]. Bajas concentraciones de polifenoles estimulan el desarrollo de las BAL mientras que concentraciones elevadas afectan a la viabilidad y retardan el metabolismo de los carbohidratos; por lo que las cepas que fermentan los vegetales deben ser tolerantes a altas concentraciones de fenoles para poder alcanzar un desarrollo y actividad óptima. En este sentido, las especies prevalentes en matrices vegetales tales como *L. plantarum*, *L. brevis*, *L. fermentum*, *L. mesenteroides* y *Weissella* spp., han desarrollado el metabolismo de los polifenoles como mecanismo de detoxificación y mantenimiento del balance energético alcanzando una alta tolerancia a estos compuestos [25, 26].

El metabolismo de los polifenoles durante la fermentación de los vegetales tiene una función fisiológica para las BAL, pero sus efectos en el consumidor dependen de esta conversión microbiana ya que son los productos metabólicos finales los que ejercen un beneficio en la salud como su reconocida actividad antioxidante e inmunomodulante [19].

Durante la fermentación de los vegetales, los compuestos fenólicos como los glucósidos de flavonoides, ácidos hidroxicinámicos e hidroxibenzoicos, y los taninos son convertidos por las enzimas microbianas glicosilhidrolasa, esterasa, decarboxilasa y reductasa de los ácidos fenólicos, en metabolitos biológicamente activos [19]. Así, las feruloil-esterasas (E.C. 3.1.1.73) liberan ácidos cinámicos esterificados en la pared celular de los vegetales y la enzima beta-glucosidasa hidroliza los flavonoides durante la fermentación poniendo los productos disponibles para su absorción intestinal [27, 28]. Un ejemplo paradigmático del laberinto metabólico "vegetales-BAL" es el de los taninos hidrolizables. Estos compuestos son considerados antinutricionales por lo que su degradación por la actividad tanino-acilhidrolasa (EC 3.1.1.20) de las BAL lleva a la liberación de ácido gálico el cual puede ingresar nuevamente al laberinto para ser degradado por la enzima galato decarboxilasa a pirogalol. El resultado final es la disminución de un FAN y la generación de 2 compuestos bioactivos con elevada actividad antioxidante. Esta actividad ha sido descrita en *L. plantarum*, *Leuconostoc* spp. y *Weissella* spp. [25, 29].

Las BAL pueden también enriquecer en ácido linoleico conjugado diferentes sustratos vegetales fermentados mediante su actividad linoleato-isomerasa [30] y degradar aminas durante la fermentación evitando la acumulación de aminas biogénicas [31].

Por otra parte, la fermentación con BAL es un eficiente método de detoxificación

de los alimentos. Se ha observado que mediante su arsenal enzimático, las BAL contribuyen a eliminar otros FAN tales como fitatos, saponinas, cianógenos e inhibidores de proteasas [29, 32].

Es importante destacar que las BAL que llevan adelante la fermentación pueden además de biotransformar los componentes de los vegetales, producir otros metabolitos secundarios endógenos con efectos positivos en la salud como ácidos grasos de cadena corta, síntesis de vitaminas (B y K), o compuestos prebióticos [17]. Los prebióticos son sustratos no digeribles fermentados selectivamente en el colon por microorganismos beneficiosos como bifidobacterias y lactobacilos. Las BAL pueden producir durante la fermentación, *exopolisacáridos* (EPS) u oligosacáridos por transglicosilación (p. ej. isomaltooligosacáridos en el kimchi) que pueden modular positivamente la microbiota colónica favoreciendo indirectamente la salud [33] o ejercer efectos directos, tales como inmunomodulación, actividad antioxidante y anticarcinogénica [34]. Se ha reportado que los géneros fermentadores de vegetales *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* y *Weissella*, producen diferentes tipos de EPS [35].

Finalmente, cabe mencionar que los microorganismos fermentadores pueden ser potenciales probióticos (microorganismos vivos que administrados en cantidades adecuadas benefician a la salud; FAO/WHO, 2001) y, el alimento vegetal fermentado, el vehículo apropiado para su administración al consumidor, ofreciendo una alternativa a los productos probióticos de base láctea [16]. Alimentos vegetales fermentados como el chucrut, kimchi y miso contienen una elevada carga de BAL viables (10^6 a 10^9 microorganismos/g o mL) que pueden sobrevivir al pasaje gastrointestinal [36] y que pertenecen a especies para las cuales se han demostrado efectos probióticos (p. ej. *L. plantarum*); por lo que estos alimentos podrían aportar beneficios a la salud similares a los ejercidos por BAL de las mismas especies [15].

Lo expuesto pone en evidencia que las BAL son protagonistas de la bioconversión de los compuestos endógenos de las plantas a través de numerosas rutas metabólicas que transcurren durante la fermentación, dando como resultado alimentos con mejores propiedades nutricionales y funcionales. Dado que no todas las BAL poseen las enzimas necesarias para la transformación de todas las matrices vegetales, resulta clave favorecer el desarrollo de los microorganismos apropiados o adicionar los mismos en forma intencional, lo que plantea la disyuntiva de llevar a cabo una fermentación espontánea o una controlada.

III. EL ARTE O LA CIENCIA DE FERMENTAR VEGETALES

Los alimentos vegetales fermentados pueden obtenerse a través de una fermentación espontánea realizada por la microbiota epifítica de la matriz alimentaria; o controlada mediante la inoculación de cultivos iniciadores previamente seleccionados por sus características tecnológicas y funcionales, proporcionando consistencia y mayor fiabilidad al proceso [11].

En cualquiera de los casos, el proceso comienza con un acondicionamiento de los vegetales que puede implicar o no, el lavado de los mismos, pelado (zanahorias, remolachas, etc.), blanqueado (legumbres), tratamiento alcalino (en aceitunas para remover la oleuropeína), cortado y su ubicación en recipientes apropiados con medio salino, donde ocurre la fermentación. El salado se puede realizar añadiendo la sal en forma sólida, o en forma de salmuera. La concentración de sal utilizada varía ampliamente (desde 1% hasta 12% de NaCl según el producto) y dependerá de la necesidad de mantener la textura, evitando el ablandamiento por enzimas pectinolíticas vegetales y microbianas. Los recipientes se llenan y sellan de manera tal que el material vegetal quede completamente sumergido para favorecer la anaerobiosis. Bajo estas condiciones la fermentación comienza inmediatamente.

III.A. FERMENTACIÓN ESPONTÁNEA

Como se mencionó, los vegetales frescos pueden contener una alta carga microbiana después de la cosecha (hasta 10^9 microorganismos/g), representada por bacterias Gram (-) y Gram (+), levaduras y mohos. Las BAL son menos prevalentes en comparación con otros microorganismos mesófilos, y conforman menos del 1% de la población microbiana endógena (entre 0,15% a 1,5%) debido a sus altos requerimientos nutricionales de aminoácidos, ácidos grasos, vitaminas y minerales [12]. Si bien el entorno de la planta no es adecuado para su desarrollo, el medio vegetal puede enriquecerse mediante la salazón o la adición de ingredientes proteicos para su crecimiento [37]. Aunque se trata de una población pequeña, las plantas son el hábitat natural de las siguientes BAL [11, 38]:

- ***Lactobacillus* spp.:** *L. brevis*, *L. buchneri*, *L. casei*, *L. curvatus*, *L. fermentum*, *L. plantarum*, *L. paraplantarum*, *L. pentosus*, *L. sakei*.
- ***Leuconostoc* spp.:** *L. mesenteroides* subsp. *mesenteroides*.
- ***Pediococcus* spp.:** *P. acidilactici*, *P. pentosaceus*.
- ***Enterococcus* spp.:** *E. faecalis*, *E. faecalis* var. *liquefaciens*, *E. faecium*.
- ***Lactococcus* spp.:** *L. lactis*.
- ***Weisella* spp.:** *W. confusa*, *W. cibaria*, *W. paramesenteroides*, *W. soli*.

Dadas las condiciones apropiadas (disponibilidad de nutrientes, concentración de sal, anaerobiosis y temperatura), los vegetales inician una fermentación espontánea que suele transcurrir en 4 etapas bien definidas en las que se observa una sucesión microbiana determinada por el cambio en las condiciones ambientales que rodean al sustrato en fermentación:

- **Iniciación:** en esta etapa desarrollan los microorganismos Gram (-) y Gram (+) presentes originalmente en la planta. La utilización del O₂ por la respiración de las células vegetales y los anaerobios facultativos como enterobacterias incrementan la anaerobiosis durante los primeros 2 o 3 días inhibiendo a los aerobios como *Pseudomonas* y *Flavobacterium*. Junto a la disminución del O₂ lo hace el pH debido a la producción de ácidos láctico, acético, fórmico y succínico. Puede generarse espuma por producción de CO₂.
- **Fermentación primaria:** implica el crecimiento sucesivo de BAL heterofermentativas y homofermentativas como resultado del incremento en la anaerobiosis y la salinidad; y la reducción del pH. Las BAL que dominan la fermentación primaria incluyen *L. mesenteroides*, *P. pentosaceus*, *L. brevis* y *L. plantarum*. Las dos primeras especies no resisten altas concentraciones de sal o acidificación y disminuyen rápidamente, mientras que los lactobacilos completan la mayoría de las fermentaciones vegetales. La mayor parte de los carbohidratos disponibles (glucosa, fructosa y sacarosa) son convertidos a ácidos orgánicos (láctico principalmente) hasta un nivel de 1,5 a 2,0% con un pH inferior a 4,0. Puede o no haber crecimiento de levaduras [39].
- **Fermentación secundaria:** se caracteriza por el crecimiento de levaduras a partir de la materia fermentable que permanece después de que el desarrollo de las BAL resulta inhibido por los bajos valores de pH.
- **Post-fermentación:** tiene lugar después de consumirse la materia fermentable y se caracteriza, en general, por el crecimiento de microorganismos oxidantes en la superficie de la salmuera si está expuesta al aire [40].

Las BAL comienzan a proliferar durante la fase de iniciación pero rápidamente dominan la fermentación primaria la cual se desarrolla de la siguiente manera: *L. mesenteroides* inicia la fermentación ya que crece más rápidamente que otras BAL en un rango amplio de temperaturas (5 a 35 °C) y con concentraciones de NaCl de 0 a 5%. *L. mesenteroides* produce una fermentación heteroláctica de los azúcares vegetales (fructosa y glucosa), y produce ácidos láctico, acético y CO₂. La producción de ácidos reduce rápidamente el pH, inhibiendo así el desarrollo de microorganismos indeseables y la actividad de sus enzimas. El CO₂ producido reemplaza el aire y proporciona condiciones anaeróbicas favorables para la estabilización del ácido ascórbico y el color natural de los vegetales. La bioconservación se debe además a la síntesis de una amplia variedad de metabolitos antagonistas primarios y secundarios que incluyen etanol, H₂O₂ y diacetilo, compuestos antifúngicos y bacteriocinas [41]. La alta acidez producida por *L. mesenteroides* y otras BAL (como *P. pentosaceus*) inhibe posteriormente el crecimiento de estos microorganismos heterofermentativos a

favor de BAL más tolerantes a los ácidos (como *L. brevis* y *L. plantarum*). En la mayoría de las fermentaciones vegetales, *L. plantarum*, que produce solo ácido láctico a partir de los azúcares restantes, supera a las otras BAL debido a su tolerancia ácida superior [42]. No obstante, en vegetales en salmuera con concentraciones iniciales de NaCl de 6 a 12%, como pepinos y aceitunas, los lactobacilos como *L. plantarum* dominan la fermentación desde el principio, con poca o ninguna evidencia de otras especies heterolácticas presente.

En general, las fermentaciones vegetales espontáneas son sensibles a la contaminación por microorganismos alterantes y patógenos, lo que puede representar un riesgo para la salud pública. Además, pueden conducir a variaciones en las propiedades sensoriales de los productos, según la calidad de la materia prima, la temperatura y las condiciones de cosecha [44]. Sin embargo, a pesar de sus limitaciones, la microbiota de los vegetales responsable de la fermentación espontánea merece atención como herramienta para aumentar la seguridad e inocuidad de estos alimentos, por lo que las estrategias metagenómicas y metabolómicas son de interés para caracterizar a las comunidades microbianas que allí se establecen [45].

III.B. FERMENTACIÓN CONTROLADA

Muchas de las fermentaciones aplicadas a la elaboración de alimentos han dejado de ser prácticas artesanales para transformarse en procesos biotecnológicos estandarizados que permiten la elaboración de productos de alta calidad con mejores propiedades organolépticas, más estables y homogéneos; y con menor probabilidad de presentar alteraciones y contaminaciones por patógenos. En los alimentos fermentados producidos industrialmente, generalmente se aplican “Buenas Prácticas de Manufactura” (BPM) y “Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control” (HACCP); la implementación de tales sistemas mejora los estándares de higiene y reduce significativamente el riesgo de eventos adversos para la salud pública [46].

Desde el punto de vista tecnológico, el desarrollo de cultivos iniciadores proporciona una alternativa de relevancia económica dentro de la cadena alimentaria, aumentando la competitividad de la producción, y abriendo nuevas fronteras en el mercado de alimentos.

Los cultivos iniciadores son microorganismos inoculados en una matriz alimentaria para reemplazar a su microbiota endógena y mejorar la fermentación al impactar sobre las propiedades nutricionales y funcionales, las características organolépticas y la seguridad [47].

Las BAL son los microorganismos más utilizados para la elaboración controlada de alimentos. Al respecto, se han publicado listas autorizadas de microorganismos con uso certificado en fermentaciones de alimentos, que cubren una amplia gama de matrices, incluidos los vegetales [48].

La función principal de los cultivos iniciadores es la producción de ácido, principalmente láctico, como resultado de su metabolismo. Sin embargo, la contribución

de los cultivos a las características finales del producto no se limita al proceso de acidificación, sino que se completa con otras funciones como son la actividad proteolítica y lipolítica, la síntesis de compuestos aromáticos mediante la producción de alcoholes, cetonas o ésteres, la producción de CO₂, la generación de EPS que contribuyen a mejorar la textura y viscosidad del producto fermentado, la producción de compuestos inhibidores como bacteriocinas y la presencia de actividades enzimáticas involucradas en la eliminación de FAN [15, 49].

La fermentación controlada de vegetales puede realizarse empleando dos tipos de cultivos iniciadores: autóctonos o alóctonos. Los iniciadores autóctonos son aislados y reutilizados en la misma matriz de la cual provienen, mientras que los iniciadores alóctonos son aislados de una matriz alimentaria pero utilizados para fermentar diferentes productos [11]. En general, el uso de cultivos autóctonos resulta más recomendable ya que proporcionan propiedades nutricionales, reológicas y sensoriales más deseables y una vida útil más prolongada al producto. Al respecto, Di Cagno y colaboradores (2008) [50], compararon la fermentación de jugo de tomate con cultivos iniciadores formulados con cepas de *L. plantarum* autóctonas o alóctonas (aisladas de aceitunas verdes), observando que el iniciador alóctono presentaba menor crecimiento y acidificación y la producción de aldehídos (butanal, pentanal y 2,4-hexadienal) causantes de *off-flavours*. Por el contrario, Ortíz Serrano y Gil (2007) demostraron que el iniciador autóctono acidificaba más rápidamente la matriz vegetal previniendo el desarrollo de levaduras, sintetizaba compuestos volátiles positivos para el flavour (3-metil-3-butan-1-ol, 2-3 butanodiona, 3-hydroxy-2-butanona) y mantenía elevados los niveles de ácido ascórbico, glutatión y actividad antioxidante durante el almacenamiento [51].

La Tabla 1 resume algunas de las características más relevantes de los cultivos alóctonos y autóctonos.

Tabla 1. Características de los cultivos iniciadores alóctonos y autóctonos usados para la fermentación de vegetales.

Cultivos alóctonos	Cultivos autóctonos
<ul style="list-style-type: none"> • Aislados de una matriz y usados en otra. • Son de uso general. • Se seleccionan por poder acidificante. • Baja adaptación y flexibilidad metabólica. • Crecimiento lento y menor biomasa. • Escaso aporte a las propiedades sensoriales y funcionales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aislados y usados en la misma matriz. • Son de uso específico. • Actividad acidificante y propiedades tecnológicas y funcionales. • Adaptados a la matriz alimentaria y muy competitivos. • Crecimiento rápido y mayor biomasa final. • Aseguran propiedades nutricionales, reológicas y sensoriales apropiadas. • Acidificación y fermentación más rápida. • Inhibición de enterobacterias y levaduras. • Larga vida de estante al producto.

Dependiendo del material a fermentar y de las características deseadas para el producto final, los cultivos iniciadores tanto autóctonos como alóctonos deben reunir una serie de propiedades. Algunos de los criterios de selección para iniciadores aplicables a la fermentación de chucrut, pickles, aceitunas y jugos vegetales son:

- Mínimos requerimientos nutricionales.
- Crecimiento rápido y dominante en la matriz vegetal (aproximadamente 8,0-9,0 log UFC/mL garantiza seguridad higiénica y eventuales efectos probióticos).
- Capacidad de crecer en un amplio rango de NaCl, pH y temperatura.
- Máximo agotamiento de los azúcares fermentables en el menor tiempo posible.
- Rápida acidificación de la salmuera.
- Capacidad de producir solo L(+) ácido láctico.
- Tolerancia a la sal y al pH bajo.
- Sobrevida durante la fermentación y el almacenamiento.
- Tolerancia a altas concentraciones de fenoles, abundantes en algunos materiales vegetales.
- Baja o nula producción de productos químicos tóxicos (por ejemplo, aminas biógenas).
- Ausencia de actividad pectinolítica.
- Síntesis de compuestos antimicrobianos (por ejemplo, bacteriocinas).
- Resistencia a bacteriófagos de cepas naturales.
- Disminución de la concentración de nitratos (nitrato reductasa +)
- Estabilidad genética.
- Potencial conservación por secado, congelación o liofilización.
- Producción económica al acortar el tiempo de fermentación.

Al presente, la mayoría de las fermentaciones vegetales recurren a la fermentación espontánea reinoculando (*backslopping*) la salmuera madre o masa madre ácida (*sourdough*) para favorecer la selección de las BAL mejor adaptadas. Sin embargo, las demandas actuales de los consumidores y de la industria por acceder a certificaciones de calidad, exponen la necesidad de desarrollar procesos de fermentación controlados que permitan obtener productos seguros y reproducibles. En consecuencia, es de esperarse que el uso de cultivos iniciadores para la manufactura de productos vegetales fermentados gane importancia en el futuro. Actualmente, pueden encontrarse en el mercado cultivos iniciadores de BAL con cepas de *L. plantarum*, *L. xylosum*, *L. celobiosus* y *L. sakei* para productos vegetales fermentados [12].

IV. MODALIDADES DE FERMENTACIÓN DE LOS VEGETALES

La transformación de la fermentación artesanal y/o experimental hacia una de tipo industrial implica la amplificación del proceso desde una técnica doméstica y/o de laboratorio a otra a gran escala. El desarrollo de fermentaciones controladas permite no solo la obtención de alimentos mejorados nutricional y sensorialmente, sino también la síntesis industrial de metabolitos secundarios (enzimas, compuestos bioactivos, etc.) [52]. Para ello se han desarrollado dos modalidades de proceso: la *fermentación sumergida o líquida* (FSm) que se basa en el cultivo de los microorganismos en un medio líquido conteniendo nutrientes y la *fermentación en sustrato sólido* (FSS) que consiste en el crecimiento microbiano y formación de productos sobre un soporte sólido en presencia de la mínima disponibilidad de agua para permitir su desarrollo y metabolismo [53]. Estos sistemas se definen y optimizan en base a parámetros tales como el tipo de sustrato, organismo fermentador y condiciones ambientales (pH, temperatura, aireación, humedad, etc). La Tabla 2 resume en forma comparativa las características más relevantes de cada proceso. Ambos sistemas de fermentación se aplican a la obtención de alimentos fermentados y a la síntesis a granel de compuestos de interés a partir de matrices vegetales.

IV.A. FERMENTACIÓN SUMERGIDA (FSM)/ FERMENTACIÓN LÍQUIDA (FL)

Este tipo de fermentación es la más practicada en el hemisferio occidental. La FSm emplea sustratos solubles que fluyen libre y homogéneamente en un medio líquido, por lo que resulta adecuada para el empleo de bacterias como organismos fermentadores debido a su elevada demanda de agua ($a_w \geq 0,8$). Los sustratos suelen agotarse rápidamente y deben ser constantemente reemplazados o suplementados, y los productos de interés se secretan en el medio de fermentación. Como ventajas operativas pueden destacarse la relativa facilidad del monitoreo (pH, oxígeno disuelto, temperatura, concentración de solutos), separación de la biomasa después de la fermentación, mezclado, aireación y escalado. La FSm se ha empleado con éxito para

la obtención de diferentes compuestos fenólicos con actividad antioxidante a partir de diferentes matrices vegetales y con diferentes microorganismos [54]. Por ejemplo, la FSm de pomaza de manzana por *Phanerochaete chrysosporium* ha sido usada para producir enzimas ligninolíticas, incrementando su contenido de polifenoles y antioxidantes [50]. De igual manera, se ha logrado la síntesis de importantes antioxidantes como los ácidos gálico, elágico y ferúlico empleando *Aspergillus* spp., *Bacillus* y BAL a partir de salvado de arroz, y de desechos agroindustriales [55, 56, 57].

En el caso de alimentos vegetales, la FSm aplicada a la elaboración de bebida de soja empleando una cepa de *L. rhamnosus* productora de β -glucosidasa resultó en un producto con mayor contenido de agliconas de isoflavonas con actividad antioxidante [10].

Por su parte, los encurtidos, son cuerpos sólidos inmersos en un medio líquido; en los que el crecimiento microbiano está determinado por la salida de los nutrientes desde el vegetal hacia el líquido que lo rodea. La fermentación tiene lugar principalmente en la salmuera aunque se ha comprobado por microscopía electrónica que las BAL también se desarrollan en el interior de los vegetales [38]. Esta fermentación puede realizarse en tres modalidades [58], que se describen a continuación.

IV.A.1. SALADO EN SECO

En este proceso, el NaCl se agrega a los vegetales, (2% con respecto al peso seco generalmente) extrayendo el jugo de los mismos y creando la salmuera. El chucrut, por ejemplo, es un vegetal fermentado salado en seco. El vegetal se corta, se lava con agua potable y se coloca en el recipiente de fermentación el NaCl. Se agrega otra capa de vegetales y se repite el proceso hasta que el contenedor esté lleno tres cuartos, colocando peso para comprimir los vegetales y contribuir a la formación de la salmuera. A las 24 h aproximadamente se ha constituido la salmuera, y comienza la fermentación con aparición de burbujas de CO₂. La fermentación culmina cuando no hay más burbujas, transcurridas entre 1 y 4 semanas dependiendo de la temperatura ambiente. En climas cálidos, solo requiere de 8 a 10 días; mientras que en climas frescos pueden ser necesarias de 2 a 4 semanas [59, 60].

IV.A.2. SALADO EN SALMUERA

En este proceso, se prepara una salmuera disolviendo NaCl en agua. La salmuera se emplea para vegetales que contienen inherentemente un menor contenido de agua. Las aceitunas en salmuera son un ejemplo de ello. El NaCl ayuda a que los alimentos pierdan agua por presión osmótica favoreciendo su conservación e inhibiendo el desarrollo de microorganismos indeseables. El NaCl penetra en los tejidos vegetales y salen carbohidratos, compuestos nitrogenados, minerales y otras sustancias que son utilizadas durante la fermentación. En la salmuera se desarrolla una microbiota mixta en la que predominan las BAL. Estas acidifican el medio y bajan el pH lo suficiente para prevenir el desarrollo de microorganismos patógenos y

alteradores sin descomponer celulosa o proteínas. Es crucial que la concentración de NaCl no caiga por debajo del 10%; de lo contrario, las condiciones no permitirán la fermentación. Para alcanzar este nivel, se agrega NaCl adicional periódicamente a la salmuera. Una vez que se produce la salmuera y el sellado del recipiente, el desarrollo de los microorganismos es rápido. Durante la fermentación, la difusión de ácidos orgánicos en la salmuera y el bajo pH resultante, influyen en el crecimiento microbiano. A medida que los azúcares se difunden de los vegetales a la salmuera, las BAL crecen rápidamente. Si se preparan y almacenan adecuadamente, los productos fermentados se conservarán durante mucho tiempo. Prácticamente todos los problemas pueden atribuirse al descuido en la protección de la superficie de la salmuera. A veces es necesario eliminar las levaduras y los mohos que han crecido en la superficie. *Debaryomyces hansenii* y *Pichia membranaefaciens* se encuentran entre las levaduras de descomposición más comunes en salmuera. Para evitar el deterioro microbiano y especialmente el crecimiento de levaduras y mohos en la superficie de la salmuera o dentro del producto, se permite la adición de conservantes químicos como ácido sórbico, ácido tartárico, ácido acético y/o ácido benzoico en varios países [61].

IV.A.3. VEGETALES FERMENTADOS NO SALADOS

Algunos vegetales pueden ser fermentados por BAL, sin adición previa de NaCl o generación de salmuera. Los ejemplos de productos sin sal incluyen gundruk (consumido en Nepal), sinki y otras hojas fermentadas marchitas [62, 63]. El proceso de fermentación se basa en la rápida colonización de los alimentos por lactobacilos que favorecen una atmósfera anaeróbica, asegurando la restricción de oxígeno e inhibiendo de esta manera el crecimiento de levaduras.

IV.B. FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO (FSS)

Este modelo de fermentación se encuentra profundamente arraigado en la cultura oriental y ha sido usado por siglos en países asiáticos para la elaboración de alimentos. Sin embargo, en las últimas décadas la FSS ha recibido creciente atención por parte de los investigadores de todo el mundo y ha comenzado a utilizarse con mayor frecuencia en occidente para obtener enzimas, compuestos de aroma y sabor, colorantes, ácidos orgánicos, antibióticos, polifenoles, biosurfactantes y otras sustancias de interés para la industria de los alimentos [53]. Esto se debe a que el proceso presenta numerosas ventajas con respecto a la FSm. Por una parte, es más eficiente, ya que proporciona altos rendimientos de conversión de sustrato a producto, con menores costos de inversión y operación: el bajo volumen de líquido que precisa la FSS tiene impacto en la economía del proceso al requerir fermentadores de menor tamaño, extracción y purificación del producto más simples (menor *downstream*), fácil aireación y menor demanda de esterilidad [64, 65]. La utilización de residuos agroindustriales como sustratos en muchas FSS es, además, una alternativa ecológica

para el aprovechamiento y agregado de valor a estos subproductos solucionando el problema de su disposición final como contaminantes ambientales. La principal desventaja de la FSS se relaciona con el escalado del proceso debido a problemas de transferencia de calor y masa y homogeneidad del cultivo por lo que los esfuerzos se han dirigido al desarrollo de biorreactores adecuados [66, 67].

La FSS es un proceso fermentativo ejecutado sobre un medio no sumergido, en ausencia de agua libre, donde se usan sustratos sólidos que sirven como fuente de nutrientes y soporte físico para los microorganismos (aunque también se puede usar superficies inertes impregnadas con soluciones nutritivas). El bajo contenido de humedad favorece el empleo de hongos y levaduras como organismos fermentadores debido a su capacidad de crecer con menor disponibilidad de agua (a_w 0,5-0,6), aunque se ha demostrado que las bacterias también pueden desarrollarse. El fundamento de la FSS es proveer al microorganismo cultivado un ambiente semejante a su ambiente natural ya que ésta sería la razón de su mejor desempeño y mayor productividad en comparación con la FSm. La optimización del proceso de FSS (independientemente de la aplicación) suele enfocarse inicialmente en la selección del microorganismo y el sustrato seguido de la evaluación de los parámetros necesarios para alcanzar el máximo crecimiento y actividad. Estos factores incluyen temperatura, pH, aireación, actividad de agua y humedad, naturaleza y propiedades del sustrato sólido como tamaño de partículas, etc. y suelen analizarse aplicando diseños factoriales y metodología de superficie de respuesta [68, 69] o herramientas biotecnológicas modernas que involucran algoritmos de aprendizaje de máquinas (*machine learning*) como las redes neuronales artificiales (ANN, por sus siglas en inglés) para identificar los factores críticos y sus interacciones.

Numerosos alimentos vegetales fermentados asociados a culturas locales, pero que han trascendido fronteras, son producidos alrededor del mundo empleando FSS con hongos y bacterias, como por ejemplo, el kimchi (Corea); miso (Japón, China); tempeh (Indonesia); tofu (China), pozole (México) y torani (India). Durante la FSS de estos alimentos, diferentes enzimas, particularmente amilasas, proteasas, lipasas producidas por los microorganismos fermentadores hidrolizan los polisacáridos, proteínas y lípidos a compuestos de sabor, aroma y textura placenteros y disminuyen el contenido de FAN como inhibidores de proteasas, ácido fítico, taninos y oligosacáridos no digeribles [53]. El ejemplo más emblemático y antiguo de aplicación alimentaria de la FSS es la utilización de hongos del género *Aspergillus* para elaborar *koji*, un preparado enzimático de amilasas y proteasas obtenido del crecimiento del hongo sobre arroz cocido que se usa para elaborar bebidas, o para preparar alimentos fermentados tradicionales de la cocina asiática, como el kimchi, el sake y el miso, estos dos últimos a partir de arroz y soja, respectivamente.

También se ha demostrado empleando FSS y diferentes microorganismos (*B. subtilis*, *L. plantarum*, *L. sakei*, *W. paramesenteroides*, *P. pentosaceus*, *P. acidilactici*, *Cordyceps militaris*) el incremento en el valor nutritivo (proteínas y lípidos), enriquecimiento en compuestos fenólicos y mayor actividad antioxidante de garbanzos, habas, soja, arvejas, poroto negro y otras variedades de legumbres sub-explotadas [68, 70, 71, 72–74].

La FSS es usada también para la producción de enzimas relevantes para la industria alimentaria como α -amilasa, inulinasa, α -galactosidasa, proteasas, levansacarinas, invertasa, etc. [52, 53]. Varios estudios *in vitro* han demostrado que la FSS es una tecnología promisorio para el enriquecimiento nutricional y de las propiedades antioxidantes de alimentos vegetales elaborados con cereales y legumbres y forrajes animales. Sin embargo, estudios *in vivo* y toxicológicos son esenciales antes de su aplicación como alimentos ricos en antioxidantes para beneficiar la salud humana. Por lo expuesto, la FSS se proyecta actualmente como un excelente proceso para el mejoramiento de la calidad nutricional y las propiedades promotoras de la salud de vegetales como las legumbres.

Tabla 2. Características comparativas de la fermentación en estado líquido y sólido.

Fermentación sumergida/líquida	Fermentación en sustrato sólido
<ul style="list-style-type: none"> • Agua altamente disponible. El medio fluye libremente. • Más apropiada para bacterias. • Nutrientes provenientes de fuentes diversas. • Distribución uniforme en el medio. • El medio está constituido por dos fases: una líquida y una gaseosa (O₂ disuelto). • Inóculo pequeño para iniciar el cultivo. • Producto final diluido, requiere etapas de extracción y concentración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua escasa. El medio no fluye porque es sólido. • Más apropiada para hongos. • La fuente de nutrientes es el sustrato sólido (fuentes naturales o soporte impregnado). • Existe gradiente de nutrientes. • El medio tiene 3 fases: líquida, gaseosa y sólida. El oxígeno está en la fase gaseosa. • Inóculo grande para iniciar el cultivo. • Alta productividad (sustrato → producto). • Se obtiene el producto ya concentrado. • Menor requerimiento de agua y energía. • Bajo costo. • Usa subproductos de la agroindustria. • Ambientalmente amigable (escaso volumen de efluentes).

V. LAS ESTRELLAS DEL MERCADO: VEGETALES FERMENTADOS TRADICIONALES Y EMERGENTES

Las materias primas utilizadas en la fermentación de vegetales, deben ser frescas, sanas, limpias, con adecuada madurez, sin alteraciones, textura firme y de tamaño uniforme (enteras o fraccionadas) dentro de un mismo envase (Capítulo 11, Código Alimentario Argentino). El producto fermentado final puede distribuirse fresco o pasteurizado. Si los vegetales fermentados se van a distribuir sin pasteurizar, es esencial que se hayan metabolizado todos los carbohidratos fermentables. De lo contrario, puede ocurrir una fermentación secundaria causada por levaduras y que da como resultado el deterioro gaseoso, la turbidez de la salmuera y probablemente una

fermentación alcohólica. Entre los alimentos vegetales fermentados más reconocidos podemos mencionar los siguientes:

V.A. PEPINOS CHICOS O PEPINILLOS

Los pepinos chicos o pepinillos fermentados se encuentran entre los pickles de mayor difusión a nivel mundial. En su fermentación participan distintos microorganismos que se van sucediendo conforme sus resistencias a la salinidad y acidez del medio. Los recuentos de BAL oscilan entre niveles indetectables ($<10^1$) a 10^8 UFC/g [75]. Su desarrollo libera ácidos orgánicos, CO_2 , aldehídos, ésteres, entre otros, que causan el descenso del pH, el *bouquet*, y las condiciones óptimas de conservación. Los pepinos maduros y de calidad adecuada, se sumergen durante 1 a 4 h en recipientes abiertos con agua corriente fría y limpia a fin de eliminar todos los contaminantes y restaurar la firmeza perdida durante el transporte y el almacenamiento. Luego de la inmersión, se lavan para reducir el recuento microbiano inicial y favorecer el desarrollo de las BAL [76]. La fermentación se realiza en salmuera con aproximadamente 5-7% de NaCl. Este alto nivel de sal inhibe el crecimiento de microorganismos indeseables, selecciona las BAL y ayuda a retener la textura firme [77]. Además, inhibe las enzimas pectinolíticas y proteolíticas que pueden causar ablandamiento vegetal y putrefacción adicional. *Lactobacillus* spp., *Leuconostoc* spp. y *Pediococcus* spp. son las principales BAL naturalmente presentes en la superficie del pepino y responsables de la fermentación. Si bien la fermentación espontánea todavía se usa ampliamente en la producción tradicional doméstica, el uso de cultivos iniciadores como *L. plantarum*, *L. rhamnosus*, *L. gasseri* y *L. acidophilus*, proporcionaría reproducibilidad en la elaboración a escala industrial [78]. El tiempo de fermentación depende de la temperatura. Se ha informado un rango de temperatura óptimo de 15 °C a 18 °C pero se pueden aplicar temperaturas más bajas (7-8 °C) y períodos más largos [79] hasta alcanzar un pH final entre 3,1 y 3,5. Para mejorar el sabor, frecuentemente se añaden especies o hierbas aromáticas [79] y puede usarse a nivel industrial conservantes químicos, como las sales de ácido ascórbico o benzoico [80]. Desde el punto de vista tecnológico y de la salud, se ha informado que los pepinos fermentados pueden ser una fuente de BAL con capacidad para producir bacteriocinas, oligosacáridos y polisacáridos. Halami y col. (2005) [81] y Singh y Ramesh (2008) [82], aislaron BAL productoras de bacteriocinas tipo pediocina, plantaricina A, mesentericina, enterocina A y nisina con actividad antilisteria de pepinos fermentados. Además, polímeros de dextrano, α -glucanos y β -glucanos y oligosacáridos prebióticos sintetizados por las BAL de pepinos fermentados han mostrado potencial inmunomodulador y anticancerígeno [79, 83].

V.B. CHUCRUT

Se entiende por chucrut (del francés *choucroute*), sauerkraut (del alemán *sauer*: agrio, *kraut*: repollo), repollo ácido, col ácida, col agria, el producto preparado por

fermentación láctica de las hojas finamente picadas de las diversas variedades hortícolas de repollo blanco y duro (*Brassica oleracea*), limpios, sanos, con o sin condimentos (art. 976, C.A.A.).

El chucrut es un vegetal fermentado salado en seco consumido mundialmente [59, 84]. Dado que el núcleo de la col contiene sacarosa, que puede conducir a la formación de dextrano por *L. mesenteroides* dando una textura viscosa o fibrosa, las hojas externas y el núcleo leñoso del repollo se eliminan antes de triturarlo o picarlo. La adición de sal es necesaria para inhibir el crecimiento de microorganismos alterantes (*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, coliformes, y varios hongos) y la actividad de las enzimas pectinolíticas endógenas responsables del ablandamiento, favoreciendo la selección de las BAL [46, 84]. Después de la salazón, el repollo finamente triturado se coloca en recipientes de fermentación bajo presión para excluir el aire, se cubren con una tapa para permitir el desarrollo de la anaerobiosis y se deja fermentar desde una semana a varios meses. Para aumentar el aroma y sabor del chucrut, se pueden agregar especias, vinos y otros ingredientes [43]. Después de la fermentación, el chucrut se conserva en latas de metal o frascos de vidrio [84]. El producto final se puede envasar y pasteurizar, o distribuir de manera fresca. Solo este último formato contiene microorganismos vivos [46].

Según el Código Alimentario Argentino, este producto debe ser de color blanco amarillento, con un contenido de NaCl no menor de 2% ni mayor de 3,5%; con una acidez expresada en ácido láctico no inferior de 1%, y un pH no mayor de 4,1. Si la concentración de NaCl se ajusta al 2% y la temperatura se mantiene a 18 °C, se puede producir sin un cultivo iniciador. Se estima que los recuentos de BAL del chucrut oscilan entre 10^3 y 10^8 UFC/g [75] y que la acidez desarrollada puede inhibir el desarrollo de *Clostridium botulinum* y la liberación de sus neurotoxinas [85]. La fermentación espontánea es iniciada por *L. mesenteroides*, seguida por lactobacilos heterofermentativos, y finalmente por lactobacilos homofermentativos [86]. A pesar de que las especies involucradas en la fermentación varían según la ubicación, *L. mesenteroides* y *L. plantarum* se encuentran generalmente entre las principales [46]. En años recientes, se ha propuesto el uso de cultivos iniciadores para garantizar la uniformidad del producto pero faltan iniciadores comerciales adecuados para la fermentación de repollo, por lo que su desarrollo sigue siendo un desafío [84].

Desde el punto de vista de la salud se han informado efectos benéficos del consumo de chucrut, debido a su contenido de glucosinolatos y su hidrólisis durante la fermentación a derivados con propiedades anticancerígenas [85]. Además, el chucrut contiene altos niveles de vitaminas C y E, y compuestos fenólicos que actúan como potentes antioxidantes [87].

V.C. ACEITUNAS

De acuerdo al Código Alimentario Argentino, se entiende por aceitunas en salmuera, el producto obtenido por la fermentación láctica de los frutos de las distintas variedades del olivo (*Olea europaea* L.), envasadas con una solución de cloruro de

sodio; con o sin la adición de ácidos (art. 950, C.A.A.).

Existen 2 modalidades generales de fermentación: en la producción de las aceitunas verdes, los frutos inmaduros son tratados durante 10 h con NaOH (1 a 3%) para hidrolizar la oleuropeína que da sabor amargo e inhibe el desarrollo de las BAL. Luego se lavan con agua por varias horas y se colocan en salmuera 5-8% con el agregado de azúcares fermentables. La fermentación dura varias semanas y es llevada cabo principalmente por *L. plantarum* [88]. Otras BAL encontradas en las aceitunas pertenecen a especies como *L. casei*, *L. mesenteroides* y *P. pentosaceus*, mientras que las levaduras suelen estar representadas por *Pichia membranaefaciens*, *P. fermentans*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida oleophila*, *Candida silvae* y *Cystofilobasidium capitatum* [89]. El pH inicial de la fermentación puede ser superior a 7 y la microbiota puede incluir también a *Bacillus* spp. y enterobacterias (*Enterobacter*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Escherichia* spp.).

A medida que los ácidos orgánicos se acumulan y el pH disminuye por debajo de 6, las BAL, principalmente *L. plantarum*, dominan la fermentación. El producto final deberá tener un pH aproximadamente de 3,8-4,2, una acidez titulable de 0,4-0,7% de ácido láctico, y una concentración de sal que varía de 4 a 8% (p/v) [90].

Las aceitunas negras no reciben un tratamiento con NaOH antes de la salmuera por lo que la fermentación es un proceso mucho más lento debido a la presencia de la oleuropeína [43]. En este sistema, las aceitunas se ponen directamente en salmuera a 6-10% NaCl. La eliminación de compuestos amargos se debe a las actividades enzimáticas (principalmente β -glucosidasa y esterasa) de los microorganismos indígenas y a la difusión de polifenoles. El proceso de fermentación puede durar 8 a 12 meses y se realiza por una población mixta de levaduras (*Saccharomyces*, *Hansenula*, *Candida*, *Torulopsis*, *Debaryomyces*, *Pichia*, *Kluyveromyces*, y *Cryptococcus*) y BAL, aunque estas son menos significativas y por lo tanto el contenido de ácido es menor [91]. El producto final tiene un pH de 4,5-4,8 y acidez total de 0,4-0,7% de ácido láctico. Esto no es suficiente para la estabilidad del producto por lo que el contenido de sal debe superar el 10% en el almacenamiento. Para mejorar la fermentación y producir productos finales consistentes es recomendable el uso de cultivos iniciadores [7, 92]. Debido a su contenido de ácidos grasos monoinsaturados (omega-9), el consumo de aceitunas y su aceite pueden prevenir el riesgo de enfermedades cardiovasculares [93]. Además, otros componentes menores, como los tocoferoles y compuestos fenólicos, tienen propiedades antioxidantes y antimicrobianas [94].

V.D. SALSA DE SOJA

La salsa de soja es un condimento fermentado oriental cada vez más popular producido a través de un proceso de fermentación de dos pasos llamados *koji* (fermentación en sustrato sólido) y *moromi* (fermentación en salmuera) [95]. En su elaboración más típica se emplean cuatro ingredientes: soja, trigo, sal y agua. Las proteínas de la soja son las que dan origen al sabor característico mientras que los hidratos de carbono del trigo son los componentes responsables del aroma y del dulzor. Se han

identificado casi 300 compuestos aromáticos en la salsa de soja: alcoholes, ácidos, ésteres y aldehídos son los compuestos aromáticos más abundantes [96].

La soja se sumerge en agua y luego se cuece al vapor. El trigo se tuesta a altas temperaturas y luego se tritura a fin de facilitar su posterior fermentación. Una vez acondicionados los ingredientes, se mezclan cantidades iguales de soja hervida y de trigo tostado a los que se añade un cultivo de esporas del hongo *Aspergillus*. Esta preparación se conoce como *shoyu koji*. Se utilizan tres especies, caracterizadas por su actividad proteolítica, para la elaboración de la salsa de soja: *A. oryzae*, *A. sojae* y *A. tamari*. El *shoyu koji* se traslada hasta un tanque donde se sumerge en una solución de salmuera que contiene NaCl al 18-22% [97], y se la deja fermentar. A la mezcla de *shoyu koji* y salmuera se la denomina *moromi*. En la fermentación del *moromi* se distinguen una fermentación láctica y una fermentación alcohólica. En la producción moderna, se utilizan también cultivos mixtos de la BAL *Tetragenococcus halophilus*, la levadura *Zygosaccharomyces rouxii* y especies de *Candida* para lograr una calidad de producto consistente [97]. El proceso de fermentación puede durar hasta tres meses y luego el *moromi* se somete a un proceso de refinación, que incluye prensado, filtración, pasteurización y envasado [98]. La salsa de soja cruda se pasteuriza a 70-80 °C durante 30 minutos [99] para prolongar su vida útil inactivando microorganismos y enzimas residuales. Además, durante el proceso de calentamiento se generan varios compuestos aromáticos [100]. Dos de los compuestos aromáticos más importantes en la salsa de soja, 4-hidroxi-2, 5 dimetil-3 (2H) -furanona (4-HDMF) y 4-hidroxi-2-etil-5-metil- 3 (2H) -furanona (4-HEMF), se producen a partir de pentosas a través de la reacción de Maillard durante el calentamiento [101]. La salsa de soja envasada en recipientes de plástico y vidrio tiene una vida útil de 1,5 y 3 años, respectivamente. En el mercado puede encontrarse un sucedáneo de la salsa tradicional, conocida como salsa de soja química, la cual se produce sin ninguna fermentación, por hidrólisis química de harina de soja desgrasada, con agregado de colorante caramelo, jarabe de maíz u otros endulzantes, extracto de malta y en ocasiones glutamato monosódico.

Los estudios muestran que la salsa de soja contiene componentes bioactivos y presenta varias funciones biológicas, que incluyen actividades anticancerígenas, antimicrobianas, antioxidantes y antiplaquetarias, disminución de la presión arterial e inhibición de la enzima convertidora de angiotensina I [102]. Además, los polisacáridos que se originan en la pared celular de la soja mejoran la absorción de hierro y reducen los niveles elevados de triacilglicerol, tienen actividades antialérgicas y efectos reguladores sobre el sistema inmune [103].

V.E. KIMCHI

De acuerdo con el *Codex Alimentarius*, el kimchi, declarado patrimonio cultural inmaterial por la Unesco, es un producto fermentado preparado con variedades de col china (*Brassica rapa pekinensis*) y otros vegetales a manera de condimento como pimentón rojo, ajo, pimienta, mostaza, jengibre, pepino y rábano, emblemático de la

cultura coreana [45]. Para su preparación las coles deben ser cortadas, saladas, lavadas con agua potable y escurridas. Luego se colocan en solución salina (5-7%) por 12 h y se lavan y escurren nuevamente.

La fermentación es principalmente una fermentación espontánea de BAL [12], en la que intervienen los géneros *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Weissella*, *Lactococcus* y *Pediococcus* [104, 105], aunque también se observa un cierto crecimiento de bacterias aeróbicas, levaduras y mohos. El kimchi resultante generalmente contiene alrededor de 10^8 - 10^9 UFC/g de BAL. Típicamente, *L. mesenteroides* inicia la fermentación pero se inhibe rápidamente por la concentración creciente de ácido láctico siendo reemplazado por especies más tolerantes como *L. brevis* en una etapa intermedia y luego por *L. plantarum* en el final de la fermentación. De todas formas se considera que el kimchi de mayor sabor se obtiene antes del crecimiento masivo de *L. plantarum* y *L. brevis*, a un pH de 4,5. Finalizada la fermentación, el kimchi se madura durante varias semanas bajo refrigeración [104].

Las BAL presentes en el kimchi producen varios compuestos además de ácidos orgánicos, incluyendo CO_2 , etanol, manitol, bacteriocinas, ácido γ -amino butírico, ornitina, ácido linoleico conjugado y oligosacáridos que contribuyen a sus características nutricionales y funcionales. Se ha informado que el kimchi tiene efectos anticancerígenos, antioxidantes, antiateroscleróticos, antidiabéticos y antiobesidad adjudicables a sus compuestos bioactivos [106, 107]. Además, este producto fermentado contiene niveles despreciables o nulos de NO_3 , NO_2 , nitrosaminas y aminas biogénicas.

Hasta la fecha, no se ha establecido un enfoque racional para controlar la comunidad microbiana durante la fermentación de kimchi, lo que dificulta la obtención de productos comerciales y de alta calidad. Desde comienzos del siglo 21, la industria del kimchi ha probado cepas de *L. mesenteroides*, *L. citreum* o *L. plantarum* como cultivos starter para lograr una mejor y más estable calidad organoléptica [108], demostrando una mayor aceptación general en base al sabor, y potenciales beneficios a la salud en comparación con el kimchi fermentado naturalmente [109]. Sin embargo, se ha sugerido que el uso diario de cultivos puros puede promover el desarrollo de bacteriófagos y defectos en la fermentación, al influenciar el crecimiento, viabilidad y dinámica poblacional de las BAL [110].

V.F. SILOS PARA CONSUMO ANIMAL

El ensilaje es una técnica de preservación de forrajes destinados a consumo animal, que se logra por medio de una fermentación láctica bajo condiciones anaeróbicas. La elaboración de silos permite obtener un alimento de alta calidad nutricional (mejorando la performance productiva de los bovinos) y mayor palatabilidad a un costo relativamente bajo, estabilizar la oferta de nutrientes durante todo el año manteniendo cargas más elevadas y disminuir el riesgo climático de la producción de pasturas.

Las BAL naturalmente presentes, o agregadas *ex profeso*, pueden fermentar vegetales usados para alimentación animal tales como maíz, sorgo, alfalfa, avena, *rye-grass*,

trigo, cebada, soja o malta [111], produciendo ácido láctico y en menor cantidad ácido acético que disminuyen el pH del ensilado a un nivel que inhibe a microorganismos que causan putrefacción. Una vez que el material fresco ha sido almacenado, compactado y cubierto para excluir el aire, el proceso se puede dividir en cuatro etapas [112]: en la fase aeróbica, que dura pocas horas, el oxígeno disminuye rápidamente debido a la respiración de los materiales vegetales y a microorganismos aeróbicos/aeróbicos facultativos como levaduras y enterobacterias. Además, hay una actividad importante de varias enzimas vegetales, como las proteasas y las carbohidrasas. La fase de fermentación comienza al producirse un ambiente anaeróbico, y se extiende por varios días a semanas. Si se desarrolla con éxito, las BAL se convierten en la población predominante y el pH desciende a valores entre 3,8 a 5,0. Luego se desarrolla una fase estable en la que se reducen la mayoría de las poblaciones microbianas. Solo algunas proteasas, carbohidrasas y microorganismos heterofermentativos como *L. buchneri*, continúan activos. Finalmente, con la apertura del silo y la exposición del ensilaje al aire, comienza la fase de deterioro aeróbico.

Si bien la fermentación láctica puede tener lugar por la actividad espontánea de la microbiota naturalmente presente en el material utilizado, también puede inducirse, controlarse y estandarizarse mediante el empleo de inoculantes para silos, formulados principalmente con lactobacilos [113], lográndose así beneficios nutricionales y económicos en comparación con la fermentación espontánea [114]. En general, los inoculantes compuestos por bacterias homofermentativas son usados para reducir las pérdidas de energía, nutrientes y materia seca asociadas a fermentaciones secundarias, mientras que los inoculantes con bacterias heterofermentativas, son útiles para inhibir el crecimiento de microorganismos indeseables y, de este modo, mejorar la estabilidad aeróbica. El rol complementario de las bacterias homofermentativas y heterofermentativas en la fermentación del silo ha llevado al desarrollo de inoculantes que combinan ambos tipos de bacterias [115]. El empleo apropiado de estos productos, permite controlar y dirigir la fermentación microbiana favoreciendo la rápida disminución del pH, evitando la proliferación de clostridios, enterobacterias, *Listeria* spp., hongos y levaduras, la producción de nitrógeno amoniacal, ácido butírico y micotoxinas. Esto redundará en una mayor calidad del alimento, mayor estabilidad aeróbica una vez abierto el silo y una mayor receptibilidad por parte del ganado.

Es importante destacar que las micotoxinas representan un peligro sanitario de especial relevancia, ya que sus efectos tóxicos son de curso crónico, e incluyen carcinogenicidad, inmunosupresión y disrupciones endocrinas [116]. Si consideramos las pérdidas económicas que originan estos compuestos y el potencial impacto sobre la salud, tanto de los animales como de los seres humanos, es evidente el interés que puede suscitar la aplicación de BAL a las materias primas destinadas a la alimentación del ganado, como una estrategia para aminorar los peligros microbiológicos más comúnmente implicados y de esta manera, fomentar la sanidad animal, favorecer el rendimiento productivo y promover la salud pública [117].

V.G. LEGUMBRES FERMENTADAS

Las legumbres representan, por su importancia a nivel mundial, la segunda fuente de alimentos vegetales para la alimentación humana y animal, después de los cereales. Las legumbres más reconocidas como el poroto, garbanzo, lenteja y oleaginosas como la soja, son ampliamente producidas y consumidas en países de América Latina, Asia y África en los que existe acceso limitado a la proteína de origen animal, o su ingesta se encuentra restringida por hábitos culturales o religiosos [114]. Su valor biológico está dado por su elevado contenido de proteínas (20-40 % de su peso seco), carbohidratos complejos, lípidos insaturados, fibra dietaria, vitaminas (B y E), minerales (calcio, hierro, potasio, magnesio y fósforo) y fitoquímicos (péptidos, isoflavonas, ácidos fenólicos, etc.) con efectos beneficiosos [119] [120]. Al respecto, se ha demostrado el potencial de las legumbres para prevenir el estrés oxidativo, enfermedades cardiovasculares, diabetes, síndrome metabólico, osteoporosis, y varios tipos de cáncer entre otras patologías crónicas, permitiendo considerarlas por sí mismas como excelentes alimentos funcionales o como ingredientes para el desarrollo de nuevos productos [120]. De igual manera, el creciente diagnóstico de pacientes con celiaquía ha llevado a considerar a las harinas de legumbres como una alternativa atractiva para la manufactura de productos libres de gluten [121]. Estos beneficios llevaron a la Asamblea General de las Naciones Unidas, a proclamar al 2016 como el Año Internacional de las Legumbres (A/RES/68/231, FAO-OMS, 2015) y al 19 de febrero de cada año como Día Mundial de Las Legumbres con el fin de incrementar la producción mundial, mejorar su aprovechamiento y fomentar el consumo. En respuesta, el cultivo de legumbres en Argentina se ha incrementado en los últimos años con una producción en 2017/2018 de 686.488 Tn, de las cuales más del 50% corresponde a diferentes variedades de poroto que son producidos en el noroeste del país (<http://www.clera.com.ar>).

Sin embargo, la utilización directa de las legumbres o sus harinas como materia prima, requiere un procesamiento que aumente la digestibilidad y biodisponibilidad de sus nutrientes debido a la presencia de FAN como inhibidores de amilasa y proteasas, ácido fítico, saponinas, taninos, lectinas y α -galactósidos, los cuales reducen la absorción de nutrientes y son responsables de malestares gastrointestinales [122]. Para la inactivación/remoción de los FAN suele recurrirse a métodos físicos (calor, presión), químicos (enzimas, soluciones ácidas y salinas) y biológicos (germinación, fermentación), aunque algunos de ellos pueden degradar nutrientes, vitaminas y fitoquímicos relevantes y no remover completamente los compuestos indeseables [123].

En este sentido, la fermentación resulta la estrategia más atractiva para remover FAN mejorando en simultáneo las propiedades nutricionales, nutracéuticas, reológicas y sensoriales de las legumbres [23, 124]. Este proceso puede producirse espontáneamente por acción de la microbiota endógena que portan los granos [125, 126] o ser controlada por la inoculación de cultivos iniciadores [124, 126, 127, 128]. Microorganismos pertenecientes a varios géneros, han demostrado ser efectivos

en el proceso de fermentación de harinas de diferentes leguminosas como *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Aspergillus* o *Cordyceps* [72, 73, 74, 126, 127].

Sin embargo, los cultivos iniciadores formulados exclusivamente con BAL revisten particular interés debido a su carácter inocuo, su aporte de metabolitos bioactivos, actividades enzimáticas que aumentan la digestibilidad de azúcares complejos y proteínas y por su potencial probiótico [23, 129].

Numerosos estudios han evaluado el efecto de la fermentación en los FAN de diferentes legumbres [29, 71, 130]. Así, se ha obtenido la eliminación parcial o total de α -galactósidos, taninos, fitatos e inhibidores de tripsina de harinas de legumbres mediante fermentación espontánea [131] o por fermentación láctica con cepas seleccionadas de *Lactobacillus* [29, 130]. Esto se debe a la presencia en los microorganismos de proteasas, glicosidasas, tanasas, fitasas, y la capacidad microbiana de ligar lectinas y bloquear su unión al epitelio intestinal. Investigaciones recientes han demostrado que las BAL, por acción de sus sistemas proteolíticos, pueden hidrolizar proteínas alergénicas y liberar péptidos tipo lunasina y AA no proteicos como el GABA con propiedades hipotensoras, antimicrobianas, inmunomoduladoras, hipoalergénicas, sedantes, anticariogénicas, antioxidantes, fijadoras de calcio, entre otras [132, 133, 134]. También su actividad β -glucosidasa puede degradar glucósidos tóxicos como vicina y convicina en habas [130] y convertir a las isoflavonas de la soja a genisteína y daidzeína que contrarrestan la deficiencia de estrógenos en la menopausia [135]. Sus actividades metabólicas también contribuyen a liberar durante la fermentación polifenoles bioactivos y otros metabolitos relevantes para la prevención del síndrome metabólico [136].

Entre las principales aplicaciones de las legumbres fermentadas se puede destacar el uso de las harinas para elaborar panes y crackers [137, 138], bebidas [10], productos fermentados semisólidos [139] o pastas tipo miso o hummus obtenidos a partir de soja y garbanzo respectivamente.

Desde el punto de vista tecnológico se ha demostrado que la fermentación ácida (*sourdough*) de harinas de leguminosas con BAL, contribuye a mejorar las características sensoriales y funcionales de los productos de panadería, tales como la textura, el flavour, la digestibilidad y poder antioxidante [133, 140, 141]. Panes libres de gluten elaborados con harinas fermentadas de habas resultaron mejores que los no fermentados mostrando mayor volumen y porosidad, como así también un incremento en la digestibilidad proteica, AA esenciales e índices nutricionales y de valor biológico [138].

La fermentación de legumbres puede llevarse a cabo como FSm o FSS, aunque ésta última es una estrategia emergente para la producción de alimentos de mejor calidad nutricional, funcional y sensorial y se ha empleado para fermentar harinas de soja, poroto y garbanzo [29, 68, 69, 72, 73].

Actualmente, existe una clara tendencia en los consumidores a elegir alimentos que, además de cubrir necesidades nutricionales promuevan su salud y bienestar. En este contexto, la suplementación de la dieta con legumbres fermentadas ha demostrado efectos beneficiosos como la modulación positiva de parámetros relacionados

con el desarrollo de diabetes [10, 142], por lo que el agregado de valor a materias primas mediante estrategias biotecnológicas como la fermentación que permitan obtener nuevos ingredientes alimentarios con mejores propiedades resulta un desafío para la ciencia y la industria alimentaria.

V.H. VEGETALES FERMENTADOS DE AMÉRICA LATINA

Los vegetales fermentados también representan un componente importante de la dieta de los pueblos originarios de Latinoamérica. Estos alimentos son elaborados principalmente usando cereales (arroz, maíz), tubérculos (mandioca, yacón), frutos (ágave, tuna, palma) y leguminosas (maní, frijoles) como sustrato mediante fermentaciones espontáneas llevadas a cabo por levaduras, bacterias y hongos que permiten obtener productos palatables y nutricionalmente seguros de naturaleza alcohólica y no alcohólica. Entre los numerosos ejemplos de alimentos y bebidas fermentadas latinoamericanas pueden mencionarse: *calugi*, *cauim*, *caxiri*, *chicha*, *masa agria*, *pozol*, *pulque*, *polvillo*, *tarubá*, *tejuino* y *yakupa* [143]. Las comunidades microbianas presentes en ellos están compuestas por BAL, *Bacillus* sp., y levaduras como *S. cerevisiae*, *Pichia* sp., *Candida* sp., *Hanseniaspora uvarum* y *Torulaspota delbrueckii*. Los alimentos no-alcohólicos están dominados por BAL mientras que las fermentaciones alcohólicas por *S. cerevisiae*. En general, el conocimiento necesario para su elaboración es empírico, transmitido de generación en generación, por lo que permanece a nivel artesanal en los hogares y pueblos. Muchos de estos alimentos son ingeridos por la población nativa con fines medicinales y religiosos además de nutricionales, y son solo conocidos y consumidos en la región que los produce; por lo que han sido poco estudiados científicamente. Esto alienta futuras investigaciones tendientes a seleccionar microorganismos a partir de los mismos, para lograr fermentaciones controladas con cepas que aporten beneficios tecnológicos al alimento y de salud para los consumidores.

VI. CONCLUSIÓN

La fermentación con BAL representa una estrategia fácil y adecuada para aumentar el consumo diario de legumbres y hortalizas. A menudo, la fermentación láctica se lleva a cabo espontáneamente siguiendo protocolos que están fuertemente arraigados en la cultura y las tradiciones de los diferentes países alrededor del mundo. Los productos vegetales fermentados son microbiológicamente seguros, nutritivos y tienen características sensoriales agradables; y algunos de ellos pueden almacenarse por períodos prolongados sin refrigeración. La fermentación controlada con BAL seleccionadas es una alternativa promisoría para garantizar productos de alta calidad desde el punto de vista nutricional, organoléptico y con beneficios para la salud del consumidor. Los avances recientes en genómica y ecología microbiana molecular

auguran un futuro brillante para su aplicación en la fermentación vegetal. Sin embargo, es necesario alentar enfoques moleculares para estudiar la composición de la microbiota y seleccionar iniciadores dirigidos a diferentes legumbres y hortalizas, generar productos con propiedades nutricionales superiores a los actuales, e incorporar vegetales no tradicionales.

VII. DECLARACIÓN DE POSIBLES CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores no declaran poseer conflictos de interés.

VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- [1] Tiwari, U. & Cummins, E. (2013). Factors influencing levels of phytochemicals in selected fruit and vegetables during pre- and post-harvest food processing operations. *Food Research International*, 50(2), 497-506.
- [2] Septembre-Malaterre, A., Remize, F., & Pouchereta, P. (2018). Fruits and vegetables, as a source of nutritional compounds and phytochemicals: Changes in bioactive compounds during lactic fermentation. *Food Research International*, 104, 86-99.
- [3] Devlieghere, F., Vermeiren, L., & Debevere, J. (2004). New preservation technologies: possibilities and limitations. *International Dairy Journal*, 14, 273-285.
- [4] Elmasser, N., Guillou, S., Leroi, F., Orange, N., Bakhrouf, A., & Federighi, M. (2007). Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: a review. *Canadian Journal of Microbiology*, 58, 813-821.
- [5] Leroy, F., & De Vuyst, L. (2014). Fermented food in the context of a healthy diet: how to produce novel functional foods? *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 17, 574-581.
- [6] Kusznierevicz, B., Bartoszek, A., Wolska, L., Drzewiecki, J., Gorinstein, S., & Namieśnik, J. (2008). Partial characterization of white cabbages (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *alba*) from different regions by glucosinolates, bioactive compounds, total antioxidant activities and proteins. *LWT-Food Science and Technology*, 41(1), 1-9.
- [7] Bonatsou, S., Tassou, C.C., Panagou, E., & Nychas, G.J. (2017) Table Olive Fermentation Using Starter Cultures with Multifunctional Potential Microorganisms, 5, 30; doi:10.3390/microorganisms5020030
- [8] Nguyen, D.T.L., Van Hoorde, K., Cnockaert, M., De Brandt, E., Aerts, M., Binh Thanh, L., & Vandamme, P. (2013). A description of the lactic acid bacteria microbiota associated with the

production of traditional fermented vegetables in Vietnam. *International Journal of Food Microbiology*, 163, 19-27.

[9] Saeedi, M., Shahidi, F., Mortazavi, S.A., Milani, E., & Yazdi, F.T. (2015). Isolation and identification of lactic acid bacteria in winter salad (local pickle) during fermentation using 16S rRNA gene sequence analysis. *Journal of Food Safety*, 35(3), 287-294.

[10] Marazza J.A., Nazareno, M.A., Savoy de Giori G., & Garro M.S. (2012). Enhancement of the antioxidant capacity of soymilk by fermentation with *Lactobacillus rhamnosus*. *Journal of Functional Foods*, 4, 594-601.

[11] Di Cagno, R., Coda, R., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2013). Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation. *Food Microbiology*, 33, 1-10.

[12] Buckenhueskes, H.J. (2015). Quality improvement and fermentation control in vegetables. *Capítulo de libro en: Advances in Fermented Foods and beverages*. Ed.: Holzappel, W. Woodhead Publishing, Cambridge. pp. 515-539.

[13] Novik, G., & Savich, V. (2019). Beneficial microbiota. Probiotics and pharmaceutical products in functional nutrition and medicine. *Microbes and Infection*, <https://doi.org/10.1016/j.micinf.2019.06.004>

[14] Collado, M.C., Vinderola, C.G., & Salminen, S. (2019). Postbiotics: facts and open questions. A position paper on the need for a consensus definition. *Beneficial Microbes* 10, 711-719.

[15] Marco, M.L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C.J., Cotter, P.D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E.J., Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94-102.

[16] Furtado Martins E.M., Mota Ramos, A., Lago Vanzela, E.S., Stringheta P.C., de Oliveira Pinto, C.L., & Martins J.M. (2013) Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria. *Food Research International*, 51, 764-770.

[17] Yu, J., Gao, W., Qing, M., Sun, Z., Wang, W., Liu, W., Pan, L., Sun, T., Wang, H., Bai, N., & Zhang, H. (2012). Identification and characterization of lactic acid bacteria isolated from traditional pickles in Sichuan, China. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 58, 163-72.

[18] Jay, J.M. (2000). Fermentation and fermented dairy products. *Modern food microbiology*. 6th edition. Aspen Publishers Inc. Gaithersburg, USA. 113-30.

[19] Filannino, P., Di Cagno, R., & Gobbetti, M. (2018). Metabolic and functional paths of lactic acid bacteria in plant foods: get out of the labyrinth. *Current Opinion in Biotechnology*, 49, 64-72.

[20] Menezes, L.A.A., Minervini, F., Filannino, P., Sardaro, M.L.S., Gatti, M., & De Dea Lindner, J. (2018). Effects of sourdough on FODMAPs in bread and potential outcomes on irritable

bowel syndrome patients and healthy subjects. *Frontiers in Microbiology*, 9:1972.doi: 10.3389/fmicb.2018.01972

[21] Iraporda, C., Errea, A., Romanin, D.E., Cayet, D., Pereyra, E., Pignataro, O., Sirard, J.C., Garrote, G.L., Abraham, A.G., & Rumbo, M. (2015). Lactate and short chain fatty acids produced by microbial fermentation downregulate proinflammatory responses in intestinal epithelial cells and myeloid cells. *Immunobiology*, 220, 1161-1169.

[22] Rizzello, C.G., Tagliazucchi, D., Babini, E., Sefora Rutella, G., Taneyo Saa, D.L., & Gianotti, A. (2016). Bioactive peptides from vegetable food matrices: Research trends and novel biotechnologies for synthesis and recovery. *Journal of Functional Foods*, 27, 549-569.

[23] Verni, M., Verardo, V., & Rizzello, C.G. (2019). How fermentation affects the antioxidant properties of cereals and legumes. *Foods*, 8, 362; doi:10.3390/foods8090362

[24] Rodriguez, H., Curiel, J.A., Landete, J.M., de las Rivas, B., Lopez de Felipe, F., Gomez-Cordoves, C., & Munoz, R. (2009). Food phenolics and lactic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 132, 79-90.

[25] Jiménez, N., Esteban-Torres, M., Mancheño, J.M., de las Rivas, B., Muñoz, R. (2014) Tannin degradation by a novel tannase enzyme present in some *Lactobacillus plantarum* strains. *Applied Environmental Microbiology*. 80, 2991-2997.

[26] Filannino, P., Bai, Y., Di Cagno, R., Gobbetti, M., & Ganzle, M.G. (2015) Metabolism of phenolic compounds by *Lactobacillus* spp. during fermentation of cherry juice and broccoli puree. *Food Microbiology*. 46, 272-279.

[27] Michlmayr, H., & Kneifel, W. (2014). β -Glucosidase activities of lactic acid bacteria: Mechanisms, impact on fermented food and human health. *FEMS Microbiology Letters*, 352(1), 1-10.

[28] Russo, M.I., Fabersani, E., Abeijon Mukdsi, M.C., Ross, R., Fontana, C., Benítez-Páez, A.; Gauffin-Cano, P., & Medina, R. (2016). *Lactobacillus fermentum* CRL1446 ameliorates oxidative and metabolic parameters by increasing intestinal feruloyl esterase activity and modulating microbiota in caloric-restricted mice. *Nutrients*. 8, 415-428.

[29] Sáez, G.D., Hébert, E.M., Saavedra, L. & Zárate, G. (2017). Molecular identification and technological characterization of lactic acid bacteria isolated from fermented kidney beans flours (*Phaseolus vulgaris* L. and *P. coccineus*) in northwestern Argentina. *Food Research International*, 102, 605-615.

[30] Hosseini, E.S., Kermanshahi, R.K., Hosseinkhani, S., Shojaosadati, S.A., & Nazari, M. (2015). Conjugated linoleic acid production from various substrates by probiotic *Lactobacillus plantarum*. *Annals of Microbiology*, 65, 27-32.

[31] Barbieri, F., Montanari, C., Gardini, F., & Tabanelli, G. Biogenic amine production by lactic

acid bacteria: A Review. *Foods* 2019, 8, 17; doi:10.3390/foods8010017

[32] Lai, L.-R., Hsieh, S.-C., Huang, H.-Y., & Chou, C.-C. (2013). Effect of lactic fermentation on the total phenolic, saponin and phytic acid contents as well as anti-colon cancer cell proliferation activity of soymilk. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 115(5), 552–556.

[33] Salazar, N., Gueimonde, M., De Los Reyes-Gavilan, C.G., & Ruas-Madiedo, P. (2015). Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria and bifidobacteria as fermentable substrates by the intestinal microbiota. *Critical Reviews of Food Science and Nutrition*, 56(9),1440-1453.

[34] Saadat Y.R., Khosroushahib, A.Y., & Gargarid B.P. (2019). A comprehensive review of anticancer, immunomodulatory and health beneficial effects of the lactic acid bacteria exopolysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 217, 79-89.

[35] Xu, Y., Cui, Y., Yue, F.; Liu, L., Shan, Y., Liu, B., Zhou, Y., & Lü, X. (2019). Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria and Bifidobacteria: Structures, physiochemical functions and applications in the food industry. *Food Hydrocolloids*, 94, 475-499.

[36] Derrien, M., & van Hylckama Vlieg, J.E. (2015). Fate, activity, and impact of ingested bacteria within the human gut microbiota. *Trends in Microbiology*, 23(6), 354-366.

[37] Rao, M.S., Pintado, J., Stevens W.F., & Guyot, J.P. (2004). Kinetic growth parameters of different amylolytic and non-amylolytic *Lactobacillus* strains under various salt and pH conditions. *Bioresource Technology*, 94, 331-337.

[38] Daeschel, M.A., Andersson, R.E., & Fleming, H.P. (1987). Microbial ecology of fermenting plant material. *FEMS Microbiology Letters*, 46, 357-367.

[39] Savitri, M., Kumar, V., Kumari, A., Angmo, K., & Bhalla, T.C. (2017). Isolation and characterization of lactic acid bacteria from traditional pickles of Himachal Pradesh, India. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1945-1952.

[40] Fleming, H.P. (1982). Fermented vegetables. En *Economic Microbiology.Fermented Foods*. Vol. 7, p. 227. A.H. Rose (Ed.), Academic Press Inc., New York.

[41] Fan, L., & Truelstrup Hansen, L. (2012). Fermentation and biopreservation of plant-based foods with lactic acid bacteria. En: *Handbook of Plant-based Fermented Food and Beverage Technology*, second ed. Ed.: Hui, Y.H. Editorial: CRC Press, Boca Raton, USA. Pp. 35-48.

[42] McDonald, I.C., Fleming, H.P., & Hassan, H.M. (1990). Acid tolerance of *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactobacillus plantarum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 56, 2120-2124.

[43] Breidt, F., McFeeters, R.F., Perez-Diaz, I., & Lee, C.H. (2013). Fermented fruits and vegetables: a global perspective. Capítulo de libro en: *Food Microbiology: Fundamentals and*

Frontiers. Ed.: Doyle, M.P., Buchanan, R.L. Editorial: ASM Press, Washington DC. Pp. 841-855.

[44] Wouters, D., Bernaert, N., Conjaerts, W., Van Droogenbroeck, B., De Loose, M. & De Vuyst, L. (2013). Species diversity, community dynamics, and metabolite kinetics of spontaneous leek fermentations. *Food Microbiology*, 33, 185-196.

[45] Jung, J.Y., Lee, S.H., Kim, J.M., Park, M.S., Bae, J.-W., Hahn, Y., Madsen, E.L., & Jeon, C.O. (2011). Metagenomic analysis of kimchi, a traditional Korean fermented food. *Applied and Environmental Microbiology*, 77, 2264-2274.

[46] Tamang, J.P., Cotter, P.D., Endo, A., Han, N.S., Kort, R., Liu, S.Q., Mayo, B., Westerik, N., & Hutkins, R. (2020). Fermented foods in a global age: East meets West. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19:184-217.

[47] Van Hylckama Vlieg, J.E.T., Veiga, P., Zhang, C., Derrien, M., & Zhao, L. (2011). Impact of microbial transformation of food on health - From fermented foods to fermentation in the gastro-intestinal tract. *Current Opinion in Biotechnology*, 22, 211-219.

[48] Bourdichon, F., Casaregola, S., Farrokh, C., Frisvad, J.C., Gerds, M.L., Hammes, W.P., Harnett, J., Huys, G., Laulund, S., Ouwehand, A., Powell, I.B., Prajapati, J.B., Seto, Y., Ter Schure, E., Van Boven, A., Vankerckhoven, V., Zgoda, A., Tuijelaars, S., Hansen, E.B. (2012). Food fermentations: microorganisms with technological beneficial use. *International Journal of Food Microbiology*, 154, 87-97.

[49] Juvonen, R., Honkapää, K., Maina, N. H., Shi, Q., Viljanen, K., Maaheimo, H., & Lantto, R. (2015). The impact of fermentation with exopolysaccharide producing lactic acid bacteria on rheological, chemical and sensory properties of pureed carrots (*Daucus carota* L.). *International Journal of Food Microbiology*, 207, 109-118.

[50] Di Cagno, R., Surico, R.F., Paradiso, A., De Angelis, M., Salmon, J.-C., Buchin, S., De Gara, L., & Gobbetti, M. (2009). Effect of autochthonous lactic acid bacteria starters on health-promoting and sensory properties of tomato juices. *International Journal of Food Microbiology*, 128, 473-483.

[51] Ortíz-Serrano, P., & Gil, J.V. (2007). Quantitation of free and glycosidically bound volatiles in and effect of Glycosidase addition on three tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 9170-9176.

[52] Bhanja Dey, T., Chakraborty, S., Jain, K., Sharma, A., Kuhad R.C. (2016). Antioxidant phenolics and their microbial production by submerged and solid state fermentation process: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 53, 60-74.

[53] Soccol, C.R., da Costa, E.S.F., Letti, L.A.J., Karp, S.G., Woiciechowski, A.L., & de Souza Vandenberghe, L.P. (2017). Recent developments and innovations in solid state fermentation. *Biotechnology Research and Innovation*, 1(1), 52-71.

- [54] Gassara, F., Ajila, C. M., Brar, S. K., Verma, M., Tyagi, R. D., & Valero, J. (2012). Liquid state fermentation of apple pomace sludge for the production of ligninolytic enzymes and liberation of polyphenolic compounds. *Process Biochemistry*, 47, 999-1004
- [55] Raghuwanshi, S., Dutt, K., Gupta, P., Misra, S., & Saxena, R.K. (2011). *Bacillus sphaericus*: the highest bacterial tannase producer with potential for gallic acid synthesis. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 111, 635-640.
- [56] da Costa, A.M., de Souza, C.G.M., Bracht, A., Kadowaki, M.K., da Silva de Souza, A. C., Oliveira, R.F., Peralta, R.M. (2013). Production of tannase and gallic acid by *Aspergillus tamarii* in submerged and solid state cultures. *African Journal of Biochemistry Research*, 7, 197-202.
- [57] Kaur, B., Chakraborty, D., Kaur, G., & Kaur, G. (2013). Biotransformation of rice bran to ferulic acid by *Pediococcal* isolates. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 170, 854-867.
- [58] Montet, D., Ray, R.C. & Zakhia-Rozis, N. (2014). Lactic Acid Fermentation of Vegetables and Fruits. *Capítulo de libro en: Microorganisms and fermentation of traditional foods*. Ed.: Ray, R. C., Montet, D. Editorial: CRC Press. Pp. 108-140.
- [59] Liu, S.-N., Han, Y., & Zhou, Z.-J. (2011). Lactic acid bacteria in traditional fermented Chinese food. *Food Research International*, 44, 643-651.
- [60] Vatansever, S., Vegi, A., Garden-Robinson, J., & Hall, C.A. (2017). The Effect of fermentation on the physicochemical characteristics of dry-salted vegetables. *Journal of Food Research*, 6, 32-40.
- [61] Pérez-Díaz, I.M., Breidt, F., Buescher, R.W., Arroyo-López, F.N., Jiménez-Díaz, R., Garrido Fernández, A., Bautista Gallego, J. & Yoon, S.S. (2014). Chapter 51: Fermented and acidified vegetables. In: Pouch Downes, F. and Ito, K.A. (Eds.) *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*, fifth edition. American Public Health Association, Washington, Dc.
- [62] Dahal, N.R., Karki, T.B., Swamylingppa, B., Li, Q., & Gu, G. (2005). Traditional foods and beverages of Nepal-a review. *Food Reviews International*, 21, 1-25.
- [63] Tamang, J.P., Tamang, B., Schillinger, U., Franz, C.M., Gores, M., & Holzapfel, W.H. (2005). Identification of predominant lactic acid bacteria isolated from traditionally fermented vegetable products of the Eastern Himalayas. *International Journal of Food Microbiology*, 105, 347-356.
- [64] Hölker, U., & Lenz, J. (2005). Solid-state fermentation - are there any biotechnological advantages? *Current Opinion in Microbiology*, 8,301-306
- [65] Martins, S., Mussatto, S. I., Martínez-Avila, G., Montañez-Saenz, J., Aguilar, C. N., & Teixeira, J. A. (2011). Bioactive phenolic compounds: production and extraction by solid-state fermentation. A review. *Biotechnology Advance*, 29, 365-373.

- [66] Mitchell, D.A., Von Meien, O.F., & Krieger, N. (2003). Recent developments in modeling of solid state fermentation: heat and mass transfer in bioreactors, *Biochemical Engineering Journal*, 13, 137-147.
- [67] Di Luccio, M., Capra, F., & Ribeiro, N.P. (2004) Effect of temperature, moisture, and carbon supplementation on lipase production by solid-state fermentation of soy cake by *Penicillium simplicissimum*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 113, 173-180.
- [68] Rodriguez de Olmos, A., Bru, E., & Garro, M.S. (2015). Optimization of fermentation parameters to study the behavior of selected lactic cultures on soy solid state fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 196, 16-23.
- [69] Rui, X., Wang, M., Zhang, Y., Chen X., Li, L., Liu, Y., & Dong, M. (2017). Optimization of soy solid-state fermentation with selected lactic acid bacteria and the effect on the anti-nutritional components. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6):e13290, <https://doi.org/10.1111/jfpp.13290>
- [70] Juan, M.Y., & Chou, C.C. (2010). Enhancement of antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content of black soybeans by solid state fermentation with *Bacillus subtilis* BCRC 14715. *Food Microbiology*, 27, 586-591.
- [71] Bartkiene, E., Krungleviciute, V., Juodeikiene, G., Vidmantiene, D., & Maknickiene, Z. (2014). Solid state fermentation with lactic acid bacteria to improve the nutritional quality of lupin and soya bean. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1336-1342.
- [72] Xiao Y., Xing, G., Rui, X., Li, W., Chen, X., Jiang, M. & Dong M. (2015) Effect of solid-state fermentation with *Cordyceps militaris* SN-18 on physicochemical and functional properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour. *LWT - Food Science and Technology*, 63, 1317-1324.
- [73] Xiao, Y., Sun, M., Zhang, Q., Chen, Y., Miao, J., Rui, X., Dong, M. (2018). Effects of *Cordyceps militaris* (L.) Fr. fermentation on the nutritional, physicochemical, functional properties and angiotensin I converting enzyme inhibitory activity of red bean (*Phaseolus angularis* [Willd.] W.F. Wight.) flour. *Journal of Food Science and Technology*, 55(4),1244-1255.
- [74] Limón, R.I., Peñas, E., Torino, M.I., Martínez-Villaluenga, C., Dueñas, M., & Frias, J. (2015). Fermentation enhances the content of bioactive compounds in kidney bean extracts. *Food Chemistry*, 172, 343-352.
- [75] Rezac, S., Kok, C.R., Heermann, M., & Hutkins, R. (2018). Fermented foods as a dietary source of live organisms. *Frontiers in Microbiology*. doi: 10.3389/fmicb.2018.01785.
- [76] Ana, A.S., Azeredo, D.P., Costa, M., Macedo, V. (2002). Analysis of risks of minimal processing of vegetables. *Higiene Alimentaria*, 16, 80-84.
- [77] Ross, R.P., Morgan, S., & Hill, C. (2002). Preservation and fermentation: past, present and future. *International Journal of Food Microbiology*, 79, 3-16.

- [78] Karovicova, J., Drdak, M., Greif, G., & Hybenova, E. (1999). The choice of strains of *Lactobacillus* species for the lactic acid fermentation of vegetable juices. *European Food Research and Technology*, 210, 53-56.
- [79] Zieliński, H., Surma, M., & Zielińska, D. (2017). The naturally fermented sour pickled cucumbers. *Capítulo de libro en: Fermented Foods in Health and Disease Prevention*. Ed.; Frias, J., Martinez-Villaluenga, C., Peñas, E. Editorial: Academic Press. Pp. 503-516.
- [80] Steinkraus, K.H. (2002). Fermentations in world food processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1, 23-32.
- [81] Halami, P.M., Ramesh, A., & Chandrashekar, A. (2005). Fermenting cucumber, a potential source for the isolation of pediocin like bacteriocin producers. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21, 1351-1358.
- [82] Singh, A.K., & Ramesh, A. (2008). Succession of dominant and antagonistic lactic acid bacteria in fermented cucumber: insights from a PCR-based approach. *Food Microbiology*, 25, 278-287.
- [83] Eom, H.J., Seo, D.M., & Han, N.S. (2007). Selection of psychrotrophic *Leuconostoc* spp. Producing highly active dextransucrase from lactate fermented vegetables. *International Journal of Food Microbiology*, 117, 61-67.
- [84] Peñas, E., Martinez-Villaluenga, C., & Frias, J. (2016). Sauerkraut: production, composition, and health benefits. *Capítulo de libro en: Fermented Foods in Health and Disease Prevention*. Editorial: Academic Press. Pp. 557-576.
- [85] Beganovic, J., Pavunc, A. L., Gjuracic, K., Spoljarec, M., Suskovic, J., & Kos, B. (2011). Improved sauerkraut production with probiotic strain *Lactobacillus plantarum* L4 and *Leuconostoc mesenteroides* LMG 7954. *Journal of Food Science*, 76, 124-129.
- [86] Pederson, C.S. (1979). *Microbiology of food fermentations* (2nd edition). Westport, CT: AVI.
- [87] Podszędek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: a review. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 1-11.
- [88] Hurtado, A., Reguant, C., Bordons, A., & Rozes, N. (2012). Lactic acid bacteria from fermented table olives. *Food Microbiology* 31, 1-8.
- [89] Peres, C. M., Peres, C., Hernández-Mendoza, A., & Malcata, F. X. (2012). Review on fermented plant materials as carriers and sources of potentially probiotic lactic acid bacteria—with an emphasis on table olives. *Trends in Food Science & Technology*, 26, 31–42.
- [90] Montano, A., Sánchez, A.H., Casado, F.J., de Castro, A., & Rejan, L. (2003). Chemical profile of industrially fermented green olives of different varieties. *Food Chemistry*, 82, 297-302.

- [91] Tsapatsaris, S., & Kotzekidou, P. (2004). Application of central composite design and response surface methodology to the fermentation of olive juice by *Lactobacillus plantarum* and *Debaryomyces hansenii*. *International Journal of Food Microbiology*, 95, 157-168.
- [92] Corsetti, A., Perpetuini, G., Schirone, M., Tofalo, R., & Suzzi, G. (2012). Application of starter cultures to table olive fermentation: an overview on the experimental studies. *Frontiers in Microbiology*, doi: 10.3389/fmicb.2012.00248.
- [93] Gavahian, M.; Khaneghah, A.M.; Lorenzo, J.M.; Muneke, P.E.S.; Izaskun García-Mantrana, I.; Collado, M.C.; Meléndez-Martínez, A.J., & Barba, F.J. (2019). Health benefits of olive oil and its components: Impacts on gut microbiota antioxidant activities, and prevention of noncommunicable diseases. *Trends in Food Science & Technology* 88, 220-227.
- [94] Malheiro, R., Sousa, A., Casal, S., Bento, A., & Pereira, J.A. (2011). Cultivar effect on the phenolic composition and antioxidant potential of stoned table olives. *Food and Chemical Toxicology*, 49, 450-457.
- [95] Devanthi, P.V.P. & Gkatzionis, K. (2019). Soy sauce fermentation: Microorganisms, aroma formation, and process modification. *Food Research International*, 120, 364-374.
- [96] Feng, Y., Cai, Y., Su, G., Zhao, H., Wang, C., & Zhao, M. (2014). Evaluation of aroma differences between high-salt liquid-state fermentation and low-salt solid-state fermentation soy sauces from China. *Food Chemistry*, 145, 126-134.
- [97] van der Sluis, C., Tramper, J., & Wijffels, R.H. (2001). Enhancing and accelerating flavour formation by salt-tolerant yeasts in Japanese soy-sauce processes. *Trends in Food Science and Technology*, 12, 322-327.
- [98] Luh, B.S. (1995). Industrial production of soy sauce. *Journal of Industrial Microbiology*, 14, 467-741.
- [99] Mar, T., Lynn, T.M., Aye, K.N., & Khaing, K.M. (2013). Study on the production of fermented soybean sauce by using *Aspergillus oryzae* and *Aspergillus flavus*. *Journal of Scientific and Innovative Research*, 2, 1-10.
- [100] Kaneko, S., Kumazawa, K., & Nishimura, O. (2013). Studies on the key aroma compounds in raw (unheated) and heated Japanese soy sauce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 6, 3396-3402.
- [101] Sun, S.Y., Jiang, W.G., & Zhao, Y.P. (2010). Profile of volatile compounds in 12 Chinese soy sauces produced by a high-salt-diluted state fermentation. *Journal of the Institute of Brewing*, 116, 316-328.
- [102] Murooka, Y., & Yamashita, M. (2008). Traditional healthful fermented products of Japan. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 35, 791-798.

- [103] Kobayashi, M. (2013). Nutritional functions of polysaccharides from soy sauce in the gastrointestinal tract. Capítulo de libro en: *Bioactive Food as Dietary Interventions for Liver and Gastrointestinal Disease*. Ed.: Watson, R.R. Victor R., Preedy, V.R. Editorial: Academic Press. Pp. 139-147.
- [104] Lee, D.Y., Kim, S.J., Cho, J.H., & Kim, J.H. (2008). Microbial population dynamics and temperature changes during fermentation of kimjang kimchi. *Journal of Microbiology*, 46, 590-593.
- [105] Park, K.Y., & Kim, B.K. (2012). Lactic acid bacteria in vegetable fermentation. Capítulo de libro en: *Lactic Acid Bacteria*. Ed.: Lahtinen, S., Ouwehand, A.C., Salminen, S., von Wright, A. Editorial: CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Pp. 187-211.
- [106] Kim, Y.T., Kim, B.K., & Park, K.Y. (2007). Antimutagenic and anticancer effects of leaf mustard and leaf mustard kimchi. *Journal of Food Science and Nutrition*, 12, 84-88.
- [107] Islam, M.S., & Choi, H. (2009). Antidiabetic effect of Korean traditional baechu (Chinese cabbage) kimchi in a type 2 diabetes model of rats. *Journal of Medicinal Food*, 12, 292-297.
- [108] Lee, M.E., Jang, J.Y., Lee, J.H., Park, H.W., Choi, H.J., & Kim, T.W. (2015). Starter cultures for kimchi fermentation. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25, 559-568
- [109] Bong, Y.J., Jeong, J.K., & Park, K.Y. (2013). Fermentation properties and increased health functionality of kimchi by kimchi lactic acid bacteria starters. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 42, 1717-1726.
- [110] Kong, S., & Park, J.H. (2019). Effect of bacteriophages on viability and growth of co-cultivated *Weissella* and *Leuconostoc* in kimchi fermentation. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29, 558-561.
- [111] Oliveira A.S., Weinberg, Z.G., Ogunade, I.M., Cervantes, A.A.P., Arriola, K.G., Jiang, Y., Kim, D., Li, X., Gonçalves, M.C.M., Vyas, D., & Adesogan, A.T. (2017). Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100, 4587-4603.
- [112] Oude Elferink, S.J.W.H., Driehuis, F., Gottschal, J.C. & Spoelstra, S.F. (1999). Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación. En Conferencia Electrónica de la FAO sobre el Ensilaje en los Trópicos. Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Editorial: L. t'Mannetje. Roma, FAO. (Estudio FAO Producción y Protección Vegetal N° 161). <http://www.fao.org/DOCREP/005/X8486S/x8486s04.htm#bm04>
- [113] Giraffa, G., Chanishvili, N., & Widyastuti, Y. (2010). Importance of lactobacilli in food and feed biotechnology. *Research in Microbiology*, 161, 480-487.
- [114] Kalac, P. (2011). The effects of silage feeding on some sensory and health attributes of

cow's milk: A review. *Food Chemistry*, 125, 307-317.

[115] Blajman, J.E., Páez, R.B., Vinderola, C.G., Lingua, M.S., & Signorini, M.L. (2018). A meta-analysis on the effectiveness of lactic acid bacteria for corn silage. *Journal of Applied Microbiology*, 125, 1655-1669.

[116] Ogunade, I.M., Martinez-Tupia, C., Queiroz, O.C.M., Jiang, Y., Drouin, P., Wu, F., Vyas, D., & Adesogan, A.T. (2018). Silage review: Mycotoxins in silage: Occurrence, effects, prevention, and mitigation. *Journal of Dairy Science*, 101, 4034-4059.

[117] Signorini, M.L., Gaggiotti, M., Molineri, A., Chiericatti, C.A., Zapata De Basílico, M.L., Basílico, J.C., & Pisani, M. (2012). Exposure assessment of mycotoxins in cow's milk in Argentina. *Food and Chemical Toxicology*, 50, 250-257.

[118] Boye J., Zare F. & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43, 414-431.

[119] Campos-Vega, R.G., Loarca-Piña, B.D., & Oomah, C. (2010). Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food Research International*, 43, 461-482.

[120] Suárez-Martínez, S.E., Ferriz-Martínez, R.A., Campos-Vega, R., Elton-Puente, J.E., de la Torre Carbot, K., & García-Gasca, T. (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA - Journal of Food*, 14(1), 131-137.

[121] Miñarro, B., Albanell, E., Aguilar, N., Guamis, B., & Capellaset, M. (2012) Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*, 56, 476-481.

[122] Khokhar, S., & Owusu Apenten, R.K. (2009). Antinutritional factors in food legumes and effects of processing. In V.R. Squires (Eds.), *The Role of food, Agriculture, Forestry and Fisheries in Human Nutrition* (pp. 82-116). Oxford, UK: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Publishers Co Ltd.

[123] Shimelis, E.A., & Rakshit, S.K. (2007). Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. *Food Chemistry*, 103, 161-172.

[124] Ferreira, L.M.M., Ferreira, A.M., Benevides, C.M.J., Melo, D., Costa, A.S.G., Mendes-Faia A., & Oliveira M.B.P. (2019). Effect of controlled microbial fermentation on nutritional and functional characteristics of cowpea bean flours. *Foods*, 8, 530; doi:10.3390/foods8110530

[125] Rizzello, C.G., Calasso, M., Campanella, D., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2014) Use of sourdough fermentation and mixture of wheat, chickpea, lentil and bean flours for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread. *International Journal of Food Microbiology*, 180, 78-87.

[126] Gan, R.Y., Shah, N.P., Wang, M., Lui, W., & Corke, H. (2016). Fermentation alters antioxidant capacity and polyphenol distribution in selected edible legumes. *International Journal of Food Science and Technology*, 51, 875-884.

[127] Jhan, J.K., Chang, W.F., Wang, P.M., Chou, S.T., & Young, Y.C. (2015). Production of fermented red beans with multiple bioactives using co-cultures of *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. *LWT-Food Science and Technology*, 63, 1281-1287

[128] Coda, R., Melama, L., Rizzello, C.G., Curiel, J.A., Sibakov, J., Holopainen, U., Pulkkinen, M., Sozer, N. (2015). Effect of air classification and fermentation by *Lactobacillus plantarum* VTT E-133328 on faba bean (*Vicia faba* L.) flour nutritional properties. *International Journal Food Microbiology*, 193, 34-42.

[129] Rizzello, C.G., Coda, R., Wang, Y., Verni, M., Kajala, I., Katina, K., & Laitila, A. (2018). Characterization of indigenous *Pediococcus pentosaceus*, *Leuconostoc kimchii*, *Weissella cibaria* and *Weissella confusa* for faba bean bioprocessing. *International Journal of Food Microbiology*. 303, 24-34.

[130] Rizzello, C.G., Losito, I., Facchini, L., Katina, K., Palmisano, F., Gobbetti, M., & Coda R. (2016). Degradation of vicine, convicine and their aglycones during fermentation of faba bean flour. *Scientific Reports*, 6, 32452.

[131] Granito, M., Frías, J., Doblado, R., Guerra, M., Champ, M., & Vidal-Valverde, C. (2002) Nutritional improvement of beans (*Phaseolus vulgaris*) by natural fermentation. *European Food Research and Technology*, 214, 226-231.

[132] Wang, N.F., Le, G.W., Shi, Y.H., & Zeng, Y. (2014). Production of bioactive peptides from soybean meal by solid state fermentation with lactic acid bacteria and protease. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 6(9), 1080-1085.

[133] Rizzello, C.G., Hernández-Ledesma, B., Fernández-Tomé, S., Curiel, J.A., Pinto, D., Marzani, B., Coda, R., & Gobbetti, M. (2015). Italian legumes: Effect of sourdough fermentation on lunasin-like polypeptides. *Microbial Cell Factories*, 14, 168. doi: 10.1186/s12934-015-0358-6

[134] Biscola, V., Rodriguez de Olmos, A., Choiset, Y., Rabesona, H., Garro, M.S., Mozzi F., Chobert, J-M., Drouet, M., Haertlé, T., & Franco, B.D.G.M. (2017). Soymilk fermentation by *Enterococcus faecalis* VB43 leads to reduction in the immunoreactivity of the allergenic proteins β -conglycinin (7S) and glycinin (11S). *Beneficial Microbes*, 8(4), 635-643.

[135] Jungbauer, A., & Medjakovic, S. (2014). Phytoestrogens and the metabolic syndrome. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 139, 277-289.

[136] Jakubczyk, A. (2018). Effect of addition of fermented bean seed flour on the content of bioactive components and nutraceutical potential of wheat wafers. *LWT - Food Science and Technology*. 98, 245-251.

- [137] Sáez, G.D., Hébert, E.M., Saavedra, L. & Zárate, G. (2017). Molecular identification and technological characterization of lactic acid bacteria isolated from fermented kidney beans flours (*Phaseolus vulgaris* L. and *P. coccineus*) in northwestern Argentina. *Food Research International*, 102, 605-615.
- [138] Sozer, N., Melama, L., Silbir, S., Rizzello, C.G., Flander, L., & Poutanen, K. (2019). Lactic acid fermentation as a pre-treatment process for faba bean flour and its effect on textural, structural and nutritional properties of protein-enriched gluten-free faba bean breads. *Foods*, 8, 431, doi:10.3390/foods8100431
- [139] Lim, X.X., Koh, W.Y., Uthumporn, Maizura, M., & Wan Rosli, W.I. (2019). The development of legume-based yogurt by using water kefir as starter culture. *International Food Research Journal*, 26(4), 1219-1228.
- [140] Coda, R., Rizzello, C.G., & Gobbetti, M. (2010). Use of sourdough fermentation and pseudocereals and leguminous flours for the making of a functional bread enriched of gamma-aminobutyric acid (GABA). *International Journal of Food Microbiology*, 137, 236-245.
- [141] Gabriele, M., Sparvoli, F., Bollini, R., Lubrano, V., Longo, V., & Pucci, L. (2019). The impact of sourdough fermentation on non-nutritive compounds and antioxidant activities of flours from different *Phaseolus Vulgaris* L. genotypes. *Journal of Food Science*, 84, doi: 10.1111/1750-3841.14672
- [142] Ademiluyia, A.O., Oboha, G., Boligonb, A.A., & Athaydeba, M.L. (2015) Dietary supplementation with fermented legumes modulate hyperglycemia and acetylcholinesterase activities in Streptozotocin-induced diabetes. *Pathophysiology*, 22(4), 195-201.
- [143] Lacerda Ramos, C., & Freitas Schwan, R. (2017). Technological and nutritional aspects of indigenous Latin America fermented foods. *Current Opinion in Food Science*, 13, 97-102.