
ESTUDIOS INTERDISCIPLINARES DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA

Compilación y Dirección Editorial
JOVANY SEPÚLVEDA AGUIRRE



CORPORACIÓN UNIVERSITARIA
AMERICANA
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA

SELLO EDITORIAL UNIVERSITARIO
U Americana

ESTUDIOS INTERDISCIPLINARES DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA

Compilación y Dirección Editorial
Mg. Jovany Sepúlveda Aguirre
Director Editorial y de Publicaciones – Sede Medellín

Libro resultado de investigación a partir de la actividad colaborativa y de cohesión entre los grupos de investigación de la Corporación Universitaria Americana y diferentes grupos de investigación de los ámbitos nacional e internacional.



CORPORACIÓN UNIVERSITARIA
AMERICANA[®]
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA

 SELLO EDITORIAL UNIVERSITARIO
UAmericana

620
C822

Corporación Universitaria Americana. (2018). Estudios interdisciplinarios de investigación en Ingeniería. Jovany Sepúlveda-Aguirre (Comp.). Medellín: Sello Editorial Coruniamericana.

111 Páginas: 16X23 cm.
ISBN: 978-958-5512-02-3

1. Ingeniería Industrial- 2. Tiempos y Métodos -3. Agroindustria- 4. Residuos- 5. Productos Agroindustriales.

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AMERICANA-CO /SPA /RDA
SCDD 21 /CUTTER - SANBORN

Corporación Universitaria Americana©
Sello Editorial Coruniamericana©
ISBN: 978-958-5512-02-3

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AMERICANA

Presidente
JAIME ENRIQUE MUÑOZ

Rectora Nacional
ALBA LUCÍA CORREDOR GÓMEZ

Rector Sede Medellín
ALBERT CORREDOR GÓMEZ

Vicerrector General Sede Medellín
CAMILO ANDRÉS ECHEVERRI GUTIÉRREZ

Vicerrector Académico Sede Medellín
DANY ESTEBAN GALLEGUO QUICENO

Vicerrector de Investigación Sede Medellín
LUIS FERNANDO GARCÉS GIRALDO

Director de Publicaciones Sede Medellín
JOVANY SEPULVEDA-AGUIRRE

Sello Editorial Coruniamericana
selloeditorialcoruniamericana@coruniamericana.edu.co

Diagramación y carátula:
Jeisson Urán Cataño

Corrección de estilo: INFOLIO S.A.S

1ª edición: agosto de 2018

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en sistema recuperable o transmitida en ninguna forma o por medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, u otro, sin previa autorización por escrito del Sello Editorial Coruniamericana y de los autores. Los conceptos expresados en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente corresponden con los de la Corporación Universitaria Americana.

PARES EVALUADORES

WILSON MANUEL CASTRO SILUPU

Doctor en Ciencia, Tecnología y Gestión Alimentaria por la Universidad Politécnica de Valencia España, tesis con la calificación de sobresaliente - mención Cum Laude; Maestro en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos por el Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IuIAD) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV)-España, obteniendo la calificación de matrícula de honor en la tesis de maestría; Ex-Becario del Programa Internacional de becas de la Fundación Ford.

SILVIA MARCELA HENAO VILLA

Ingeniera Informática. Magister en Educación.

Ph(c). en Educación por Competencias. Instructora Cisco Networking Academy.

Docente Universitaria adscrita a la Fundación Universitaria María Cano.

CONTENIDO

Capítulo
01

Estudio de tiempos y métodos en el proceso de verificación de cuentas médicas en una compañía del sector salud colombiano: un caso de estudio.

Pag.
11

Gustavo Andrés Araque González, David Alberto García Arango, Camilo Andrés Echeverri Gutiérrez, Laura Isabel Bedoya Corrales.

Capítulo
02

Achiote: una alternativa para la agroindustria colombiana.

Pag.
33

Laura Isabel Bedoya Corrales, David Alberto García Arango, Gustavo Andrés Araque González, Dany Esteban Gallego Quiceno, César Felipe Henao-Villa.

Capítulo
03

Residuos agroindustriales: aplicaciones de la ingeniería para la generación de valores agregados.

Pag.
47

Oscar Alfonso Vega Castro, Edwin Alberto Arcila, Juan Camilo Osorio Arias, Yudy Stella Duarte Correa, Faber Alexander Gómez Narváez.

Capítulo
04

Productos naturales como fuente de materias primas para la elaboración de envases activos.

Pag.
71

Diana María Granda Restrepo, Camilo Agudelo Cuartas, Ángela María Pérez Martínez, Yudy Stella Duarte Correa, Oscar Vega Castro.

Capítulo
05

Reacción de maillard en productos lácteos

Pag.
91

José Contreras Calderón, Fáver Gómez Narváez, Oscar Vega Castro, Juan Osorio Árias, Camilo Agudelo Cuartas.



ESTUDIO DE TIEMPOS Y MÉTODOS EN EL PROCESO DE VERIFICACIÓN DE CUENTAS MÉDICAS EN UNA COMPAÑÍA DEL SECTOR SALUD COLOMBIANO: UN CASO DE ESTUDIO¹

Gustavo Andrés Araque González²

David Alberto García Arango³

Camilo Andrés Echeverri Gutiérrez⁴

Laura Isabel Bedoya Corrales⁵

-
1. Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación de consultoría, denominado: Proyecto de Implementación de Costeo ABC basado en el proceso de cuentas médicas en una empresa del sector de salud en la ciudad de Medellín, Colombia.
 2. Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería de Producción. docente investigador de la Corporación Universitaria Americana. correo electrónico: garaque@americana.edu.co
 3. Licenciado en Matemáticas y Física, Magister en matemáticas aplicadas. docente investigador de la Corporación Universitaria Americana. correo electrónico: dagarcia@coruniamericana.edu.co
 4. Contador Público, Magister en Administración Empresarial. Vicerrector General Corporación Universitaria Americana. correo electrónico: cecheverri@coruniamericana.edu.co
 5. Ingeniera Mecánica, Magister en Ingeniería Agroindustrial. Docente de la Corporación Universitaria Americana. correo electrónico: libedoya@americana.edu.co

Resumen

En la actualidad, uno de los factores que demanda la competitividad del sector de salud es la calidad de la información, contable y matemáticamente, que permita tomar decisiones a corto plazo y la búsqueda de mejora continua al interior de sus procesos. Como complemento a estos requerimientos, la presente investigación plantea una propuesta de desarrollo metodológico- investigativo mixto, del estudio de tiempos y métodos en una empresa del sector salud ,expuesto en tres etapas: 1) Diagnóstico inicial- indicadores de producción actuales del área administrativa ; 2) Propuesta y determinación de indicadores de producción estándar en base al estudio de tiempos y métodos en el área de verificación de cuentas médicas; 3) Presentación de resultados y análisis de indicadores de producción administrativos y los planteados en el presente estudio. Los resultados obtenidos evidencian el mejoramiento del indicador productivo estándar 15% sobre el actual organizacional con la propuesta de valor del presente estudio.

Palabras clave: Cuentas médicas, estudio de tiempos, estudio de movimientos, gestión de calidad, sector de salud.

STUDY OF TIMES AND METHODS IN THE PROCESS OF VERIFICATION OF MEDICAL ACCOUNTS IN A COLOMBIAN HEALTH SECTOR COMPANY: A CASE STUDY

Abstract

Currently, one of the factors that demand the competitiveness of the health sector is the quality of information, accounting and mathematically, which allows short-term decisions and search for continuous improvement within their processes. As a complement to these requirements, the present research proposes a proposal of mixed methodological-research development, of the study of times and methods in a company of the health sector, exposed in three stages: 1) Initial diagnosis - current production indicators of the administrative area; 2) Proposal and determination of standard production indicators based on the study of times and methods in the area of medical account verification; 3) Presentation of results and analysis of administrative production indicators and those proposed in this study. The results obtained show the improvement of the standard productive indicator 15% over the current organizational value proposition of the present study.

Key words: medical accounts, study of times, study of movements, quality management, health sector.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el factor de crecimiento y desarrollo empresarial ha orientado los procesos organizacionales del sector salud en un ambiente de competitividad global, buscando resultados contables relevantes, verídicos y objetivos a corto plazo como estrategia clave en la toma de decisiones. En búsqueda de dichos resultados, las empresas han disminuido la calidad de información suministrada, presentando carencias contables y soportes matemáticos poco fiables, generando como consecuencia vulnerabilidad de la información en sus sistemas contables y gestión administrativa. Como solución a lo anteriormente planteado, se expone a partir de la presente investigación de carácter mixto (cualitativo-cuantitativo) el desarrollo metodológico del estudio de tiempos y métodos como estrategia de mejoramiento continuo de los indicadores de producción al interior de la organización, y eficiencia en la toma de decisiones del área administrativa financiera de la empresa analizada.

Se plantea, el desarrollo metodológico del estudio de tiempos y métodos, filosofía de mejoramiento de la productividad cuyo objetivo es la “determinación de estándares de tiempo, de acuerdo a estimaciones, registro de históricos y procedimientos de medición de trabajo en búsqueda de la estandarización de tiempos asociados a las actividades ejecutadas por los operarios de las organizaciones” (Niebel y Freivalds , 2009; Montgomery y Runger, 1994). Un factor fundamental para el éxito del estudio es el correcto análisis de las operaciones en el área de trabajo investigada, cuya actividad implica la “medición de los principales elementos productivos y no productivos al interior de una operación y búsqueda del aumento de la productividad con el fin de mejorar la calidad de trabajo operativo ejecutado y reducción de los tiempos y costos asociados” (Taguchi, 1986; Shingo, 1981).

La propuesta de valor a partir del estudio de tiempos y métodos que se plantea está enfocada al área de verificación, perteneciente al proceso de cuentas médicas de una empresa dedicada a la auditoría de facturas, resultado de los servicios médicos, dentro del sector de la salud en la Ciudad de Medellín Colombia. Principalmente, opera como mediador entre las EPS (Entidad Promotora de Salud que son las encargadas de promover la afiliación al sistema de seguridad social) y las IPS (Instituciones Prestadoras de Servicios. Es decir, todos los centros, clínicas y hospitales donde se prestan los servicios médicos, bien sea de urgencia o de consulta). Entre las principales funciones que realiza la empresa de auditoría en el sector salud, está verificar que cada una de las facturas entre estas dos organizaciones (IPS y EPS) cumpla con las especificaciones técnicas y legales para proceder al cobro de los servicios brindados entre ellas. De acuerdo con los planteamientos anteriores, la investigación se dividió en tres fases fundamentales: En el capítulo 1 será expuesto un diagnóstico inicial, con la presentación de las propuestas de indicadores de productividad planteados por la organización y administración de los mismos al interior del área operativa de verificación; en el capítulo 2 se aborda la propuesta de valor de la investigación con el desarrollo metodológico del estudio de tiempos y métodos para el área de verificación, de acuerdo al nivel de desempeño de los empleados analizados como muestra de estudio. Finalmente, en el capítulo 3, se presentan los resultados obtenidos y análisis de los indicadores administrativos en comparación con los determinados a partir del estudio como propuesta de valor, en búsqueda de factores que apoyen el mejoramiento de los procesos y actividades operativas dentro del área de verificación del proceso de cuentas médicas. El estudio de tiempos y métodos permitirá a la organización tomar decisiones que contribuyan a la eficiencia, reducción de costes y optimización en la utilización de la fuerza laboral responsable por los procesos del servicio ofrecido por la organización. Diagnóstico inicial- indicadores de producción actual del área administrativa

Un primer abordaje que se presenta en esta etapa inicial del estudio de tiempos y métodos es la determinación de los indicadores de producción del área administrativa financiera procesados por la empresa de estudio. Un primer elemento considerado por los directivos en el diagnóstico de los niveles de productividad propios son las fuentes posibles de extracción de información al interior de la empresa, las cuales son:

- Estudio de tiempos con cronometro: determinación de estándares de tiempos de los procesos productivos, considerando tomas muestrales de tiempo a partir de sistema cronometrado en el puesto de trabajo de los operarios.
- Sistema de tiempos predeterminados: determinación de estándares de tiempos de los procesos productivos a partir de bases de datos informáticas con los registros históricos de los tiempos de procesamiento de las facturas al interior de la organización en cada una de las áreas operativas.
- Estimaciones basadas en datos históricos: determinación de estudio de tiempos y métodos en base a estudios previos analizados por Ingenieros de Métodos al interior de la organización.
- Datos estándar: determinación de los estándares de tiempos de los procesos productivos de acuerdo a los niveles y rendimientos de las actividades operativas de la

competencia en el sector salud, más específicamente en el proceso de cuentas médicas.

- Muestreo del trabajo: Determinación de estándares de tiempos en los procesos productivos, tomando como base de muestreo del proceso de cuentas médicas aplicado tanto al sector de la salud como a procesos asociados, por ejemplo, servicios de facturación financieros, contables, entre otros.

De acuerdo con lo presentado anteriormente, la empresa decide tomar la decisión de trabajar, para la identificación de sus indicadores de producción, las estimaciones basadas en históricos, lo cual significa que, a partir de los resultados obtenidos por cada uno de sus colaboradores a través del tiempo, se identifica un “indicador ideal” de producción de cada una de las áreas analizadas, en este caso, en el área operativa de verificación, como puede ser observado en la Figura 1.

Numero de facturas	Tipo de Factura	Codigo Paquete radicado	Sucursal	Usuario que Verifica	Fecha de Verificación	Hora Inicio Verificación	Hora de Terminación verificación	Tiempo Total/Unidad [Minutos]	Tiempo Total/Unidad [Unidad:2]
FA205932	Evento	1030726431	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 07:27:10:000000	7:27	7:27	00:01:00	0,05
663057	Evento	1030952565	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 07:31:56:000000	7:31	7:31	00:04:00	0,07
E628575	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 07:45:53:000000	7:45	7:45	00:03:00	0,05
E628581	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 07:48:43:000000	7:48	7:48	00:02:00	0,03
E628694	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 08:27:22:000000	8:27	8:27	00:03:00	0,05
E628698	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 08:30:13:000000	8:30	8:30	00:02:00	0,03
E628711	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 08:34:43:000000	8:34	8:34	00:05:00	0,08
E628718	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 08:40:34:000000	8:40	8:40	00:02:00	0,03
E628722	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 08:42:44:000000	8:42	8:42	00:02:00	0,03
E628567	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 08:45:34:000000	8:45	8:45	00:02:00	0,03
CRE1892262	Evento	1040940119	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 11:20:24:000000	11:20	11:20	00:03:00	0,05
CRE1891205	Evento	1040940119	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 11:54:06:000000	11:54	11:54	00:02:00	0,03
CRE1891401	Evento	1040929184	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 13:48:27:000000	13:48	13:48	00:03:00	0,05
CRE1891134	Evento	1040929184	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 14:00:18:000000	14:00	14:00	00:03:00	0,05
XK00221294	Evento	1031048648	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 14:44:38:000000	14:44	14:44	00:02:00	0,03
XK00221299	Evento	1031048648	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 14:46:30:000000	14:46	14:46	00:02:00	0,03
XK00221299	Evento	1031048648	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 14:48:38:000000	14:48	14:48	00:02:00	0,03
XK00221306	Evento	1030954072	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-11 07:31:15:000000	7:31	7:31	00:02:00	0,03

Figura 1. Ejemplo de histórico de procesamiento de facturas del Trabajador 1 en el área de verificación – proceso de cuentas médicas.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 1 ilustra los datos históricos que la organización almacena con respecto a los tiempos de procesamiento de las facturas en el área de verificación. Se puede observar en el gráfico el número de factura, haciendo relación al código propio de la factura analizada; tipo de factura, en este caso son facturas tipo evento, cuya característica principal es la denominada factura por valor de servicio prestado, es decir, se prestó el servicio médico, se genera una factura con la descripción de los detalles (servicios) prestados al paciente; código de paquete radicado, el cual describe el conjunto de facturas que llegan como un único grupo al centro donde van a ser procesadas; la sucursal analizada que es en este caso Antioquia, usuario que verifica es el trabajador 1, la persona que está siendo analizada por la organización; fecha de verificación, siendo el periodo en el cual está desempeñando su tarea o labor; Hora de inicio y Hora de fin de verificación establecen el tiempo utilizado por el trabajador analizado para procesar la actividad de verificación por unidad de factura; finalmente se identifica el tiempo

total por unidad de producto, en formato de hora y numérico.

Un primer análisis que se pudo establecer en relación a la determinación de tiempos implementado por el área administrativa es la rigidez de la salida de los datos. Si bien es cierto que la obtención es verídica de acuerdo a la información suministrada con datos reales, en este tipo de información no está siendo considerado elementos que afectan la productividad de los trabajos, siendo conocidos como los suplementos. Estos factores, de acuerdo con Barnes y Ralph (1980) y Mundel (1978), tienen como objetivo obtener un valor

“más “real” del tiempo implementado por un empleado para ejecutar su labor. Lo anterior presenta una relevancia lógica si se analiza que el dato obtenido como diferencia del tiempo de procesamiento analizado puede ser considerado como un dato de tiempo efectivo; sin embargo, en la parte práctica, el trabajador se ve expuesto a detención de la actividad para descansar, ir al baño, entre otros, lo cual afecta el tiempo de procesamiento final”.

Con base en los datos anteriores, el departamento administrativo de la organización determina, en conjunto con los ingenieros pertenecientes al área operativa, los estándares de tiempos “rígidos” mediante los cuales el empleado debe ejecutar la tarea diariamente y establece los indicadores de producción y seguimiento periódico, como puede ser observa en la Figura 2.

Usuario que Verifica	Fecha de Verificación	Hora Inicio Verificación	Hora de Terminación verificación	Tiempo Total/Unidad (Minutos)	Tiempo Total/Unidad (Unidades)	Tiempo Total/Unidad (Minutos)	Minutos/día	Descanso promedio (talmuerzo, tdescanso,	Tiempo Neto	Producción Unidades/día	Indicador de Producción-Area de Verificación
Trabajador 1	2017-01-10 07:27:10:000000	7:27	7:27	00:03:00	0,05	3	480	75	405	135	124,03125
Trabajador 1	2017-01-10 07:31:56:000000	7:31	7:31	00:04:00	0,07	4	480	75	405	101,25	
Trabajador 1	2017-01-10 07:45:53:000000	7:45	7:45	00:03:00	0,05	3	480	75	405	135	
Trabajador 1	2017-01-10 08:27:22:000000	8:27	8:27	00:03:00	0,05	3	480	75	405	135	
Trabajador 1	2017-01-10 08:34:43:000000	8:34	8:34	00:05:00	0,08	5	480	75	405	81	
Trabajador 1	2017-01-10 11:20:24:000000	11:20	11:20	00:03:00	0,05	3	480	75	405	135	
Trabajador 1	2017-01-10 13:48:27:000000	13:48	13:48	00:03:00	0,05	3	480	75	405	135	
Trabajador 1	2017-01-10 14:00:18:000000	14:0	14:0	00:03:00	0,05	3	480	75	405	135	

Figura 2. Ejemplo de cálculo de indicador de producción establecido por el departamento administrativo de la empresa de estudio en el área de verificación – proceso de cuentas médicas.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 2 se puede apreciar el control administrativo y de gestión que la empresa de Salud ejerce sobre cada uno de sus trabajadores en el gerenciamiento de los indicadores de productividad en el área de Verificación. Se puede evidenciar los tiempos de procesamiento (Tiempo total / Unidad) que cada uno de los trabajadores implementa para las facturas verificadas desde su puesto de trabajo. A partir de este dato, se considera el tiempo de operación ideal (Minutos/día) que el trabajador puede laborar en su área de trabajo y se extrae el tipo ocioso (descanso promedio) en el cual el trabajador no ejerce actividades productivas. Finalmente, se establece el tiempo

neto disponible para actividades productivas y la cantidad de tiempo para cada una de ellas, resultando en el valor de producción en unidades/día. Es con este último valor que se determina la producción de la persona por día y se establece, con base a su rendimiento propio, un rendimiento promedio para la actividad ejecutada (Indicador de producción / área). Este valor, finalmente, es promediado con los ritmos de trabajo de los operarios del área analizada para dejar un valor de indicador fijo, siendo en este caso 124,03125 y, de acuerdo a razones administrativas y de gestión, se define que el valor del indicador de producción para determinar el número de unidades/día que debe realizar mínimamente cada uno de los empleados es de 125 unidades/día. El seguimiento analizado anteriormente es administrado continuamente por la organización a partir de gráficos de seguimiento (Figura 3).

Como se ilustra en la figura 3, los trabajadores de la empresa de salud analizada siguen un orden de procesamiento de verificación de factura de manera diaria, de tal forma que se puedan establecer sus indicadores de producción al interior de este periodo. Los resultados, en este caso para el trabajador 1 en el ejemplo, permiten observar en un horizonte de tiempo de 8 días los resultados generados del proceso de verificación de las facturas médicas. Se evidencia como en los días 2 y 5 el trabajador registra indicadores de producción de 101 y 81 unidades / día respectivamente, generando incumplimiento de sus actividades a ejecutar desde los indicadores de producción diarios. Es en estos casos en donde la organización genera un plan de acción de análisis mensual para cada uno de los empleados de verificación, basado en estudio de las causas y subcausas de no cumplimiento de las metas diarias y establece planes de acción para su respectiva corrección y mejora continua.



Figura 3. Diagrama de seguimiento de facturas procesadas / día para el trabajador 1 en el área de verificación – proceso de cuentas médicas.

Fuente: elaboración propia.

Es en esta segunda fase de análisis, a partir de los indicadores establecidos por la organización, se pudieron evidenciar ciertas limitaciones que afectan la productividad tanto del objeto de estudio (individuo) como del puesto de trabajo que es investigado. En primer lugar, la empresa carece de una metodología estadística que le permita extraer una muestra de datos confiable y que pueda seguir un comportamiento normal para su correcto análisis. La carencia de este tipo de factores puede perjudicar la toma de decisiones, ya que existen una alta probabilidad de aleatoriedad de los datos analizados y vulnerabilidad de los resultados obtenidos. En segundo lugar, existe cierta tolerancia de tiempo que debe ser considerado como suplementos, es decir, tiempos de factores externos (por ejemplo, clima, iluminación, ruido, entre otros) como internos (por ejemplo: nivel de concentración, monotonía, entre otros) del puesto de trabajo que influyen en el resultado final del dato estándar de tiempo necesario para la producción analizada. Es en esta fase en donde Lowry, Maynard, y Stegemerten (1940) y Rotroff y Virgil (1959) establecen la importancia de la inserción de los suplementos, ya que estos “influyen directamente en el tiempo de ciclo total, el tiempo de tratamiento y trabajos con maquinaria y tiempo de esfuerzo manual, factores que deben ser considerados en las actividades operativas”. Las actividades de determinación de suplementos para un puesto de trabajo requieren una actividad de estudio de tiempos estándar en un periodo de tiempo determinado y aplicación de los factores porcentuales de suplemento, de acuerdo a los criterios de selección de suplementos, como puede ser observado en la figura 4:

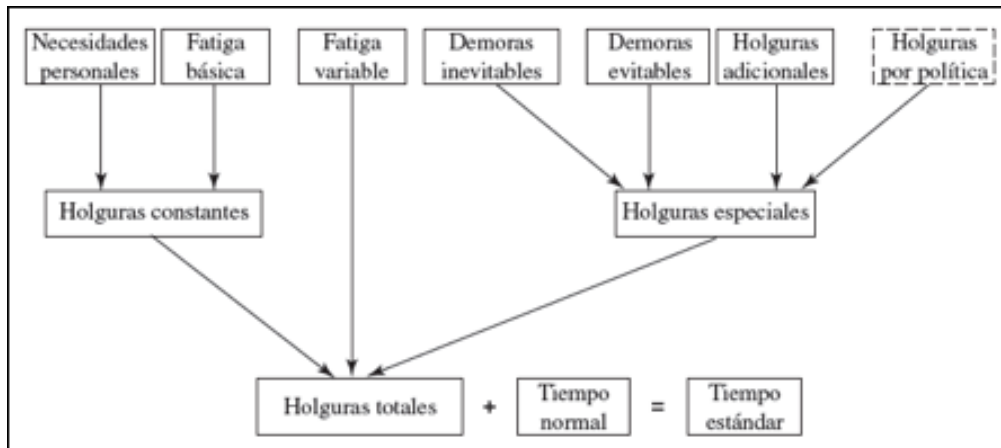


Figura 4. Clasificación de suplementos u holguras en un puesto de trabajo.

Fuente: Niebel y Freivalds (2009).

La figura 4 permite ilustrar la clasificación de suplementos que existen, también conocidos como holguras de tiempos. Se aprecia que existen tres categorías principales: una primera categoría son las holguras constantes, haciendo referencia a aquellos factores de tiempo que se presentan con un nivel de frecuencia en el área de trabajo. En este grupo entran los elementos de tiempo relacionados por necesidades personales y fatiga. Una

segunda categoría son las holguras especiales, siendo estos complementos de tiempo de acuerdo a actividades específicas del trabajo desempeñado por el operario. En este grupo de holguras los elementos de tiempo resultantes de demoras inevitables, demoras evitables, holguras adicionales, holguras por política. Un tercer elemento de holgura es denominado como la fatiga variable, que depende del ritmo de trabajo desempeñado y las condiciones laborales de ejecución de una tarea específica de trabajo. Una vez finalizada la determinación de las holguras, éstas se suman y se consideran como holgura total que debe adicionarse al tiempo normal de trabajo, siendo uno de los desafíos que el área administrativa y financiera de la empresa de estudio debe considerar para justificar el análisis de tiempos determinados en sus indicadores de producción.

Propuesta de valor y determinación de indicadores de producción estándar con base al estudio de tiempos y métodos en el área de verificación de cuentas médicas.

Considerando los elementos metodológicos desarrollados por la empresa de estudio en el cálculo de los tiempos de producción asociados a las actividades de verificación del proceso de cuentas médicas, fueron implementadas propuestas de valor en búsqueda de datos reales y verídicos que permitieran analizar a mayor nivel de detalle los indicadores de producción estándar para cada uno de los trabajadores en el sitio de trabajo, siendo estos los indicadores asociados al tiempo de procesamiento por unidad de factura verificada en un lapso de tiempo determinado. La inclusión de elementos de estudio como valor agregado se presenta a partir de la presente propuesta de investigación, enlistados a continuación:

Identificación de la información de estudio

Un primer elemento que fue realizado en la presente investigación, es la recopilación de los datos necesarios para la extracción de la información pertinente y su posterior estudio. Como resultado de lo anterior, se procede a realizar visitas periódicas en la empresa para identificar los valores necesarios en el respectivo análisis posterior. Un claro ejemplo de los datos recopilados se evidencia en los denominados “sistemas de tiempo predeterminado”, en donde se obtiene la información de acuerdo a los registros en el sistema informático de la empresa en un historio de 1 año de horizonte de tiempo para cada uno de los trabajadores de estudio. Un ejemplo de las informaciones obtenidas puede ser observado en la Figura 5.

Numero de Factura	Tipo de Factura	Cantidad de Detalles	Cantidad de Imágenes	Código Paquete radicado	Tipo de Glosa	Sucursal	Usuario que Verifica	Fecha de Verificación	Hora Inicio Verificación	Hora de Terminación verificación
FV2145134	Evento	1	3	112172667	GI-47923882	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 12:02:31.000000	12:2	12:2
FV2145134	Evento	1	3	112172667	GI-47923882	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 12:03:02.000000	12:3	12:3
117072	Evento	1	3	1131427913		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 10:44:36.000000	10:44	10:44
118574	Evento	13	4	1131427913		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 11:34:03.000000	11:34	11:34
118591	Evento	29	4	1131427913		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 11:37:58.000000	11:37	11:37
118600	Evento	13	4	1131427913		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 11:40:55.000000	11:40	11:40
118611	Evento	12	4	1131427913		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 11:48:42.000000	11:48	11:48
118615	Evento	1	3	1131427913		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 11:54:12.000000	11:54	11:54
118625	Evento	2	3	1131427913		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 11:58:04.000000	11:58	12:58
118625	Evento	27	5	1131427913	GI-47923882	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 12:01:43.000000	12:1	12:1
118634	Evento	20	4	1131427913		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 12:07:35.000000	12:7	12:7
118640	Evento	20	4	1131427913		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 12:15:04.000000	12:15	12:15
118671	Evento	23	4	1131427913		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 14:55:44.000000	14:55	15:55
118707	Evento	24	4	1131427913		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-18 15:39:01.000000	15:39	15:39
ES26219	Evento	1	3	1011139430		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-23 16:05:30.000000	16:5	16:5
ES26222	Evento	2	3	1011139430		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-23 16:06:53.000000	16:6	16:6
ES26234	Evento	4	3	1011139430		ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-23 16:07:46.000000	16:7	16:7
FV2093387	Evento	61	6	1120806344	GI-05923092	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-23 16:10:04.000000	16:10	17:10

Figura 5. Ejemplo de Bases de datos histórico para los trabajadores del área de verificación-proceso de cuentas médicas.
Fuente: elaboración propia.

La figura 5 permite observar un ejemplo de las bases de datos que fueron suministradas por la empresa de salud para su posterior análisis. Al interior de estas bases de datos se puede observar con mayor nivel de detalle la complejidad de cada una de las actividades ejecutadas en cada factura analizada y un claro ejemplo de esto es la cantidad de detalles e imágenes a ser analizadas. En esta investigación se define detalle como cada uno de los servicios prestados por las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS), registrado en la factura procesada; se define como imagen a cada impresión digital de la factura física que entra al sistema de facturación de la empresa. Esto quiere decir que el tiempo dedicado para la respectiva verificación de factura depende directamente de la cantidad de detalles que contiene la misma, así como el número de imágenes que sean procesados en el documento físico. La tarea aumenta el grado de dificultad a medida que la cantidad de detalles aumenta y, por tanto, el tiempo implementado para su respectiva verificación en un proceso de cuentas médicas.

La información obtenida permite extraer los datos históricos de un total de 45 trabajadores de la organización, pertenecientes al área de verificación. De acuerdo con lo anteriormente planteado y considerando lo expuesto por Aberg, Elgstrand, y Lindholm (1968) y Chaffin, Freivalds, y Evans (1987), en los estudios de tiempos se debe definir el “trabajador ideal” a ser estudiado, siendo este como el “trabajador que está completamente capacitado y capaz de realizar satisfactoriamente la tarea”, lo cual significa que el estudio de tiempo sólo es aplicable para personas que cumplan con estas características de trabajo propias dentro del puesto de trabajo de estudio. En la

presente investigación, fueron omitidos estudios de tiempos de personal en proceso de inducción por la falta de conocimiento a plenitud de las tareas desempeñadas; personal con rendimiento de desempeño bajos en su productividad por mes, caracterizadas por presentar un porcentaje de cumplimiento diario de sus actividades inferiores al 70% expuesto como meta mínima por día por la organización y su respectivo seguimiento en el total anual analizado; finalmente fueron omitidos los trabajadores con porcentajes de cumplimiento de indicadores por encima del 90% mensual, debido a su característica elevada de eficiencia y posible intervención en la estandarización del proceso. Se considera entonces en el presente estudio el denominado “trabajador promedio”, es decir, aquella persona que cumple sus labores diariamente, atiende sus metas y al mismo tiempo, es un empleado que se enfoca en su puesto de trabajo, en este caso, en el área operativa de verificación. Como resultado de lo analizado anteriormente, se extrae de los 45 trabajadores iniciales una muestra de 25 trabajadores a ser analizados bajo las condiciones de trabajador ideal expuestas por el estudio de tiempos y métodos.

Depuración y tratamiento inicial de la información de estudio

El segundo paso implementado en la investigación hace referencia a la depuración de datos y tabulación de la información de entrada. Una vez obtenidos los datos iniciales, es fundamental realizar una extracción de la información relevante para el estudio de tiempos y métodos. Una primera actividad realizada es la depuración de los datos, lo cual hace referencia a incluir únicamente la información relevante para el caso de estudio, como es presentado en la figura 6.

La figura 6 ilustra los datos de entrada extraídos para realizar el estudio de tiempos y métodos. Es importante resaltar en esta fase que la base de datos inicial fue conservada en su totalidad para posteriores análisis. Los datos para el análisis incluyen la codificación de cada uno de los productos analizados, el usuario que verifica, siendo este el trabajo objeto de estudio, la fecha en que fue realizada la actividad y los tiempos de inicio y fin determinados. Una vez obtenidos los datos anteriores, se replica el proceso para el total de 25 trabajadores analizados en el proceso de verificación de cuentas médicas.

Con los datos extraídos y configurados para su uso, se inicia la segunda fase, referente al *tratamiento inicial de la información de estudio*, haciendo referencia al respectivo cálculo de los principales indicadores de productividad que guían el estudio para su posterior análisis. Esta fase es presentada en la figura 7.

Numero de facturas	Tipo de Factura	Codigo Paquete radicado	Sucursal	Usuario que Verifica	Fecha de Verificación	Hora Inicio Verificación	Hora de Terminación verificación
FA205932	Evento	1030726431	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 07:27:10:000000	7:27	7:27
663057	Evento	1030952565	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 07:31:56:000000	7:31	7:31
E628575	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 07:45:53:000000	7:45	7:45
E628581	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 07:48:43:000000	7:48	7:48
E628694	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 08:27:22:000000	8:27	8:27
E628698	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 08:30:13:000000	8:30	8:30
E628711	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 08:34:43:000000	8:34	8:34
E628718	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 08:40:34:000000	8:40	8:40
E628722	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 08:42:44:000000	8:42	8:42
E628567	Evento	1031608625	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 08:45:34:000000	8:45	8:45
CRE1092262	Evento	1040940119	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 11:20:24:000000	11:20	11:20
CRE1093205	Evento	1040940119	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 11:54:06:000000	11:54	11:54
CRE1091401	Evento	1040929184	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 13:48:27:000000	13:48	13:48
CRE1092134	Evento	1040929184	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 14:00:18:000000	14:0	14:0
XKO0221294	Evento	1031048648	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 14:44:38:000000	14:44	14:44
XKO0221299	Evento	1031048648	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 14:46:30:000000	14:46	14:46
XKO0221299	Evento	1031048648	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-10 14:48:38:000000	14:48	14:48

figura 6. Depuración de datos para el análisis de tiempos y métodos- Trabajador 1 - área de verificación- proceso de cuentas médicas.
Fuente: elaboración propia.

Numero de factur	Tipo de Factu	Codigo Paquete radicado	Sucursal	Usuario que Verif	Fecha de Verificación	Hora Inicio Verificación	Hora de Terminación verificación	TIEMPO TOTAL	TIEMPO TOTAL (HORAS)	TIEMPO TOTAL (Minutos)	DIA ANUALIZADO
ACB4431	Evento	11610595421	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 13:49:05:000000	13:49	13:49	0.00	0.02	1.00	2017-01-26
ACB4510	Evento	11610595421	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 13:50:29:000000	13:50	13:50	0.00	0.02	1.00	2017-01-26
ACB4636	Evento	11610595421	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 13:51:59:000000	13:51	13:51	0.00	0.03	2.00	2017-01-26
ACB5905	Evento	11611234291	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 13:53:10:000000	13:53	13:53	0.00	0.02	1.00	2017-01-26
SS250862	Evento	11608365461	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 13:54:16:000000	13:54	13:54	0.00	0.02	1.00	2017-01-26
SS251490	Evento	11608365461	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 13:55:23:000000	13:55	13:55	0.00	0.03	2.00	2017-01-26
SS252256	Evento	11608365461	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 13:57:04:000000	13:57	14:57	0.04	1.00	60.00	2017-01-26
SS253211	Evento	11609054441	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 13:58:36:000000	13:58	14:58	0.04	1.00	60.00	2017-01-26
88240	Evento	11208269991	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 13:59:41:000000	13:59	14:59	0.04	1.00	60.00	2017-01-26
882967	Evento	11208269991	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 14:01:00:000000	14:1	14:1	0.00			2017-01-26
SS252403	Evento	11807381791	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 14:02:53:000000	14:1	14:1	0.00	0.02	1.00	2017-01-26
SS252495	Evento	11807381791	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 14:02:48:000000	14:2	14:2	0.00	0.05	3.00	2017-01-26
SS27854	Evento	11211223861	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 14:05:41:000000	14:5	14:5	0.00	0.05	3.00	2017-01-26
SS27948	Evento	11211223861	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 14:08:08:000000	14:8	14:8	0.00	0.07	4.00	2017-01-26
SS27955	Evento	11211223861	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 14:12:40:000000	14:12	14:12	0.01	0.13	8.00	2017-01-26
SS27960	Evento	11211223861	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 14:20:01:000000	14:20	14:20	0.01	0.20	12.00	2017-01-26
SS8387	Evento	11211223861	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 14:32:25:000000	14:32	14:32	0.00	0.10	6.00	2017-01-26
SS8402	Evento	11211223861	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 14:38:45:000000	14:38	14:38	0.00	0.09	5.00	2017-01-26
SS8210	Evento	11211223861	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 14:40:09:000000	14:40	14:40	0.00	0.05	3.00	2017-01-26
SS27879	Evento	11211223861	ANTIOQUIA	Trabajador 1	2017-01-26 14:42:26:000000	14:42	14:42	-0.26			2017-01-26

Figura 7. Tratamiento inicial de la información de estudio- Trabajador 1 - área de verificación- proceso de cuentas médicas.
Fuente: elaboración propia.

En la figura 7 se ilustran los principales indicadores que se deben considerar para el respectivo análisis del estudio de tiempos y métodos. Un primer factor analizado es el Tiempo Total (HORAS), siendo este el tiempo en horas resultante de la diferencia entre los tiempos de fin e inicio para cada una de las facturas analizadas. A seguir, se establece el cálculo de Tiempo Total (MINUTOS), siendo éste el tiempo en minutos del Tiempo Total horas. Se procede a establecer la fecha de cada una de las facturas procesadas, esto con el objetivo de saber cuánto fue el tiempo de trabajo en tiempo total realizado por cada uno de los trabajadores y las respectivas facturas que fueron procesadas. Con el dato anterior ya se puede realizar un primer diagnóstico del tiempo total/día ejecutado por trabajador para la actividad de verificación y comparación con el tiempo disponible para el desarrollo de las actividades.

Tratamiento estadístico de la información de estudio

Con los datos de entrada inicial, se hace relevante en la presente etapa realizar un análisis estadístico con el objetivo de obtener la información real soportada en un nivel estadísticamente confiable (en el presente caso de estudio, nivel de confianza del 95%, margen de error del 5%).

Un primer paso para realizar el tratamiento estadístico de los datos es calcular el tamaño de la muestra de estudio a ser considerada en el análisis. En la presente investigación fue extraída aleatoriamente una muestra de 30 datos/ trabajador, esto con el objetivo de estudiar su nivel de aleatoriedad. Una vez implementado lo anterior, Montgomery y Runger (1994) y Hancock y Walton (1992) establecen que, para estudios de tiempos y métodos, el tamaño de muestra que permita generar un nivel de confianza de 95% y margen de error del 5% está determinando por la siguiente fórmula matemática (fórmula 1):

Ecuación 1.

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n' \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra a calcular

n' = Numero de observaciones del estudio preliminar


X = Valor de las observaciones

Σ = Sumatoria de datos

La ecuación 1 permite establecer la cantidad de datos que se deben considerar para que el estudio de tiempos y métodos por trabajador sea confiable a un 95% de los datos suministrados en la muestra aleatoria y margen de error del 5%. Para el análisis, se extrae como ejemplo en el trabajador 1 los 30 datos aleatorios para su respectivo cálculo de tamaño de muestra, obteniendo los resultados iniciales expuestos en la figura 8.

Usuario	n'	X'	X ²	TAMAÑO MUESTRAL	
Trabajador 1	1	0,672274815	0,451953427	$n = \left(\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2$	
Trabajador 1	2	0,631733333	0,399087004		
Trabajador 1	3	0,631733333	0,399087004		
Trabajador 1	4	0,672274815	0,451953427		
Trabajador 1	5	0,672274815	0,451953427		
Trabajador 1	6	0,811111111	0,657901235		
Trabajador 1	7	0,967324074	0,935715864		
Trabajador 1	8	0,386666667	0,149511111		
Trabajador 1	9	0,672274815	0,451953427		
Trabajador 1	10	0,672274815	0,451953427		
Trabajador 1	11	0,672274815	0,451953427		
Trabajador 1	12	0,241666667	0,058402778		
Trabajador 1	13	0,672274815	0,451953427		
Trabajador 1	14	0,867414469	0,752407861		
Trabajador 1	15	0,275833333	0,076084028		
Trabajador 1	16	0,884722222	0,78273341		
Trabajador 1	17	0,967324074	0,935715864		
Trabajador 1	18	0,672274815	0,451953427		
Trabajador 1	19	0,921111111	0,848445679		
Trabajador 1	20	0,967324074	0,935715864		
Trabajador 1	21	0,967324074	0,935715864		
Trabajador 1	22	1,064444444	1,133041975		
Trabajador 1	23	0,967324074	0,935715864		
Trabajador 1	24	0,967324074	0,935715864		
Trabajador 1	25	0,867414469	0,752407861		
Trabajador 1	26	0,811111111	0,657901235		
Trabajador 1	27	0,672274815	0,451953427		
Trabajador 1	28	0,672274815	0,451953427		
Trabajador 1	29	0,793333333	0,629377778		
Trabajador 1	30	0,672274815	0,451953427		
Σ	30	22,3872630	17,8821718	n	112,6140329

Nivel de Confianza= 95,45 %
Margen de error= ± 5%



Por lo tanto a los 30 datos iniciales se le deben sumar otros 113 datos

Total n	143
---------	------------

Figura 8. Cálculo de tamaño de muestra- Trabajador 1 - área de verificación- proceso de cuentas médicas.
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la Figura 8, se extrajeron 30 datos de tiempo en horas de procesamiento de facturas del trabajador 1, referentes al área de verificación al interior de la empresa de estudio. A partir de esta información, se realiza el cálculo del tamaño de muestra para generar el nivel de confianza deseado y margen de errores asociado. El cálculo de tamaño de muestra es de 113 datos de entrada, es decir, adicional a los 30 datos analizados, se deben generar 113 datos de entrada con características de procesamiento de tiempo similares (intervalo de tiempo asociado), para obtener una muestra total de 143 datos que cumplan con el 95% de nivel de confianza y margen de error de 5%.

Es a partir de esta etapa, que el proceso se replica y realiza para los 25 trabajadores analizados y para la obtención de la información que será considerada dentro de la matriz de estudio, siendo éste el siguiente elemento a ser estudiado.

Elaboración de la matriz de estudio de tiempos y métodos

Uno de los procesos esenciales dentro de este estudio, fue la creación de la matriz de estudio de tiempos y métodos. Una vez fue completado el respectivo estudio y tratamiento estadístico de los datos con la información de entrada, se procede a iniciar el procedimiento de inserción de la matriz. El primer paso realizado es la determinación del tiempo básico de estudio, como puede ser observado en la figura 9.

Descripción detallada del elemento	Nombre del operario	Escala de Valoración	1	2	3	4	5	6	7	8	n	Tiempo Observado (hrs)
			0,017	0,03	0,03	0,03	0,1	0,1	0,07	0,03		
Proceso de verificación-Evento	Trabajador 1	1	0,017	0,03	0,03	0,03	0,1	0,1	0,07	0,03	143	0,055146651

Figura 9. Cálculo de tiempo Observado- Trabajador 1 - área de verificación- proceso de cuentas médicas.

Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se puede ilustrar el registro de los 143 datos (n= tamaño de muestra, trabajador 1) obtenidos como resultado del tratamiento estadístico expuesto en el capítulo anterior. Se tiene una descripción detallada del elemento, siendo este el proceso observado al interior de la parte operativa de verificación del proceso de cuentas médicas de la empresa de estudio; Nombre del operario, haciendo referencia al análisis del rendimiento del trabajo del operador de estudio; la escala de valoración sigue la rúbrica del ritmo de trabajo del operario en su sitio laboral y en el presente caso de estudio, como se está analizando una fuente de datos denominada bases de datos predeterminada, no es posible realizar los cálculos cuantitativos del ritmo de trabajo del operario, ya que la información de su rendimiento se obtiene a partir de registros del software de la empresa y no por observación directa, lo cual dificulta su análisis; en el complemento de esta información, se asume de acuerdo a las literatura de estudio de tiempos y métodos, lo planteado por Mundel (1978) como ritmo de trabajo normal con una escala de valoración de 1; el sistema numérico, comprendido entre el 1-8 en el cálculo de tiempo observado hace referencia a los registros de tiempo/unidad de factura analizados (para efectos de visualización de la matriz, se registran sólo 8 datos muestrales, sin embargo, el tamaño muestral que se evidencia es conocido como n marca un total de 143 datos analizados para justificar el nivel de confianza demandado en el presente estudio y el comportamiento normal de los datos). Finalmente se tiene el tiempo observado, el cual hace referencia al tiempo promedio obtenido del tamaño muestral analizado.

Un segundo análisis, hace referencia a la determinación de los suplementos de la actividad estudiada. Si bien es cierto que el cálculo promedio de los datos puede presentarse

como un valor de referencia en el estudio, Brey (1928) y Garg, Chaffin, y Herrin (1978) resaltan la importancia de asociar proporciones de tiempo adicionales de acuerdo a ciertas características propias de la actividad desempeñada y determinación de criterios de tiempos adicionales como resultado de la tarea desempeñada. A lo anteriormente expuesto, se le conoce como los suplementos en el estudio de tiempos y métodos y es presentado en la Figura 10:

SUPLEMENTOS CONSTANTES					
	Hombres	Mujeres			
1	5	7			
2	4	4			
SUPLEMENTOS VARIABLES					
	Hombres	Mujeres			
3	2	4			
4					
	0	1			
	2	3			
	7	7			
5					
	0	1			
	1	2			
	2	3			
	3	4			
	4	6			
	5	8			
	7	10			
	9	13			
	11	16			
	13	20			
	17	máx			
	22				
6					
	0	0			
	2	2			
	5	5			
			Hombres	Mujeres	
7	Condiciones atmosféricas (calor y humedad variables)		0-10	0-10	
8	Concentración intensa				
	Trabajos de cierta precisión		0	0	
	Trabajo de precisión o fatigosos		2	2	
	Trabajos de gran precisión		5	5	
9	Ruido				
	Continuo		0	0	
	Intermitente y fuerte		2	2	
	Intermitente y muy fuerte		5	5	
	Estridente y fuerte		5	5	
10	Tensión mental				
	Proceso moderadamente complejo		1	1	
	Proceso complejo-atención dividida entre muchos objetos		4	4	
	Muy complejo		8	8	
11	Monotonía				
	Trabajo algo monotonó		0	0	
	Trabajo bastante monotonó		1	1	
	Trabajo muy monotonó		4	4	
12	Tedio				
	Trabajo algo aburrido		0	0	
	trabajo aburrido		2	2	
	trabajo muy aburrido		5	5	

Figura 10. Tabla de suplementos para las actividades laborales empresariales
Fuente: Organización Internacional del Trabajo (OIT, 1998)

La figura 10 ilustra doce principales categorías que deben tenerse en cuenta para el cálculo de los suplementos en el puesto del trabajo, siendo estas: necesidades personales, base por fatiga, por trabajar de pie, por postura anormal, uso de la fuerza o de la energía muscular, mala iluminación, condiciones atmosféricas, concentración intensa, ruido, tensión mental, monotonía y tedio. Las categorías expuestas anteriormente deben ser analizadas, inicialmente de acuerdo al género en el cual se está evaluando el operario (mujer o hombre), de acuerdo a las condiciones propias del puesto del trabajo, es decir, cómo influye cada una de las categorías presentadas en el puesto del trabajo analizado; finalmente se establece un valor numérico para cada una de ellas, el cual debe ser evaluado entre las partes: una primera parte el representante de los funcionarios al interior de la empresa (jefes, coordinadores, sindicato, entre otros) y en la segunda parte, el representante administrativo

de la organización, en donde deben llegar a un consenso para determinar cuál es el valor ideal a establecer, de puntuación de cada categoría en el valor final, a ser considerado para el tiempo estándar en el estudio de tiempos y métodos.

Para complementar la información de suplementos, se expone un ejemplo del análisis realizado para el operario 1 (Figura 11). En el caso de la factura tipo evento, objeto de trabajo del empleado analizado; se realizó la reunión entre cada uno de los representantes de las partes y el operario para analizar las condiciones en las cuales se desempeña actualmente la actividad (género femenino). De acuerdo con lo anterior, se llega a un acuerdo y se presenta la siguiente asignación porcentual de tiempos de suplementos en las siguientes categorías: En la categoría 1 (necesidades personales) se le asignan 7 puntos porcentuales, debido a que este tipo de suplemento se presenta como un elemento constante, tomando el valor máximo a ser considerado dentro del análisis; lo mismo ocurre en la categoría 2 (base por fatiga) en donde se le asigna la proporción máxima. Se presenta una asignación de 3 puntos en el caso de la categoría 4 (por postura anormal) haciendo referencia a una postura incomoda, evidenciada en las condiciones del puesto de trabajo, específicamente la falta de ergonomía en la silla en donde desempeña sus labores; se asigna una puntuación de 4 unidades en la categoría 10 (tensión mental) y obedece a la subcategoría de proceso complejo-atención dividida entre muchos objetos, debido a que el operario debe distribuir al interior de su puesto de trabajo no sólo la revisión de la factura de análisis, también debe sincronizar el sistema en donde se tramita, orden de las facturas, registro en el sistema de la empresa, entre otras actividades, lo cual tiene un nivel de tensión medio. Finalmente, en la categoría 11 (Monotonía) se presenta una puntuación de 1 unidad, haciendo referencia a trabajo algo monótono.

VERIFICACIÓN													
ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
Capita	7	4	0	3	0	0	0	0	0	4	1	0	19
Evento	7	4	0	3	0	0	0	0	0	4	1	0	19
Subfactura	7	4	0	3	1	0	0	0	0	8	1	0	24

MATRIZ DE ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS-APUSALUD S.A.													
Estudio	Código	Código del prod.	Nombre del prod.	Elaborado por:	Orden N°	Cliente							
02_Verificación		02_L_Capita	movimiento-proceso cuentas médicas	Ing. Gustavo Araque Ing. Juan David Lachame	1	APUSALUD S.A.							
Número del estudio	Fecha:	Tipo de cronometraje		Aprobador por:									
1	13/07/2017	Acumulativo	Vuelta a cero	Carlo Echeverri									

Ventana de tiempo			unidad										
PROMEDIO	MIN (hrs)	MAX (hrs)	N Act	Descripción detallada del elemento	Nombre del operario	Escala de Valoración			Tiempo Observado	Tiempo Básico	Suplemento %C		
0.023396	0.07669867	0.05	1	Proceso de verificación-capita		1	0	0	1	307	0.02339648	0.023396	1.19

Figura 11. Calculo de suplementos para el proceso de Verificación- Trabajador 1.
Fuente: elaboración propia.

Una vez expuesto lo anterior, se realiza la sumatoria total de las unidades otorgadas a las categorías anteriormente mencionadas y se establece el suplemento a ser considerado dentro del tiempo observado en la figura 9. En el caso de estudio, la figura 11 ilustra la adicción del 19% sobre el total de tiempo observado en la actividad de verificación para el trabajador analizado, como resultado del diagnóstico de las condiciones externas e internas de trabajo.

Con base en lo mencionado y una vez calculados los suplementos necesarios, se puede determinar en este momento el tiempo estándar de la actividad ejecutada por el trabajador 1 en el proceso de verificación de facturas, en el proceso de cuentas médicas de la organización. Para el cálculo de tiempo estándar, Krajewski (2000) establece la siguiente formulación matemática (ecuación 2) y se puede observar en la Figura 12:

$$\text{Tiempo Estándar} = \text{Tiempo Observado} * \text{Suplemento} \quad (2)$$

Descripción detallada del elemento	Nombre del operario	Escala de Valoración	1	2	3	4	5	6	7	8	n	Tiempo Observado (hrs)	Suplementos %	TIEMPO ESTANDAR (hrs)/Unidad
			0,017	0,03	0,03	0,03	0,1	0,1	0,07	0,03				
Proceso de verificación-Evento	Trabajador 1	1	0,017	0,03	0,03	0,03	0,1	0,1	0,07	0,03	143	0,055146651	1,19	0,065624514

Figura 12. Cálculo de tiempo Estándar- Trabajador 1 - área de verificación- proceso de cuentas médicas.
Fuente: elaboración propia.

Una vez completado el estudio para el primer trabajador, este se replica bajo la misma metodología para los 25 trabajadores pertenecientes al área de verificación al interior del proceso de cuentas médicas de la compañía. En esta etapa es importante resaltar que las condiciones que afectan el rendimiento en el trabajo, tanto internas como externas, varían de acuerdo a la localización espacial de los puestos de cada uno de los colaboradores al interior de verificación, razón por la cual existe una alta probabilidad de que el cálculo de los suplementos varíe en función de cada una de las personas y su área laboral. Una vez realizado el procedimiento de estudio de tiempos y métodos para el total de trabajadores en el área de verificación, se obtiene el cálculo del rendimiento promedio del área de verificación, y es en esta etapa en donde se entra a realizar el análisis de los resultados para los colaboradores de verificación de los tres tipos de facturas (cápita, evento y subfactura) en comparación con los indicadores propuestos inicialmente por la organización. Lo mencionado anteriormente es presentado en el siguiente capítulo.

Presentación de resultados y análisis de indicadores de producción

Con las etapas de extracción de la información, tratamiento estadístico de los datos y realización de la matriz de tiempos y métodos concluidas, a seguir, se presentan los resultados obtenidos de la presente investigación. Un primer resultado obtenido fue el desempeño

de cada uno de los operarios del área de verificación en el proceso de cuentas médicas de la empresa analizada, en donde se analiza su indicador de desempeño en comparación con el indicador planteado por la organización para el cumplimiento de la meta diaria. Lo mencionado anteriormente se observa en la Figura 13:

Etiquetas de fila	RENDIMIENTO/ DIA (ESTUDIO DE TIEMPOS)	META /DIA	%
Proceso de Verificación-Evento	3360	3125	108%
Trabajador 1	143	125	114%
Trabajador 2	164	125	131%
Trabajador 3	150	125	120%
Trabajador 4	152	125	122%
Trabajador 5	158	125	126%
Trabajador 6	112	125	90%
Trabajador 7	145	125	116%
Trabajador 8	167	125	133%
Trabajador 9	95	125	76%
Trabajador 10	149	125	119%
Trabajador 11	139	125	111%
Trabajador 12	178	125	142%
Trabajador 13	88	125	70%
Trabajador 14	157	125	125%
Trabajador 15	152	125	121%
Trabajador 16	150	125	120%
Trabajador 17	110	125	88%
Trabajador 18	105	125	84%
Trabajador 19	113	125	90%
Trabajador 20	102	125	82%
Trabajador 21	166	125	133%
Trabajador 22	98	125	78%
Trabajador 23	114	125	91%
Trabajador 24	116	125	93%
Trabajador 25	139	125	111%

Figura 13. Rendimientos de procesamiento de facturas/día a partir del indicador administrativo - área de verificación- proceso de cuentas médicas.

Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se muestran los resultados de rendimiento de procesamiento de facturas por día para cada uno de los trabajadores del área de verificación. Se aprecia el rendimiento promedio de procesamiento de facturas por día (Rendimiento/día de estudio de tiempos), identificándose el alto cumplimiento de cada uno de los trabajadores al interior de la organización en el área analizada, en un intervalo de 70% hasta un 140%. El hecho de identificar a partir de la presente investigación, datos de eficiencia que superan los 40 puntos porcentuales adicionales a la tarea a ser ejecutada por día, nos lleva a replantearnos diferentes cuestionamientos, pero el principal de ellos fue ¿Realmente el indicador de desempeño determinado por la organización le permite trabajar bajo estándares de competitividad en

el sector de salud donde desarrolla sus actividades? Y la respuesta a este cuestionamiento es no. En la actualidad, este indicador empresarial de meta de facturas por día (Meta/día = 125 unidades) no sigue una estructura metodológica adecuada que permita y aumente la competencia del área de verificación. Cuando se presentan indicadores de desempeño organizacionales que atienden la meta gerencial y no la meta del departamento propio, se entra en la zona de esfuerzo compartido, en donde los más fuertes o personas con alto rendimiento al interior de las áreas, acaban por realizar el esfuerzo por lograr los objetivos del área de verificación. Se pudo identificar que este tipo de personas se convierten en los puntos de referencia de la empresa y les es asignado mayor volumen de responsabilidades al interior de los departamentos, presentando una falta de equilibrio entre el total de las personas responsables por dicho proceso. Por otro lado, cuando se identifican los puntos de referencia al interior de un departamento, los trabajadores de bajo desempeño se convierten en puntos ocultos, desvinculando el mérito del desarrollo de sus actividades lo cual conlleva a una falta de interés mismo y sentido de pertenencia en crecimiento profesional.

Para solucionar la situación planteada anteriormente, se realiza la propuesta formal de identificar el desempeño del total de los trabajadores, considerando los niveles de rendimiento de cada uno de ellos como un dato muestral necesario para el re-cálculo del rendimiento ideal a partir del área de verificación estudiada (Ver figura 14). A partir de lo anterior, se promedian los datos de los rendimientos del total de empleados de dicha área y se procede a tomar el nuevo valor de referencia como indicador de producción de la empresa en el área operativa de verificación, llamado Rendimiento Ideal. Una vez definido el nuevo indicador, procede a evaluarse el rendimiento del total de los trabajadores en base a este nuevo dato de referencia, en donde se evidencia el no cumplimiento de la meta a partir del nuevo dato de un 52% de la nómina de este departamento. Es en esta etapa en donde el cuerpo administrativo de la organización debe tomar las decisiones para mejorar los indicadores de desempeño de sus trabajadores y se pueden trabajar diferentes tipos de estrategias, como, por ejemplo: capacitaciones periódicas, en donde el trabajador se actualice sobre los procedimientos, normas, técnicas de procesamiento, análisis de facturas, métodos de trabajo eficientes, rotación de personal entre áreas. Si bien es cierto que se tomó como punto de referencia para el presente análisis los trabajadores que procesaban facturas tipo evento, existen dos categorías adicionales: cápita y subfacturas, en donde podría localizarse este trabajador si presenta datos óptimo de rendimiento de la actividad una vez se haya realizado un estudio de tiempos y métodos con estos dos objetos de estudio planteados; mejora de las condiciones de trabajo actuales: la identificación de factores que afectan el rendimiento del tiempo de procesamiento de facturas por cada uno de los empleados se presenta como una oportunidad de mejora, en donde se pueda determinar cuáles son los factores de trabajo que pudiesen omitir los suplementos constantes y variables de su actividad laboral y generar un plan de acción en pro de ir minimizando estos datos porcentuales al interior del tiempo analizado.

Finalmente, una observación importante que debe establecerse para que el dato del indicador pueda ser alcanzable por los trabajadores de la empresa, es su medición en un horizonte de tiempo mínimo de 12 meses con revisión periódica mensual. Esto, con el objetivo de controlar y mejorar el desarrollo del procesamiento de las facturas. Esta revisión

periódica debe conllevar el análisis constante del puesto de trabajo de cada una de las personas y el nivel de influencia de los factores externos e internos que generan como resultado la fluctuación constante del tiempo estándar de procesamiento de facturas por mes.

Etiquetas de fila	RENDIMIENTO/ DIA (ESTUDIO DE TIEMPOS)	META/DIA	%	RENDIMIENTO IDEAL	Indicador de mejoramiento
Proceso de Verificación-Evento	3360	3125	⇒ 108%	144	
Trabajador 1	143	125	⇒ 114%		NO CUMPLE
Trabajador 2	164	125	↑ 131%		CUMPLE
Trabajador 3	150	125	⇒ 120%		CUMPLE
Trabajador 4	152	125	↑ 122%		CUMPLE
Trabajador 5	158	125	↑ 126%		CUMPLE
Trabajador 6	112	125	⇒ 90%		NO CUMPLE
Trabajador 7	145	125	⇒ 116%		CUMPLE
Trabajador 8	167	125	↑ 133%		CUMPLE
Trabajador 9	95	125	⇒ 76%		NO CUMPLE
Trabajador 10	149	125	⇒ 119%		CUMPLE
Trabajador 11	139	125	⇒ 111%		NO CUMPLE
Trabajador 12	178	125	↑ 142%		CUMPLE
Trabajador 13	88	125	⇒ 70%		NO CUMPLE
Trabajador 14	157	125	↑ 125%		CUMPLE
Trabajador 15	152	125	↑ 121%		CUMPLE
Trabajador 16	150	125	⇒ 120%		CUMPLE
Trabajador 17	110	125	⇒ 88%		NO CUMPLE
Trabajador 18	105	125	⇒ 84%		NO CUMPLE
Trabajador 19	113	125	⇒ 90%		NO CUMPLE
Trabajador 20	102	125	⇒ 82%		NO CUMPLE
Trabajador 21	166	125	↑ 133%		CUMPLE
Trabajador 22	98	125	⇒ 78%		NO CUMPLE
Trabajador 23	114	125	⇒ 91%		NO CUMPLE
Trabajador 24	116	125	⇒ 93%		NO CUMPLE
Trabajador 25	139	125	⇒ 111%		NO CUMPLE

Figura 14. Rendimientos de procesamiento de facturas/día a partir del indicador de rendimiento ideal - área de verificación- proceso de cuentas médicas.

Fuente: elaboración propia.

Cabe anotar que el rendimiento de las actividades operativas se debe entender dentro de la organización como una oportunidad de crecimiento y mejora organizacional, razón por la cual es importante generar un nivel de competencia sana al interior de cada departamento, con menciones de honor para los empleados más eficientes, reconocimientos mensuales, abonos de horas mensuales, entre otras estrategias que permitan la evolución y desarrollo de los niveles de productividad organizacional.

CONCLUSIONES

El análisis de puestos de trabajo a partir de un estudio detallado de tiempo y movimientos, permite a la organización conocer a mayor nivel de detalle el desempeño de cada uno de los trabajadores de la empresa de salud estudiada. Un estudio de tiempos basado en sistemas de tiempo predeterminado (bases de datos) permite trabajar bajo tamaños muestrales confiables y obtener resultados.

Es importante dentro del estudio de tiempos y movimientos, un análisis situacional del trabajador, es decir, un trabajo en donde el empleado desarrolle sus actividades bajo un rol

de trabajo específico y por un periodo de tiempo determinado, en búsqueda de la obtención de los tiempos asociados a la tarea que está siendo analizada.

Para un correcto análisis de estudio de tiempos y movimientos es necesario un balance de trabajo y equidad de carga laboral., en búsqueda de un comparativo justificado. Se encontraron evidencias de desbalance de cargas laborales por lo cual se sugiere iniciar un proceso de reasignación de cargas equitativas en las diferentes áreas de trabajo.

El estudio de tiempos y métodos se presenta como una oportunidad de mejora de los procesos organizacionales al interior de las empresas del sector salud. El trabajo sincrónico interinstitucional del Sector Empresarial- Sector académico permite el desarrollo de nuevas e interesantes metodologías de mejora de desempeño y aumento de la eficiencia de las operaciones actuales de las compañías, y a su vez el desarrollo de éstas en el sector en el cual compiten.

REFERENCIAS

Aberg, V., Elgstrand, P., y Lindholm, A. (1968). Analysis of Components and Prediction of Energy Expenditure in Manual Tasks. *The International Journal of Production Research*, 189-196.

Barnes, R., y Ralph, M. (1980). *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*. John Wiley y Sons, 34-67.

Brey, E. (1928). Fatigue Research in Its Relation to Time Study Practice. *Proceedings, Time Study Conference*, 280-288.

Chaffin, D., Freivalds, A., y Evans, R. (1987). On the Validity of an Isometric Biomechanical Model of Worker Strengths. *IIE Transactions*, 280-288.

Garg, A., Chaffin, G., y Herrin, D. (1978). Prediction of Metabolic Rates for Manual Materials Handling Jobs. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 661-674.

Hancock, M., y Walton, A. (1992). The Learning Curve. *Handbook of Industrial Engineering*, 661-674.

Krajewski, L. (2000). *Administración de Operaciones, estrategia y análisis*. Person Education, 34-76.

Lowry, S., Maynard, B., y Stegemerten, G. (1940). *Time and Motion Study and Formulas for Wage incentive*. New York: McGraw-Hill.

Montgomery, D., y Runger, G. (1994). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Nueva York: John Wiley y Sons.

Mundel, M. (1978). *Motion and Time Study: Improving Productivity*. Nueva Jersey: Englewood Cliffs, NJ -Prentice Hall.

Niebel, B., y Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: Mc Graw Hill.

Organización Internacional del Trabajo. (1998). *Introducción al estudio del trabajo*. Organización Internacional del Trabajo, 25-588.

Rotroff, A. y Virgil, H. (1959). *Work Measurement*. Reinhold Publishing, 34-59.

Shingo, S. (1981). *Study of Toyota Production System*. Tokyo: Japan Management Assoc.

Taguchi, G. (1986). *Introduction to Quality Engineering*. Tokio: Asian Productivity Organization.



ACHIOTE: UNA ALTERNATIVA PARA LA AGROINDUSTRIA COLOMBIANA

Laura Isabel Bedoya Corrales¹
David Alberto García Arango²
Gustavo Andrés Araque González³
Dany Esteban Gallego Quiceno⁴
César Felipe Henao-Villa⁵

-
1. Ingeniera Mecánica, Magister en Ingeniería Agroindustrial. Docente de la Corporación Universitaria Americana. Correo electrónico: libedoya@americana.edu.co
 2. Docente-Investigador del grupo AGLAIA - Corporación Universitaria Americana. Licenciado en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia, Magíster en Matemáticas Aplicadas de la Universidad EAFIT. Doctorando en Educación de la Universidad Nacional de Rosario – Argentina. Correo electrónico de contacto: dagarcia@coruniamericana.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0031-4275>
 3. Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería de Producción. docente investigador de la Corporación Universitaria Americana. correo electrónico: garaque@americana.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8627-8924>.
 4. Doctorando en Ciencias de la Educación, Universidad Simón Bolívar. Máster Oficial en Investigación en la Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas. Universidad Internacional de Andalucía. Vicerrector académico de la Corporación Universitaria Americana. Correo electrónico: dgallego@coruniamericana.edu.co. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2939-2154>
 5. Docente-Investigador del grupo AGLAIA - Corporación Universitaria Americana. Ingeniero de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, magíster en entornos virtuales de aprendizaje. Correo electrónico: chenao@coruniamericana.edu.co . ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7426-2589>

Resumen

La tendencia por el uso de ingredientes naturales en la industria, ha llevado a la investigación e implementación de colorantes naturales como es el caso del achiote. Dentro de los colorantes naturales, el achiote es el segundo en importancia económica, por lo que se convierte de gran interés para la agroindustria. Este capítulo presenta una mirada hacia la alternativa de producción agroindustrial del achiote en Colombia, a partir de una revisión de las tecnologías aplicadas en la cadena productiva, el mercado y la producción actual en Colombia, como una oportunidad viable que permita contribuir con la demanda industrial del colorante y los beneficios socioeconómicos que puede traer a la región colombiana.

Palabras clave: Achiote, agroindustria, colorante natural, cadena productiva.

ANNATTO: AN ALTERNATIVE FOR COLOMBIAN AGROINDUSTRY

Abstract

The trend for the use of natural ingredients in the industry has led to the research and implementation of natural dyes such as annatto. Among the natural colorants, the annatto is the second most economically important, therefore it becomes of great interest to the agroindustry. This work presents a sight to the alternative agro-industrial production of annatto in Colombia, based on a review of the applied technologies in the productive chain, the market and current production in Colombia, as a viable opportunity to contribute to the demand dye industry and the socioeconomic benefits it can bring to the Colombian region.

Key words: annatto, agroindustry, natural dye, productive chain.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el interés de los consumidores por alimentos más sanos, ha venido introduciendo a la industria en el uso de productos naturales, que permitan sustituir materias primas sintéticas, este es el caso particular de los colorantes (Carocho, Morales, y Ferreira, 2015; Panchal, Sapkal, Padhiar, y Deshmukh, 2015). El achiote es un colorante natural extraído del pericarpio de las semillas de *Bixa Orellana* (achiote), su principal componente son los carotenoides, donde se destacan la bixina y norbixina (Gallardo y Rojas, 2015). Estos carotenoides se han estudiado y especificado, especialmente en su composición química y bioquímica. Del total del pigmento alojado en el pericarpio, el 80% lo compone la bixina, la cual puede variar dependiendo de las condiciones ambientales y la zona en la que se encuentre el cultivo (Pineda, Calderón, y Saldarriaga, 2003).

El árbol de achiote es nativo de la zona tropical como Centroamérica y Suramérica, sin embargo, también puede encontrarse en África y Asia. Las semillas de achiote son ampliamente cultivadas en varios países tropicales tales como Bolivia, Ecuador, Jamaica, Colombia, Brasil y Perú, estos dos últimos son los principales productores en el ámbito mundial. El achiote (*Bixa Orellana*) es utilizado como especia y sazonzador en la cocina tradicional Suramericana, generalmente se venden como mezcla con otros ingredientes, para ser agregados en sopas y carnes (Smith, 2006). Adicionalmente, su carotenoide reemplaza el colorante artificial Amarillo #5, convirtiéndose en el colorante natural más utilizado en la industria alimenticia (Albuquerque y Meireles, 2011; Bouvier, Dogbo, y Camara, 2003; Siva, Doss, Kundu, Satyanarayana, y Kumar, 2010).

La comercialización de las semillas deshidratadas de achiote es altamente demandada, donde el achiote extraído de estas es el segundo en importancia económica dentro de los colorantes naturales luego del azafrán (*Crocus sativus*), y su código de color es el 160B

dentro del codex alimentarios (Duke, 2002; Yolmeh, Habibi Najafi, y Farhoosh, 2014). Se estima una producción mundial de semilla seca de 14.500 Ton al año, de las cuales 7.000 Ton son consumidas por los productores y lo restante es exportado (Girdhar y Parimalan, 2010).

Las variables de procesamiento de la semilla, así como el estado de madurez del fruto, influyen en las condiciones de calidad del producto final, las cuales pueden ser controladas y optimizadas mediante la investigación, que permita determinar las mejores combinaciones para maximizar los atributos de calidad del colorante, concentrando componentes de gran interés para la industria como la bixina y adecuando la materia prima para la posterior extracción sólido-líquido del colorante. En este capítulo se hace una revisión al achiote como fruto, su composición, su producción y mercado en Colombia, así como el procesamiento y aplicaciones en la industria a través de la investigación, como una alternativa de cultivo y transformación aplicable en la agricultura colombiana.

Botánica del achiote

El árbol de achiote es un arbusto de crecimiento rápido, el cual alcanza de cuatro a seis metros de altura, de aspecto frondoso y flores llamativas, las cuales pueden ser blancas o rosadas según sea la variedad. El achiote es utilizado principalmente para la extracción de colorante, el cual se encuentra alojado en la parte externa de la semilla. Los frutos pueden ser de color amarillo verdoso, pardo o rojizo, los cuales contienen en su interior de 10 a 50 semillas, siendo generalmente de color rojo anaranjado, usualmente suaves, pero duras y quebradizas cuando se encuentran secas. Tienen un olor dulce característico y un sabor salado amargo, están cubiertas en el pericarpio por una capa en la cual se aloja la bixina, la cual constituye la sustancia colorante (Albuquerque y Meireles, 2011; Taham, Silva, y Barrozo, 2016) (Figura 1).

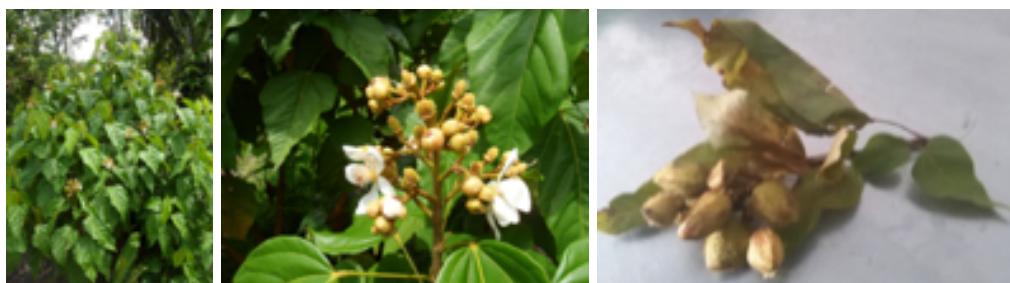


Figura 1. Árbol, floración y frutos de achiote
Fuente propia: los autores

Botánicamente se tiene la siguiente clasificación:

- **Subdivisión:** Angiosperma
- **Clase:** Dicotiledóneas
- **Orden:** Parietales
- **Familia:** Bixáceas § Género: Bixa
- **Especies:** B. Orellana Linneo, B. Sphaerocarpa Triana, B. Urucurana Willd, B. Purpurea Hort.

El colorante

El carotenoide bixina es el mayor compuesto colorante presente en las semillas de achiote, encontrándose naturalmente como cis-bixina o α -bixina (Moraes, Zabot, y Meireles, 2015). Este compuesto es soluble en aceite, el cual compone el 80% del peso del pericarpio, el 20% restante es compuesto por trans-bixina y cis-norbixina, así como otros apo-carotenoides y compuestos volátiles solubles en agua alcalina (Shahid-ul-Islam, Rather, Shahid, Khan, y Mohammad, 2014; Yolmeh et al., 2014).

La bixina fue aislada por primera vez por Boussingault en 1825, su fórmula molecular ($C_{25}H_{30}O_4$) fue establecida por Heiduschka y Panzer en 1917. La bixina es un diapocarotenoide, e históricamente fue el primer carotenoide en el cual se encontró un isomerismo geométrico. Según sus estructuras características, la bixina y norbixina se clasifican como carotenoides derivados llamados apocarotenoides, pero desde el punto de vista químico estructural (Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.), se encuentran bajo la categoría de “Cromóforos con sistemas conjugados” (Anantharaman et al., 2016; Giridhar, Venugopalan, y Parimalan, 2014).

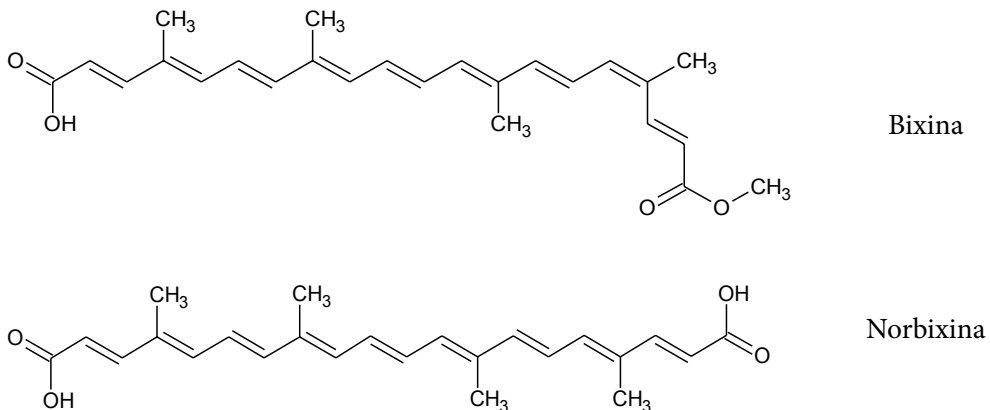


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..

Estructura química de la bixina y la norbixina

Fuente: Kim et al., 2016

El número C.A.S. otorgado a la semilla de achiote es el 1393-63-1, mientras que para sus colorantes son: 39937-23-0 para trans-bixina, 39937-79-5 para cis-bixina, 542-40-5 para trans-norbixina y 626-76-6 para cis-norbixina.

Aunque los carotenoides por naturaleza son inestables, en la aplicación, la bixina y la norbixina exhiben mayor estabilidad (Chisté et al., 2011), sin embargo se ha reportado que la iluminación directa tiene un efecto degradante especialmente sobre la bixina, debido a que es un sintetizador natural (Barbosa, Borsarelli, y Mercadante, 2005; De Sousa Lobato et al., 2013; Mejía-Escobar y Jaramillo, 2015; Najar, Bobbio, y Bobbio, 1988), aunque también presentan gran inestabilidad en presencia de oxígeno, debido a que es un efectivo extintor de oxígeno singlete y similar a otros carotenoides, ambas presentan estabilidad en presencia de calor durante el procesamiento de alimentos (Dwivedi y Pillai, 2014; Montenegro, Nazareno, Durantini, y Borsarelli, 2007; Montenegro, Rios, Mercadante, Nazareno, y Borsarelli, 2004).

La cis-bixina, constituye el 80% del pigmento en solución, susceptible a degradación, la cual está relacionada con el tiempo de exposición a altas temperaturas durante la extracción. También, la cis-bixina es soluble en la mayoría de solventes orgánicos polares, pero es insoluble en aceite vegetal. Es por esto que debe de ser transformada en trans-isómeros, por su inestabilidad cuando se aísla en soluciones, en la cual el color predominante es el amarillo. La trans-bixina es un isómero más estable que tiene propiedades similares al cis-isómero, pero exhibe un color rojo en la solución y es soluble en aceite vegetal (Smith, 2006).} contenido de colorante estandarizado. La bixina es utilizada en la industria alimenticia por diferentes sectores, como en la producción de margarina, mantequilla, queso, yogurt, embutidos, helado, bebidas y dulces (Giridhar et al., 2014; T. J. Smith, Li, y Drake, 2014); así como en la industria médica y farmacéutica para tratamiento de cáncer (Rios, Antunes, y Bianchi, 2009; Souza et al., 2016), remedios para la fiebre, reducción de los niveles de colesterol y triglicéridos (Albuquerque y Meireles, 2011; Xu y Kong, 2017); y en la industria cosmética para labiales, esmaltes, champú, acondicionador y tinturas para el cabello (Alves, de Souza, de Arruda Guelli Ulson de Souza, y Jauregi, 2006; Swati et al., 2013).

De acuerdo al tipo de aplicación industrial y si el colorante debe ser soluble en agua o en aceite, se formulan y comercializan soluciones, suspensiones, emulsiones y polvos, con un contenido de colorante estandarizado. La bixina es utilizada en la industria alimenticia por diferentes sectores, como en la producción de margarina, mantequilla, queso, yogurt, embutidos, helado, bebidas y dulces (Giridhar et al., 2014; T. J. Smith, Li, y Drake, 2014); así como en la industria médica y farmacéutica para tratamiento de cáncer (Rios, Antunes, y Bianchi, 2009; Souza et al., 2016), remedios para la fiebre, reducción de los niveles de colesterol y triglicéridos (Albuquerque y Meireles, 2011; Xu y Kong, 2017); y en la industria cosmética para labiales, esmaltes, champú, acondicionador y tinturas para el cabello (Alves, de Souza, de Arruda Guelli Ulson de Souza, y Jauregi, 2006; Swati et al., 2013).

Producción y mercado del Achiote en Colombia

El cultivo de achiote en Colombia es una alternativa emergente que de la mano de las políticas de fortalecimiento social y restitución de tierras degradadas por minería ilegal, va

tomando fuerza como un producto viable para el sustento económico de las comunidades rurales (Agencia de los EE.UU. para el Desarrollo Internacional, 2015).

Según Agronet, para el año 2014 la producción fue de 480,3 toneladas de achiote en 414 hectáreas sembradas en ese mismo año, con tendencia al aumento del cultivo según las estadísticas desde el 2007. Adicionalmente, en el 2014 el departamento de Chocó aportó con el 61,9% de la producción nacional. En la Figura 3 se observa el área cosechada y la producción de achiote en Colombia hasta el año 2014. Otros investigadores reportan para Latinoamérica, una producción de 2,6 toneladas de achiote en 1111 plantas por hectárea (Bonilla-Murillo, 2009).

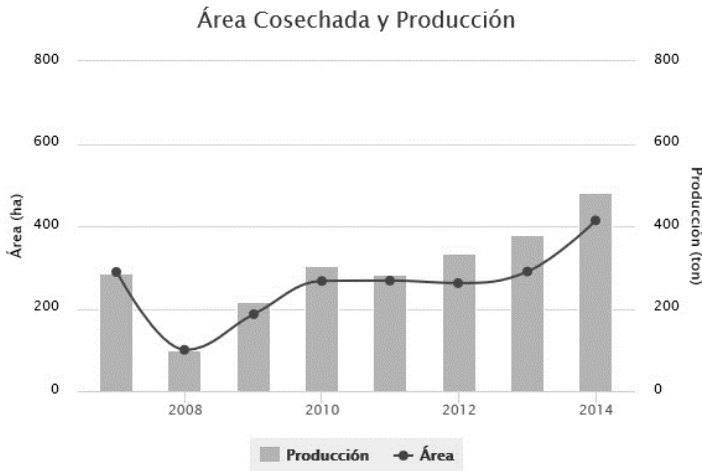


Figura 3. Área cosechada y producción de achiote en Colombia
Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2014.

En la cadena productiva colombiana del achiote se distinguen tres líneas (Agencia de los EE.UU. para el Desarrollo Internacional, 2015), las cuales se presentan a continuación:

- **Producción de materia prima y abastecimiento de centrales de acopio:** Se compone del cultivo, su administración y aprovechamiento de la cosecha, para su posterior transporte a los centros de acopio locales (Figura 4).

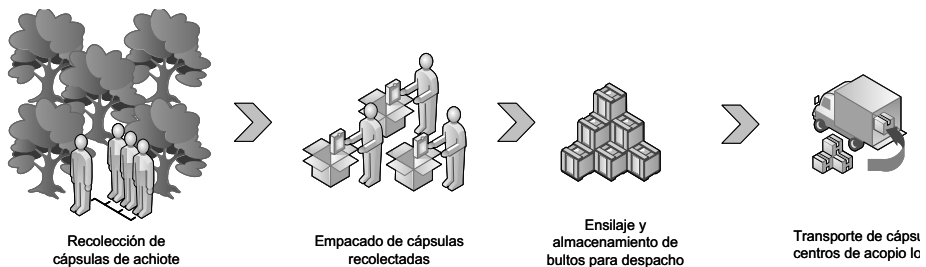


Figura 4. Línea de producción de materia prima y abastecimiento de centrales de acopio
Fuente: Elaboración propia.

- **Post-cosecha y transformación primaria:** Compra y recepción de materia prima, selección de materia prima apta para procesar y secado de la cápsula (Figura 5).

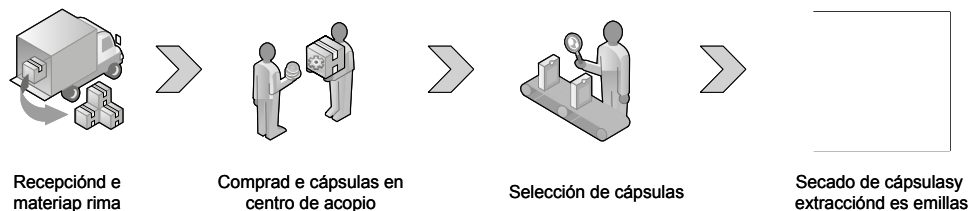


Figura 5. Línea de post-cosecha y transformación primaria del achiote

Fuente: Elaboración propia.

- **Extracción, transformación final y comercialización nacional e internacional:** Extracción del carotenoide para la formulación de diversos productos como pasta, polvo y colorante líquido. Acceso al mercado (Figura 6).

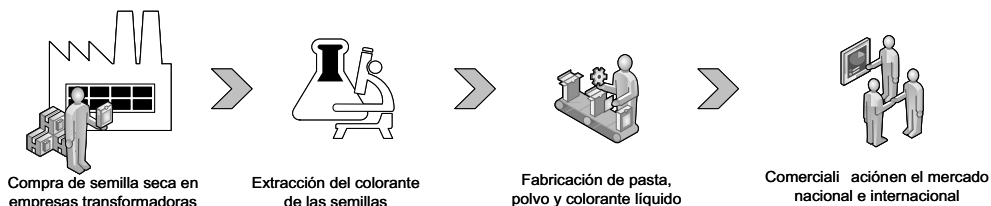


Figura 6. Línea de transformación final y comercialización (Fuente propia)

Fuente: elaboración propia.

El rango de precios en el mercado de las semillas por kilogramo, puede variar entre \$5.445 y \$11.605. Las semillas con un contenido de bixina inferior a 2,7%, se consideran de baja concentración en pigmento y difícilmente tienen valor en el mercado internacional (Giridhar y Parimalan, 2010).

Investigación en procesamiento de achiote en el mundo

El achiote ha sido ampliamente estudiado, especialmente en la extracción de los colorantes bixina y norbixina debido a su alto valor comercial, sin embargo, en Colombia, la cadena productiva del achiote sigue siendo estrictamente artesanal.

El proceso comienza en la recepción de la materia prima fresca, las semillas de achiote deben de secarse ya sea para almacenamiento o para continuar con la extracción del colorante. Las semillas secas son remojadas en soluciones alcalinas, las más utilizadas son hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH) (Pineda et al., 2003; Sinha, Chowdhury, Saha, y Datta, 2013), posteriormente se agitan para remover la mayor cantidad de colorante; la solución coloreada se precipita usualmente con ácido sulfúrico (H₂SO₄) y la semilla agotada

se descarta. A continuación el colorante se filtra a vacío y se extrae, formándose una pasta acuosa la cual debe de ser secada para estabilizarse microbiológicamente y posteriormente comercializarse (Li et al., 2017; Pineda et al., 2003). En la Figura se muestra el diagrama de proceso del colorante de achiote conocido comercialmente como achiote (Figura 7).

El perfil de la bixina durante la producción del cultivo ha sido estudiado (Giridhar, Mahendranath, Venugopalan, y Ravishankar, 2012), así como la composición química de las semillas y sus colorantes, estabilidad térmica y química (da Silva et al., 2009; Dias, Pilla, Alves, Oliveira, y Munin, 2011; Giridhar y Parimalan, 2010; Santos et al., 2014).

Convencionalmente los procesos de extracción de bixina se realizan utilizando solventes orgánicos o soluciones alcalinas, generando desperdicios tóxicos contaminantes al medio ambiente.

Se han estudiado otras metodologías como la extracción por lecho fijo, utilizando CO₂ supercrítico, etanol y una mezcla de etanol y agua, comparándose con extracciones convencionales de cloroformo y agua. Los mejores resultados se obtuvieron utilizando etanol a presión atmosférica y realizando un proceso secuencial de CO₂ supercrítico como pretratamiento, seguido de etanol (Taham, Cabral, y Barrozo, 2015).

Taham et al. (2016) investigó la extracción mecánica de la bixina como una alternativa ecológica para la obtención del colorante, utilizando un secador de lecho fijo de chorro, obteniendo bixina en polvo con una pureza del 65%, que aunque no es muy alta, puede ser atractiva comercialmente, mientras que Barrozo, Santos, y Cunha (2013) obtuvieron un máximo de 48% de bixina pura utilizando un secador de lecho fluidizado fijo.

También se han utilizado técnicas de extracción líquida presurizada y extracción líquida a baja presión, como medio de recuperación para extraer la bixina remanente en las semillas, luego de haber sido sometidas a extracción por fluidos supercríticos, obteniéndose resultados significativos en el porcentaje de bixina extraída a bajas presiones (Rodrigues,

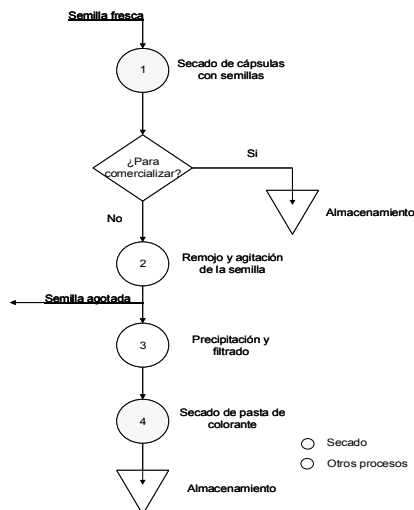


Figura 7. Diagrama de proceso para la extracción del colorante de achiote
Fuente: elaboración propia.

Alcázar-Alay, Petenate, y Meireles, 2014).

La estabilización de las emulsiones de bixina en base oleosa utilizando ultrasonido han sido estudiadas (Silva, Gomes, Hubinger, Lopes, y Meireles, 2015), al igual que la estabilidad del colorante en extractos acuosos (Gallardo-Cabrera y Rojas-Barahona, 2015).

Satyanarayana, Rao y Rao (2010), relacionaron las coordenadas de color L^* (luminosidad), a^* (+rojos, -verde) y b^* (+amarillo, -azul), con la concentración de bixina y norbixina en extractos acuosos y oleosos, observando una disminución de los parámetros a^* y b^* cuando su concentración disminuía y un aumento a mayor concentración.

Aunque el extracto de achiote se ha utilizado generalmente en la industria alimenticia (Albuquerque y Meireles, 2011), también se han investigado y utilizado en otras matrices, como lápiz labial para la industria cosmética (Panchal et al., 2015; Remya, Vashum, y Sivasankar, 2013; Swati et al., 2013), como aditivo en concentrados animales (da Silva et al., 2009), como fuente de vitamina A y erradicador de radicales libres para la industria farmacéutica (Rivera-Madrid, Aguilar-Espinosa, Cárdenas-Conejo, y Garza-Caligaris, 2016).

Si bien el secado por convección forzada de las semillas de achiote ha sido ampliamente estudiado (da Costa-Santos, de Meló Queiroz, Feitosa de Figueirêdo, y Alves de Oliveira, 2013; Faria y Rocha, 2000; D. Santos, Queiroz, Figueirêdo, y Oliveira, 2012), se observa un vacío tecnológico en el uso de secadores de última generación, como son los modificadores atmosféricos y de ciclo cerrado, para la deshidratación de semillas, que permitan maximizar sus atributos de calidad.

CONCLUSIÓN

El achiote ha sido un fruto ampliamente estudiado, y aunque en materia de investigación se han desarrollado técnicas que permiten una mejor extracción del colorante e integración a otras matrices alimentarias y no alimentarias, existe una brecha tecnológica en el procesamiento a escala industrial, innovando en procesos más eficientes que permitan el aprovechamiento integral del fruto. El colorante proveniente del achiote se le ha atribuido gran cantidad de bondades y usos en diferentes sectores de la industria, y teniendo en cuenta la zona de producción del cultivo, Colombia es una gran opción para producirlo y procesarlo.

Se identifica una oportunidad de mejora en la productividad del cultivo, evidenciada en la producción actual reportada en Colombia, comparada con la alcanzada en otros países de Latinoamérica, superando este índice de rendimiento por hectárea, se mejoraría el portafolio de oportunidades en mercados mejor remunerados a nivel mundial.

REFERENCIAS

Agencia de los EE.UU. para el Desarrollo Internacional. (2015). Plan de Negocios Achiote (Bixa orellana).

Albuquerque, C., y Meireles, M. (2011). Trends in annatto agroindustry: Bixin processing technologies and market. *Recent Patents on Engineering*, 5(2), 94–102.

Alves, R. W., de Souza, A. A. U., de Arruda Guelli Ulson de Souza, S. M., y Jauregi, P. (2006). Recovery of norbixin from a raw extraction solution of annatto pigments using colloidal gas aphrons (CGAs). *Separation and Purification Technology*, 48(2), 208–213.

Anantharaman, A., Hemachandran, H., Priya, R. R., Sankari, M., Gopalakrishnan, M., Palanisami, N., y Siva, R. (2014). Inhibitory effect of apocarotenoids on the activity of tyrosinase: Multi-spectroscopic and docking studies. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 121(1), 13–20.

Barbosa, M.I.M.J., Borsarelli, C. D., y Mercadante, A. Z. (2005). Light stability of spray-dried bixin encapsulated with different edible polysaccharide preparations. *Food Research International*, 38(8 - 9), 989–994.

Barrozo, M., Santos, K. G., y Cunha, F. G. (2013). Mechanical extraction of natural dye extract from *Bixa orellana* seeds in spouted bed. *Industrial Crops and Products*, 45, 279–282.

Bonilla-Murillo, J. C. (2009). Manual del cultivo del achiote. Centro Nacional de Tecnología agropecuaria y forestal.

Bouvier, F., Dogbo, O., y Camara, B. (2003). Biosynthesis of the food and cosmetic plant pigment bixin (Annatto). *Science*, 300, 2089–2091.

Carocho, M., Morales, P., y Ferreira, I. C. F. R. (2015). Natural food additives: Quo vadis? *Trends in Food Science and Technology*, 45(2), 284–295.

Chisté, R. C., Mercadante, A. Z., Gomes, A., Fernandes, E., Lima, J. L., y Bragagnolo, N. (2011). In vitro scavenging capacity of annatto seed extracts against reactive oxygen and nitrogen species. *Food Chemistry*, 127(2), 419–426.

da Costa-Santos, D., de Meló Queiroz, A. J., Feitosa de Figueirêdo, R. M., y Alves de Oliveira, E. N. (2013). Mathematical modeling for the annatto (*Bixa orellana* L.) seed drying process. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73(3), 320–326.

da Silva, M. G., de Carvalho, P. R., da Rocha, P. E., Nogueira, P. R., Bittencourt, K. M., y Celeste, R. C. (2009). Potential of annatto in agroindustries and animal feed: Fragrance, flavor, taste and color of *Bixa orellana* L. Derivatives. *Journal of Applied Sciences Research*, 5(12), 2482–2488.

De Sousa Lobato, K. B., Paese, K., Forgearini, J. C., Guterres, S. S., Jablonski, A., y De Oliveira Rios, A. (2013). Characterisation and stability evaluation of bixin nanocapsules. *Food Chemistry*, 141(4), 3906–3912.

Dias, V. M., Pilla, V., Alves, L. P., Oliveira, H. P. M., y Munin, E. (2011). Optical characterization in annatto and commercial colorific. *Journal of Fluorescence*, 21(1), 415–421.

Duke, J. A. (2002). *Handbook of Medicinal Spices* (2nd ed.). CRC Press.

Dwivedi, A. H., y Pillai, S. G. (2014). Photosensitized Reactions : an Important Route of Reaction in Photochemistry. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 2(2), 1–4.

Faria, L. J. G., y Rocha, S. C. S. (2000). Optimization of annatto (*Bixa orellana* L.) drying infixed bed. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 17(4–7), 483–496.

Gallardo, C., y Rojas, A. (2015). Stability study of an aqueous formulation of the annatto dye. *International Food Research Journal*, 22(5), 2149–2154.

Giridhar, P., Mahendranath, G., Venugopalan, A., y Ravishankar, G. A. (2012). Enhanced yield of food colourant annatto from seeds of *Bixa orellana* L.: The efficacy of polyamines floral spray. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*, 82(4), 553–556.

Giridhar, P., y Parimalan, R. (2010). A biotechnological perspective towards improvement of annatto color production for value addition - the influence of biotic elicitors. *Asia-Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*, 18(1), 75–77.

Giridhar, P., Venugopalan, A., y Parimalan, R. (2014). A Review on Annatto Dye Extraction, Analysis and Processing – A Food Technology Perspective. *Journal of Scientific Research y Reports*, 3(2), 327–348.

Kim, S., Thiessen, P. A., Bolton, E. E., Chen, J., Fu, G., Gindulyte, A., Bryant, S. H. (2016). PubChem substance and compound databases. *Nucleic Acids Research*, 44(D1), D1202–D1213.

Li, Y. H., Qi, Y. R., Wu, Z. F., Wang, Y. Q., Wang, X. C., Wang, F., y Yang, M. (2017). Comparative study of microwave-vacuum and vacuum drying on the drying characteristics, dissolution, physicochemical properties, and antioxidant capacity of *Scutellaria* extract powder. *Powder Technology*, 317, 430–437.

Mejía-Escobar, M. A., y Jaramillo, F. (2015). Natural Dyes Extraction, Stability and Application to Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Renewable Materials*, 3(4), 281–291.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2014). Producción de Achiote en Colombia, 2010 -2013. Recuperado de www.agronet.gov.co

Montenegro, M. A., Nazareno, M. A., Durantini, E. N., y Borsarelli, C. D. (2007). Singlet Molecular Oxygen Quenching Ability of Carotenoids in a Reverse-micelle Membrane Mimetic System. *Photochemistry and Photobiology*, 75(4), 353–361.

Montenegro, M. A., Rios, A. de O., Mercadante, A. Z., Nazareno, M. A., y Borsarelli, C. D. (2004). Model Studies on the Photosensitized Isomerization of Bixin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(2), 367–373.

Moraes, M. N., Zobot, G. L., y Meireles, M. A. (2015). Extraction of tocotrienols from annatto seeds by a pseudo continuously operated SFE process integrated with low- pressure solvent extraction for bixin production. *The Journal of Supercritical Fluids*, 96, 262–271.

Najar, S. V., Bobbio, F. O., y Bobbio, P. A. (1988). Effects of light, air, anti-oxidants and pro-oxidants on annatto extracts (*Bixa orellana*). *Food Chemistry*, 29(4), 283–289.

Panchal, C., Sapkal, E., Padhiar, J., y Deshmukh, S. (2015). Formulation and evaluation of lip jelly by replacing synthetic colorants with colorants extracted from *bixa orellana* seeds. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 6(2), 37–41.

Pineda, J., Calderón, D., y Saldarriaga, L. (2003). Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote (*Bixa orellana*). *Revista Universidad EAFIT*, 39(131), 8–22.

Remya, M., Vashum, N., y Sivasankar, S. (2013). Preparation and evaluation of natural lipsticks from *Bixa orellana* seeds. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 4(1), 81–90.

Rios, A., Antunes, L., y Bianchi, M. de L. (2009). Bixin and lycopene modulation of free radical generation induced by cisplatin-DNA interaction. *Food Chemistry*, 113(4), 1113–1118.

Rivera-Madrid, R., Aguilar-Espinosa, M., Cárdenas-Conejo, Y., y Garza-Caligaris, L. E. (2016). Carotenoid Derivates in Achiote (*Bixa orellana*) Seeds: Synthesis and Health Promoting Properties. *Frontiers in Plant Science*, 7(September), 1–7.

Rodrigues, L. M., Alcázar-Alay, S. C., Petenate, A. J., y Meireles, M. A. A. (2014). Bixin extraction from defatted annatto seeds. *Comptes Rendus Chimie*, 17(3), 268–283.

Santos, D., Queiroz, A., Figueirêdo, R., y Oliveira, E. (2012). Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum Drying kinetics of residual grain flour of annatto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 17, 223–231.

Santos, L. F., Dias, V. M., Pilla, V., Andrade, A. A., Alves, L. P., Munin, E., Zilio, S. C. (2014). Spectroscopic and photothermal characterization of annatto: Applications in functional foods. *Dyes and Pigments*, 110, 72–79.

Satyanarayana, A., Rao, P. P., y Rao, D. G. (2010). Influence of source and quality on the color characteristics of annatto dyes and formulations. *LWT - Food Science and Technology*, 43(9), 1456–1460.

Shahid-ul-Islam, Rather, L. J., Shahid, M., Khan, M. A., y Mohammad, F. (2014). Study the effect of ammonia post-treatment on color characteristics of annatto-dyed textile substrate using reflectance spectrophotometry. *Industrial Crops and Products*, 59, 337–342.

Silva, E., Gomes, M., Hubinger, M., Lopes, R., y Meireles, A. (2015). Ultrasound-assisted formation of annatto seed oil emulsions stabilized by biopolymers. *Food Hydrocolloids*, 47, 1–13.

Sinha, K., Chowdhury, S., Saha, P. Das, y Datta, S. (2013). Modeling of microwave-assisted extraction of natural dye from seeds of *Bixa orellana* (Annatto) using response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN). *Industrial Crops and Products*, 41(1), 165–171.

Siva, R., Doss, F. P., Kundu, K., Satyanarayana, V. S. V., y Kumar, V. (2010). Molecular characterization of bixin - An important industrial product. *Industrial Crops and Products*, 32(1), 48–53.

Smith, J. (2006). *Annatto Extracts: Chemical and Technical Assessment*. FAO (Vol. 1).

Smith, T. J., Li, X. E., y Drake, M. A. (2014). Short communication: Norbixin and bixin partitioning in Cheddar cheese and whey. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3321–3327.

Souza, L. F., Pagno, H. C., da Medeiros, N. S., Barbosa, S., dos Santos, P. C., Rios, A., de Jong, E. V. (2016). The effect of the carotenoid bixin and annatto seeds on hematological markers and nephrotoxicity in rats subjected to chronic treatment with cisplatin. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 26, 446–450.

Swati, D., Manisha, S., Sonia, S., Kanade Pawankumar, M., Dhiraj, P., y Ganesh, N. (2013). Formulation and evaluation of natural lipsticks prepared from *Bixa orellana* seeds and *Beta vulgaris* root extract and their comparative study. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5(Suppl.4), 68–70.

Taham, T., Cabral, F. A., y Barrozo, M. A. (2015). Extraction of bixin from annatto seeds using combined technologies. *Journal of Supercritical Fluids*, 100, 175–183.

Taham, T., Silva, D. O., y Barrozo, M. A. (2016). Improvement of bixin extraction from annatto seeds using a screen-topped spouted bed. *Separation and Purification Technology*,

158, 313–321.

Xu, Z., y Kong, X.-Q. (2017). Bixin ameliorates high fat diet-induced cardiac injury in mice through inflammation and oxidative stress suppression. *Biomedicine y Pharmacotherapy*, 89, 991–1004.

Yolmeh, M., Habibi N., M. B., y Farhoosh, R. (2014). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of natural pigment from annatto seeds by response surface methodology (RSM). *Food Chemistry*, 155, 319–324.



RESIDUOS AGROINDUSTRIALES: APLICACIONES DE LA INGENIERÍA PARA LA GENERACIÓN DE VALORES AGREGADOS¹

Oscar Alfonso Vega Castro²

Edwin Alberto Arcila³

Juan Camilo Osorio Arias⁴

Yudy Stella Duarte Correa⁵

Faber Alexander Gómez Narváez⁶

-
1. Capítulo de libro resultado de una revisión de literatura sobre valoración de residuos agroindustriales.
 2. Ingeniero Agrícola, Msc. Tecnología de Alimentos. Doctor en Ingeniería. Docente investigador de la Corporación Universitaria Americana, correo electrónico: oavega@americana.edu.co. Orcid: 0000-0003-3517-9760
 3. Ingeniero de Alimentos, Msc Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Universidad de Antioquia, correo electrónico: edwinarcila09@gmail.com.
 4. Ingeniero de Alimentos, Estudiante de Doctorado en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Universidad de Antioquia, correo electrónico: juan.osorioa@udea.edu.co. Orcid:0000-0002-2653-2481
 5. Ingeniera de Alimentos, Estudiante de Doctorado en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Universidad de Antioquia, correo electrónico: yudy.duarte@udea.edu.co. Orcid:0000-0001-9908-2007
 6. Ingeniero de Alimentos, Estudiante de Doctorado en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Universidad de Antioquia, correo electrónico: faver.gomez@udea.edu.co Orcid: 0000-0001-9800-8147

Resumen

Actualmente en el mundo, existe una gran generación de residuos agroindustriales, siendo lo anterior una problemática ambiental; dicha problemática está asociada a factores tales como: falta de cumplimiento de los parámetros de calidad, perdidas por postcosecha, y la generación de subproductos tales como cascara y semillas, como resultado del procesamiento industrial de alimentos. Dado lo anterior, se hace importante buscar estrategias para valorar los residuos agroindustriales, para lo cual la ingeniería ha desarrollado procesos como los: biotecnológicos, extracción, secado, entre otros; obteniendo: biopolímeros, combustibles tales como el hidrogeno, antioxidantes, fibras, colorantes, ácidos grasos, entre otros; las anteriores con aplicaciones en la industria de medicina, farmacia, alimentos y química. Se concluye que existen diferentes procesos de ingeniería, que pueden contribuir al desarrollo de nuevos productos y servicios partiendo de residuos agroindustriales, generado así un impacto positivo a nivel ambiental e industrial.

Palabras clave: residuos agroindustriales, secado convectivo, secado spray, compuestos bioactivos.

AGROINDUSTRIAL RESIDUES: ENGINEERING APPLICATIONS FOR THE GENERATION OF ADDED VALUES

Abstract

Currently in the world, there is a large generation of agroindustrial waste, being the above, an environmental problem; this problem is associated to factors such as: lack of compliance with quality parameters, lost by post-harvest, and the generation of by-products such as peels and seeds, as a result of industrial food processing. Given the above, it is important to seek for strategies to generate added value to value agroindustrial waste, for which engineering has developed processes such as: biotechnology, extraction, drying, etc; obtaining: biopolymers, fuels such as hydrogen, antioxidants, fibers, natural colorants, fatty acids among others; the previous ones with applications in the medicine, pharmacy, food and chemical industries. It is concluded that there are different engineering processes to obtain value added products, which can contribute to the development of new products and services starting from agroindustrial waste, generated a positive impact in the environmental and industrial area.

Key words: agroindustrial residues, convective drying, spray drying, bioactive compounds.

INTRODUCCIÓN

Inicialmente se describirán algunas definiciones básicas alrededor del concepto de residuos, residuos agroindustriales, además de describir algunas de las aplicaciones que desde la ingeniería se tienen para valorizarlos, para finalmente abordar la importancia de los procesos de secado convectivo y spray, tienen para la valoración y transformación de los residuos agroindustriales. Como hipótesis general, será posible que los procesos de secado convectivo y spray, son tecnologías aptas para la valoración y transformación de residuos agroindustriales.

Actualmente, en el mundo existe una alta disponibilidad de alimentos, sin embargo, por razones tales como: falta de calidad, imperfecciones en el producto, alimentos no consumidos, o alimentos no procesados se generan grandes cantidades de toneladas de residuos. Estas cantidades han generado un problema ambiental y de costos. El problema es ambiental por que toda esta cantidad de alimentos, muchas veces no son dispuestos de la mejor manera, algunos son arrojados a fuentes de agua, aumentando la DBO y DQO de las aguas, además de generar lixiviados en el suelo, malos olores, sin dejar de lado el crecimiento de vectores roedores los cuales son transmisores de enfermedades a los seres humanos. Por otro lado, el problema es de costos, debido a que las empresas deben de pagar altos precios a las empresas de aseo por cada kilogramo de residuo agroindustrial generado.

Dado lo anterior, se han desarrollado diferentes tecnologías para la transformación y valoración de residuos agroindustriales, dentro de las que se encuentran la digestión aeróbica y anaeróbica, incineración, electrodiálisis, fermentación en estado sólido, secado convectivo spray, lumbricultura y compostaje. Además de los residuos agroindustriales, se pueden obtener fibras, compuestos bioactivos, colorantes, extractos naturales, y por procesos biotecnológicos se pueden fabricar biopolímeros tales como los polihidroxialcanoato, los cuales son susceptibles de aplicar en ramas de la bioingeniería o biomedicina.

El objetivo del presente documento, es mostrar algunas definiciones de residuos agroindustriales, además de mostrar algunos valores de generación de los mismos en los ámbitos mundial, nacional y local; asimismo, se describirán algunas tecnologías para la valoración de residuos agroindustriales y los principales valores agregados que se obtienen de cada una de ellas. Finalmente, se definirán los procesos de secado convectivo y secado spray, mostrando las diferentes aplicaciones y valores que con estas se pueden obtener.

Definiciones y generación de residuos

Residuo: se define residuo como cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse (Moreno y Moral, 2008). Otra definición la da la NTC 5720 (2009), un residuo es cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentra en estado sólido o semisólido, líquido o gas contenido en recipientes o depósitos resultante del consumo o uso de un bien en la actividad industrial, que el generador descarta, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Diferentes autores como Moreno y Moral (2008), NTC 5720 (2009), Barradas (2009) y Saval (2012), clasifican los residuos como inorgánico, orgánicos, urbanos, domiciliarios y agroindustriales, a continuación, se darán algunas definiciones para cada uno de estos.

Residuos agroindustriales

La agroindustria se refiere a la sub-serie de actividades de manufacturación, mediante las cuales se elaboran materias primas y productos intermedios derivados del sector agrícola. La agroindustria significa así, la transformación de productos procedentes de la agricultura, la actividad forestal y la pesca. Por ende, los residuos que se generan a partir de esta transformación se consideran residuos agroindustriales (FAO, 1997).

En general los Residuos Agroindustriales, son materiales en estado sólido o líquido, que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial o social. Teniendo en cuenta que la materia orgánica es su principal componente, en la práctica se les denomina “residuos orgánicos”, materias primas provenientes de la Agroindustria (FAO, 1997).

Residuos orgánicos o biodegradables.

Se refiere a todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales; tienen la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente de forma aerobia o anaerobia (de 3 semanas a 4 meses), como por ejemplo los restos de comida, frutas, verduras, cáscaras, huevos, carne, entre otros, transformándose en otro tipo de materia orgánica (Sztern y Pravia, 1999).

Generación de residuos.

Para finales del siglo XX e inicios del XXI, se generaban aproximadamente, 0.68 billones de Ton de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) por año, que equivalían a 0.64 Kg/día/persona; actualmente se estima la generación de RSU en 1.3 billones de T al año, es decir, 1.2 Kg/día/persona, lo anterior equivale aproximadamente a un incremento de un 53%, en la generación de RSU en el ámbito mundial, en la última década. Se espera que para el 2025, se generen 1.42 Kg por persona al día, lo que se traduce en 2.2 billones de toneladas de RSU (Hoornweg y Bhada, 2012).

Del 100% de los residuos generados mundialmente, el 46% son orgánicos, el 17% corresponde a papel, un 10% es plástico, vidrio y metales con un 5% y 4% respectivamente, y el 18% restante corresponde a otros residuos (Hoornweg y Bhada, 2012).

Para el caso colombiano, en la última década se han generado aproximadamente 30.886 T diarias de residuos, de las cuales 28.580 T (92,54% de la producción nacional) se disponen en sistemas de relleno sanitario o plantas integrales de tratamiento de residuos sólidos y 2.305 T (7,46% de la producción total) en sitios inadecuados (botaderos a cielo abierto, quema, cuerpos de agua y enterramientos). El Departamento de Antioquia cuenta con 125 municipios, los cuales producen en promedio 4.807 T/día. Medellín, la capital del departamento genera aproximadamente 1.392 T/día de residuos sólidos (Forero y Ochoa, 2009).

Según las estadísticas del Ministerio de Agricultura en el 2009, a escala nacional, Antioquia reportó una producción de 59.061 T que representan un 30% en la producción total por departamentos. En relación con la producción de las empresas agroindustriales en el ámbito local (Medellín y el Sur del Valle de Aburrá), la cantidad total de residuos generados está alrededor de 1,2 T/día, donde los desechos de naranja y guayaba son los que tiene la mayor participación (Restrepo *et al.*, 2011). Unos de los residuos más representativos que se producen en la ciudad de Medellín son los que provienen de naranja, guayaba, guanábana y mango (Restrepo *et al.*, 2012).

Según Inter Aseo S.A., E.S.P el total de residuos de frutas del sector agroindustrial que esta empresa recoge es de 27 T/día en el Sur del Valle del Aburra y 136 T/día en Medellín, es decir, 163 T/día (Yepes *et al.* 2008). Además, en el año 2002 sólo en Medellín existían aproximadamente 212 T/día de residuos de frutas que recogía Empresas Varias de Medellín (Yepes *et al.* 2008). En la Tabla 1, se muestran las cantidades diarias de residuos generados por algunas empresas del sector agroindustrial.

Los 1.129 municipios de Colombia producen en promedio 28.800 T de residuos sólidos por día. Aproximadamente el 35%, o 10.000 T/día de estos residuos se generan en Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla, mientras que las ciudades medianas y pequeñas municipios generan el restante 65%, o 18.800 T/día. Se estima que una gran parte de estos residuos, se eliminan inadecuadamente en botaderos a cielo abierto, cuerpos de agua y otras zonas ecológicamente insostenibles (World Bank,2009).

Tabla 1. *Residuos generados por empresas agroindustriales en Medellín y el sur del Valle de Aburra, Colombia.*

Empresa	Fruta	Total, de residuos (Kg/día)
1	Guayaba, piña	3,3
2	Tomate de árbol, mango, papaya, sandía, durazno, pera, uchuva, melón, manzana, guayaba	1000
3	Maracuyá, mango, piña, guayaba	8000
4	Naranja, guayaba	1233
5	Mango, lulo, guanábana, guayaba, curuba, papaya, piña	2000
6	Guayaba	1200
7	Guanábana, mango, maracuyá, guayaba, tomate de árbol.	133
8	Guayaba, limón, papaya, piña, sandía	150
9	Maracuyá, naranja, mandarina, mango, lulo, guanábana	133
10	Varios	200
11	Guanábana, mango, lulo, maracuyá, tomate de árbol, piña.	27
12	Guanábana, mango, maracuyá, tomate de árbol, piña, mandarina, lulo	90

Fuente: Yepes et al., (2008).

En la Tabla 2, se muestran la generación perca pita de residuos sólidos por regiones hasta el año 2010 en Colombia, según informes realizados por el Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana de la Salud (BID, 2010). Así mismo, en la Tabla 3, se indican los porcentajes de disposición por población de los residuos en el país hasta el año 2010.

Tabla 2. *Generación per cápita de residuos sólidos por regiones (Kg/día/persona)*

Tipos de residuo	Región 1	Región 2	Región 3
Residuos sólidos domiciliarios	0,46	0,57	0,41
Residuos sólidos urbanos	0,55	0,64	0,54
Total	1,01	1,21	0,95

Región 1: Amazonas, Arauca, Guainía, Guaviare, Vaupés, Vichada, Caquetá, Casanare, Cauca, Chocó y Putumayo. - Región 2: Antioquia, Boyacá, Caldas, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Huila, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima, Valle del Cauca, Archipiélago de San Andrés, Atlántico y Bogotá DC. - Región 3: Meta, Nariño, Bolívar, La Guajira, Magdalena y Sucre.

Fuente: BID (2010).

Tabla 3. *Porcentaje de disposición final de residuos por regiones del país.*

Formas de disposición	Región 1	Región 2	Región 3
Relleno sanitario	31,9	91,2	60,8
Vertedero controlado	0,00	2,50	13,8
Vertedero a cielo abierto	63,5	6,30	17,7
Quema a cielo abierto	4,60	0,00	5,60
Otras formas*	0,00	0,00	2,10

Región 1: Amazonas, Arauca, Guainía, Guaviare, Vaupés, Vichada, Caquetá, Casanare, Cauca, Chocó y Putumayo. - Región 2: Antioquia, Boyacá, Caldas, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Huila, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima, Valle del Cauca, Archipiélago de San Andrés, Atlántico y Bogotá DC. -Región 3: Meta, Nariño, Bolívar, La Guajira, Magdalena y Sucre. - *(cuerpos de agua, alimentos de animales).

Fuente: BID (2010).

Propiedades y valores agregados obtenidos de residuos agroindustriales.

Propiedades de los residuos agroindustriales.

Con respecto a las propiedades de los residuos agroindustriales, se reportan propiedades físicas, tecnológicas y proximales; en ese sentido Duarte *et al.* (2016), encontró que el contenido de proteínas, cenizas, y fibra de una cascara de maracuyá en promedio fueron de 4.8, 7.5 y 63 g/100 g de muestra seca. Para el caso de las cascara de piña, se determinó que el contenido de carbohidratos, grasas y humedad fueron de 27, 0.21 y 70.0 g/100 g de muestra húmeda; además, con el fin de verificar el posible uso en procesos fermentativos, como materia prima que supliera algunos minerales que las diferente bacterias requirieran, se logró cuantificar los contenido de Magnesio, Potasio y Zinc en $1.89 \frac{mg Mg}{Kg}$, $26 \frac{mg K}{Kg}$ y $298 \frac{mg Zn}{Kg}$, los valores anteriores dados por Vega-Castro *et al.* (2016).

También, se han determinado propiedades físicas de productos en polvo; en ese sentido se ha podido determinar la humedad y la densidad de una base espumante en polvo, obtenida por procesos de secado spray del lactosuero. Estas propiedades oscilaron entre 1.69 a 2.14 g/100 g de muestra y de 0.155 a 0.181 g/cm³, respectivamente. Además, se pudieron establecer dos modelos matemáticos para estas variables, en términos de las condiciones de secado: Temperatura y concentración del surfactante; dichos modelos se pueden ver en la ecuación 2 y 3, para la humedad y densidad respectivamente (Osorio *et al.*, 2014).

$$M = -9.5 + 0.12 \times T + 0.94 \times C - 0.003 \times T^2 - 0.0011 \times TC - 0.16 \times C^2 \quad (2).$$

$$D = 0.49 - 0.0038 \times T + 0.012 \times C + 0.000012 \times T^2 - 0.00027 \times TC + 0.0088 \times C^2 \quad (3).$$

Donde M: es la humedad de la espuma; D: Densidad de la espuma. T: temperatura de secado spray en °C y C: Concentración de Surfactante g/100g.

Con respecto a propiedades tecnológicas de harinas y polvos, se tiene que la capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite de una harina de cascara de maracuyá variaron entre 4.34 a 12.42 ml agua/g muestra, 2.98 a 5.16 mL aceite/g muestra, respectivamente (Duarte *et al.*, 2016). También, se han caracterizado la capacidad espumante y la estabilidad de espuma de una base espumante, obtenida a partir de lacto suero por procesos de secado spray; en promedio la capacidad espumante y la estabilidad de la espuma de la base espumante fueron de 5.51 mL y 5.28 minutos. Así mismo, se obtuvieron dos modelos matemáticos para cada una de estas propiedades, los modelos en general tuvieron un R²= 85 y 95 %, para la capacidad espumante y la estabilidad de la misma. En las ecuaciones 4 y 5 se pueden ver los modelos obtenidos para capacidad espumante y la estabilidad de la espuma, en términos de las condiciones de secado spray: Temperatura y concentración del surfactante (Osorio *et al.*, 2014).

$$FC = -7.11 + 0.14 \times T + 0.78 \times C - 0.00042 \times T^2 - 0.0006 \times TC + 0.12C^2 \quad (4)$$

$$FS = -159.5 + 1.67 \times T + 9.63 \times C - 0.0044 \times T^2 - 0.026 \times TC - 056 \times C^2 \quad (5)$$

Donde FC: es la capacidad espumante; FS: la estabilidad de la espuma. T: temperatura de secado spray en °C y C: Concentración de Surfactante g/100g.

Existen otro tipo de propiedades para los productos sólidos, una de ellas son las de antioxidantes y de color. En ese sentido, se han caracterizado el contenido antioxidante y los parámetros de color L, a*, y b*, de 50 marcas de café comercializados en Colombia. Los rangos de variación de la capacidad antioxidante fueron de 100.8 a 885 μmol equiv. de Trolox /g y 12.5 a 127 mg equiv. ácido gálico/g. Particularmente, los parámetros de propiedades de color para cafés solubles, L y b* estuvieron entre 13 a 28 y 4.7 a 8.4, correspondientemente (Contreras *et al.*, 2016).

Valoración de residuos agroindustriales.

Los residuos agroindustriales, se pueden procesar por diferentes métodos tales como: digestión aeróbica y anaeróbica (Parawira *et al.*, 2004; Arvanitoyannis *et al.*, 2008), Incineración (Autret *et al.*, 2007), Electrodialisis (Lameloise y Lewandowski, 2012; Huang *et al.*, 2007), fermentación en estado sólido (Santis-Navarro *et al.*, 2011; Bansal *et al.*, 2012), lombricultura y compostaje (Pratap *et al.*, 2011; Wu *et al.*, 2012) y Pirolisis (Yanik *et al.*, 2007); los cuales pueden ser considerados para la obtención de productos de valor agregado y en función del tipo de proceso ser aplicados a la industria alimentaria, química o industria en general. En la actualidad, el uso y aprovechamiento de residuos agroindustriales ha tomado cada vez más importancia, debido a la potencialidad de estos por su contenido en diversos compuestos, que pueden ser útiles en la elaboración de nuevos productos alimenticios o no alimenticios. Algunos ejemplos son la obtención de Combustibles Alternativos, Películas Biodegradables, Biopolímeros, Enzimas, Compuestos bioactivos tales como: Pectinas, Aceites Esenciales, Flavonoides y carotenoides, Hongos comestibles y Fibra dietaria.

Combustibles alternativos.

Pueden entenderse como gases combustibles generados durante la gasificación de biomasa que se prevén como combustibles, estos pueden derivarse de materia vegetal y animal, así como de sus residuos, es además una energía renovable, abundante, descentralizada y limpia (Yepes *et al.*, 2008). Dentro de los combustibles alternativos que se obtienen usando residuos, está el biogás y el metanol; el biogás es el producto gaseoso, que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica mediante acción bacteriana o de su combustión en condiciones anaeróbicas y por esto es considerado como un subproducto del compostaje y de la pirolisis (Yepes *et al.*, 2008). Por otro lado, para la obtención de metanol se requiere que el material biomásico usado tenga una humedad inferior al 60%, ya que los residuos con una humedad alta tienen un bajo poder calorífico (Yepes *et al.*, 2008). De otro modo, Sánchez *et al.* (2010), utilizaron subproductos agroindustriales lignocelulosicos para la producción de bioetanol; así mismo Aimaretti *et al.* (2011), concluyeron que es posible obtener bioetanol de segunda generación a partir de desechos provenientes de

zanahoria, utilizando como biocatalizador *Saccharomyces cerevisiae* descartada de la elaboración de la cerveza. Por otro lado, Rivera *et al.* (2009), lograron disminuir los costos de producción de biodiésel, ya que lo obtuvieron a partir de residuos grasos de animales por vías enzimáticas; Taufiqurrahmi *et al.* (2011), reportan que a través de un proceso denominado craqueo catalítico pueden obtener biogasolina, usando los residuos de aceite de cocina. También se ha logrado obtener biocombustibles a partir de aceite de girasol, colza y soja (Sanz *et al.*, 2011); Wiggers *et al.* (2009), reportan la obtención de biodiesel a partir de la transesterificación alcalina de residuos de las almendras de zapote mamey; por último, Wisniewski *et al.* (2010), usaron residuos de aceite de pescado, para la obtención de biocombustibles por medio de la pirolisis.

Otras fuentes de energía obtenidas a partir de residuos, es el hidrogeno; Nilufer *et al.* (2011), obtuvieron Hidrogeno por procesos de fermentación oscura. Otros autores que han obtenido hidrogeno son Al-Shorgani *et al.* (2013), los cuales lo obtuvieron a partir de residuos agroindustriales de arroz, aceite de palma y de palmito, usando la bacteria *C. saccharoperbutylacetonicum N1-4*.

Obtención de compuestos bioactivos.

En la literatura se reporta la extracción de pectinas, flavonoides y antioxidantes, fibras dietarias y aceites esenciales, los cuales son compuestos bioactivos de importancia para el consumo humano. A continuación, se describe brevemente cada uno de estos componentes.

Las pectinas son polisacáridos que se componen principalmente de unidades de ácido galacturónico unidas por enlaces glicosídicos α -D-1-4. Son sustancias blancas amorfas que forman en agua una solución viscosa; combinadas en proporciones adecuadas con azúcar y ácidos, forman una sustancia gelatinosa utilizada como espesante (Badui, 2006; Potter y Hotchkiss, 2007). Trabajos con respecto a la extracción de pectinas han sido reportados por diversos autores; así Happei *et al.* (2008), extrajeron y caracterizaron pectinas extraídas de las cascaras de banano; Gamboa (2009), obtuvo pectinas a partir de residuos agroindustriales de mango. También se han aprovechado los residuos del cacao y de la pulpa de remolacha para la extracción de pectinas (Franco *et al.*, 2010; Olmos y Zuñiga, 2012).

Por otro lado, los aceites esenciales son líquidos oleosos volátiles obtenidos de las plantas (semillas, flores, raíces, hojas y frutos) por algún método físico de extracción y comúnmente son llamados esencias. Están constituidos principalmente por terpenos, son sustancias resinosas, muy perfumadas, volátiles, casi siempre coloreadas y más livianas que el agua; tienen aplicación como correctores de sabor en los alimentos (Badui, 2006). Navarrete *et al.* (2009) y Ceron y Cardona (2011), lograron extraer aceites esenciales de mandarina y naranja respectivamente, obtenidos de las cascaras y residuos.

En tanto que los flavonoides o bio-flavonoides son compuestos fenólicos y pigmentos naturales presentes en las frutas y en los vegetales, así como en el café, la cocoa y la cerveza, que dada a su capacidad de capturar radicales libres tienen una actividad antioxidante alta. Los flavonoides se utilizan como suplemento alimenticio para animales y humanos, ingredientes de bebidas refrescantes y confites, desodorización, desinfección, inhibidores de trombosis, antiinflamatorios, inhibidores de cáncer, antialérgicos, edulcorantes,

bioflavonoides (vitamina P) y antioxidantes. Al igual que los flavonoides, los carotenoides son pigmentos y también poseen propiedad antioxidante (Badui, 2006).

Con respecto a la obtención de flavonoides y carotenoides, existen varios trabajos reportados en la literatura; en este sentido se han extraído flavonoides y carotenoides de los residuos de la seda (Prommuak *et al.*, 2008); en tanto que Katalinic *et al.* (2010) y Cetkovic *et al.* (2012), extrajeron diferentes compuestos fenólicos tales como: flavonoides, flavonoles, catequinas, antocianinas y ácidos fenólicos, a partir de extractos de cascara de uvas y de cascara de tomate de diferentes variedades, respectivamente. También se ha podido obtener flavonoides (naringina, hesperidina, neohesperidina, rutina, quercetina, kaempferol, entre otros), carotenoides (luteína, zeaxantina, β -criptoxantina y β -caroteno) y ácidos fenólicos (ascórbico, cafeico, clorogenico, ferulico, sinapico y p -cumárico), a partir de las cascara de diferentes variedades de cítricos: pomelo, mandarina, naranja y limón (Wu *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2008). Finalmente, Peschel *et al.* (2006) hacen una caracterización del contenido de polifenoles de los residuos agroindustriales provenientes de la industria de jugos (manzana, fresa, pera, remolacha) y de la industria conservera (alcachofa, espárragos y tomate).

Finalmente, la Fibra dietaria, Está constituida por los componentes estructurales de las paredes celulares de los vegetales, entre los que se destacan la celulosa, hemicelulosa y las pectinas, las cuales dan firmeza y textura fuerte a las estructuras externas de las frutas (Badui, 2006). Posee efectos preventivos contra determinadas enfermedades cardiovasculares y ayuda a mejorar la función gastrointestinal (Teixeira *et al.*, 2015). La fibra dietaria es obtenida principalmente de las cortezas de las frutas, consta de polisacáridos estructurales (celulosa, hemicelulosa, pectinas, rafinosa y estafinosa), polisacáridos no estructurales (gomas y mucílagos), sustancias estructurales no polisacáridas (lignina) y de otras sustancias como cutina, taninos y suberina (Beres *et al.*, 2016).

Gutierrez *et al.* (2002), Nawirska *et al.* (2005) y Ajila *et al.* (2010), han utilizado residuos de naranja, limón, mandarina, piña, maracuyá, manzana, pera, cereza, grosella negra, zanahoria, mango, sandía y melón, para la obtención y caracterización de polvos con diferentes contenidos de fibra dietaria. Así mismo, estudios de revisión realizados por Elleuch *et al.* (2011) y Cañas *et al.* (2011), informan que la pulpa y las cascara de algunas frutas, verduras y cereales como la de las toronjas, melocotón, uva, durazno, coco, cacao, tomate, patata, espárragos, repollo, coliflor, arvejas, calabaza, frijol, remolacha, guisantes, arroz, avena, trigo, maíz, avellana, maní, bagazo de caña, son una fuente abundante de fibra dietética soluble e insoluble, las cuales son útiles y aplicables para enriquecer los alimentos, reemplazar harinas, aumentar la de fibra dietética de alimentos, desarrollo de productos saludables bajos en calorías, colesterol y grasa.

Obtención de Biopolímeros

La obtención de polímeros biodegradables a partir de fuentes renovables representa una alternativa frente a los altos precios del petróleo y obedece al aumento de la conciencia pública sobre los problemas ambientales que generan los plásticos. Polímeros de origen biológico tales como los derivados de almidón, ácido poliláctico, polímeros celulósicos y los polihidroxiálcanohatos juegan un papel importante, además de ser biodegradables,

tienen la ventaja de ser producidos a partir de fuentes renovables (Demirbas, 2007; Nath 2008). Los poliésteres más conocidos son los polihidroxicanoatos (PHAs) los cuales son principalmente producidos en procesos de fermentación microbiana (Nath, 2008), debido a su gran versatilidad estructural y a sus propiedades, son materiales promisorios en diversas aplicaciones tales como: biomedicina, alimentos, envases, textiles y materiales para el hogar (Roy y Tajalli, 2010).

Un biopolímero se puede definir como una “*variedad de macromoléculas, producidas por sistemas biológicos, como animales, plantas o microorganismos*”. Los biopolímeros pueden ser sintetizados químicamente, pero como requisito sus unidades poliméricas deben ser derivadas de sistemas biológicos, como: aminoácidos, azúcares, lípidos, entre otros. En general los biopolímeros naturales provienen de cuatro grandes fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), origen marino (quitina/quitosa), origen agrícola (lípidos, grasas, hidrocoloides, proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poliláctico (PLA) y polihidroxicanoatos (PHAs)) (Tharanathan, 2003). Algunas de estas estructuras se pueden ver en la Figura 1.

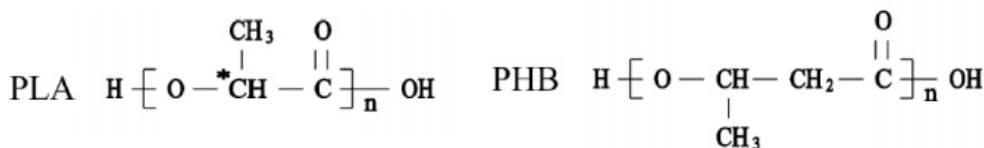


Figura 1. Fórmulas estructurales de los biopolímeros PLA (ácido poliláctico), PHB (polihidroxibutirato)
Fuente: (Calvo, 2013).

Otra definición de biopolímero, es aquel material cuyo fin es el de interactuar con un sistema biológico, generando interacciones tales como: evaluar, curar, corregir o reemplazar algún tejido, órgano o función del organismo. Además, un biopolímero, puede ser una sustancia sólida tipo orgánico, inorgánico o inerte con la propiedad de ser biocompatible con el ser vivo, normalmente el cuerpo humano (Calvo, 2013). Los biopolímeros, al igual que los polímeros, son macromoléculas que han sido formadas mediante un proceso de polimerización (unión covalente) de moléculas más pequeñas denominadas monómeros (Calvo, 2013). Finalmente, Gallur (2011), define un polímero degradable, como aquellos que experimentan reacciones de degradación resultantes de la acción de microorganismos, tales como bacterias y hongos, bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera en un periodo corto de tiempo.

La obtención de polímeros biodegradables a partir de fuentes renovables representa una alternativa frente a los obtenidos a partir de petróleo y obedece al aumento de la conciencia pública sobre los problemas ambientales que generan los plásticos (Castilho *et al.*, 2009).

Los polímeros de origen biológico tales como los derivados de almidón, ácido poliláctico, polímeros celulósicos y los PHAs juegan un papel importante, además de ser biodegradables, tienen la ventaja de ser producidos a partir de fuentes renovables (Demirbas, 2007; Nath, 2008).

Los poliésteres más conocidos son los PHAs los cuales son exclusivamente producidos

en procesos de fermentación microbiana (Nath, 2008). Debido a su gran versatilidad estructural y a sus propiedades, son materiales promisorios en diversas aplicaciones tales como: biomedicina, alimentos, envases, textiles y materiales para el hogar (Roy y Tajalli, 2010).

En la Tabla 4, se muestran valores de producción de polihidroxicanoatos así como sustratos y cepas utilizadas para la obtención de los mismos, además se puede ver la concentración de PHA expresada en g/L, la productividad definida como la concentración del polímero dividida entre el tiempo total de fermentación requerido para llegar a dicha concentración, y el rendimiento Y, expresado en la relación producto/ sustrato (g polímero/ g sustrato).

Tabla 4. Algunos de los sustratos y cepas utilizados para obtener PHAs

Organismo	Sustrato	Tiempo de Cultivo (h).	[PHA] (g/L)	Contenido de PHA (%)	Productividad de PHA (g/L/h)	Y (g/g)
<i>Azotobacter vinelandi</i>	Melaza de Remolacha	40	23.0	66.0	1.40	0.12
	Glucosa+ Pectonas de	47	25.0	85.0	1.00	0.65
<i>Azotobacter chroococcum</i>	Pescado					
	Glucosa+ Acido propionico	46	114	74.0	2.55	---
	Glucosa	48	10.2	78.3	---	0.28
<i>Alcaligenes latus</i>	Sacarosa	18	71.4	50.0	4.94	0.42
	Malta	50	22.7	36.3	---	---
<i>E. coli recom.</i>	Soya	50	6.00	70.1	---	---
	Glucosa	49	157	77.0	3.20	---
	Sacarosa	48	34.3	27.5	0.71	---
	Suero	49	69.0	80.0	1.40	---

Fuente: Hoyos (2003).

Los polihidroxicanoatos son poliésteres microbianos de ácidos hidroxialcanoicos, los cuales son acumulados intracelularmente por microorganismo procarióticos (Eubacteria, archaea); son sintetizados en ambientes con exceso de carbono, y carencia de otros nutrientes esenciales como nitrógeno, azufre, oxígeno o fósforo (Steinbüchel y Lütke, 2003; Anderson y Dawes, 1990). El peso molecular y la estructura química del polímero son controladas por el tipo de cepa y por las características de los sustratos (Anderson y Dawes, 1990; Sim *et al.*, 1997). El primer PHA identificado fue el poli(3-hidroxiбутirato) obtenido a partir del *Bacillus megaterium* por Maurice Lemoigne en 1926; 50 años después Wallen y Rohwedder (1974), depuraron en unidades monoméricas el 3HV y el 3HHx, 3-hidroxyvalerato y 3-hidroxyhexanoato, respectivamente.

Los PHAs son algunos de los productos que se producen a partir de biomasa, los desarrollos en esta área se enfocan a la sustitución de derivados del petróleo y a la

formulación de materiales con propiedades funcionales (Frazzetto, 2003; Young, 2003). En la literatura se reportan alrededor de 150 tipos de PHAs (Steinbüchel, 2001), los cuales cubren una amplia gama de propiedades y aplicaciones que dependen de la composición química del material (Cornibert y Marchessault, 1972; Doi *et al.*, 1995; Jendrossek y Handrick, 2002). De acuerdo con estudios reportados por varios autores, los PHAs pueden presentar características similares a las de polímeros sintéticos tales como el polipropileno (Steinbüchel y Fuchtenbusch, 1998; Madison y Huisman, 1999; Sudesh *et al.*, 2000).

Métodos de secado aplicados a la valoración de residuos.

Secado Convectivo.

El secado o deshidratación, es una de las operaciones unitarias más usadas en el campo de conservación de los alimentos, con esta operación se busca la eliminación de agua de un producto a través de procesos de transferencia de calor y de masa. En procesos de secado, suceden diferentes mecanismos en relación a la transferencia de masa o movimiento de agua desde el interior del alimento al exterior, entre ellos la difusión debida a gradientes de concentración, fuerzas capilares, difusión de vapor en los poros llenos de aire, vaporización y condensación del agua, entre otro (Hamburg, 2015). Deshidratar un alimento o residuo agroindustrial implica la evaporación del agua libre y semiligada, conduciéndola desde el interior del sólido hasta la superficie, este proceso se da gracias al calor latente de vaporización que puede ser suministrado a través de los fenómenos de convección, conducción o radiación (Karam *et al.*, 2016).

En procesos industriales y a escala piloto, los secados llevados a cabo en túnel, generalmente utilizan aire caliente y se llevan a cabo controles de temperatura, humedad relativa, velocidad y sentido del fluido, forma y tamaño del sólido (Beigi, 2016). El aire utilizado es impulsado a través del sistema por ventiladores y puede ser calentado mediante resistencias eléctricas en la boca de entrada del túnel o mediante otras fuentes de calor como combustibles fósiles, en su recorrido entra en contacto con el material a secar, el cual se expone en bandejas al interior del túnel (Menezes *et al.*, 2013).

El secado permite la conservación de alimentos por inhibición de reacciones de deterioro y proliferación de microorganismos (Fu y Chen, 2016), además, en los últimos años se ha usado como una tecnología apropiada para la transformación de diferentes residuos agroindustriales, algunos de estas aplicaciones se citan a continuación:

Chielle *et al.* (2016), evaluaron el efecto de la variación de condiciones de secado sobre la extracción de aceite a partir de semillas de papaya, encontrando que la mayor extracción de aceite se lograba con una temperatura de 70 °C y una velocidad de aire de 2 m/s. Esparza *et al.*, (2016), estudiaron el efecto de diferentes temperaturas de secado convectivo (60, 90 y 120 °C) a 1.5 m/s sobre la obtención de polifenoles y la actividad antioxidante de desechos de lima; encontraron que el contenido de polifenoles totales fue de 37.26 a 60 °C, 37.77 a 90 °C y de 63.28 a 120 °C, mientras que la capacidad antioxidante medida por ABTS, estuvo en el rango de 1111.38 a 1560.55 $\mu\text{M TE/g}$; los mayores valores correspondieron al tratamiento a 120 °C. Los autores sugieren la aplicación potencial de este

residuo en la formulación de alimentos ricos en sustancias bioactivas, con la consecuente reducción en la generación de residuos agroindustriales.

Valiente *et al.*, (2016), estudiaron la influencia de algunas condiciones de deshidratación (50, 60 y 70 °C a 2 m/s) sobre el poder antioxidante, fenoles totales, flavonoides, y color superficial de *Pleurotus ostreatus*, un hongo comestible. Hallando que la mejor condición de estabilidad de fenoles totales, poder antioxidante y color, se lograba con la condición de secado 60°C a 2 m/s. Las concentraciones de fenoles totales estuvieron en el rango 665 a 965 mg GAE/100g, flavonoides 160 a 165 mg CE/100g y poder antioxidante 76 a 98/mg, parámetros evaluados en base seca, el color se estabilizó luego de 2 horas de tratamiento. Así, la oferta del hongo puede estar disponible por fuera de estación sin afectación de sus propiedades luego de someterlo a secado.

Nunes *et al.*, (2016), evaluaron el efecto que tenían dos métodos de secado, convectivo y liofilización sobre el contenido de sustancias polifenólicas, con capacidad antioxidante, de una guayaba pulverizada, ellos lograron determinar que el contenido de polifenoles disminuía con respecto a la muestra fresca, los valores reportados de polifenoles tanto para el secado convectivo como el de liofilización fueron de 88.7 y 82.2 mg GAE/100g, respectivamente. Los autores concluyeron que, a pesar de la reducción de las sustancias de interés, las muestras conservaron su capacidad antioxidante y características organolépticas aceptables.

Menezes *et al.*, (2013), evaluaron el efecto de diferentes condiciones de secado tanto de temperatura y velocidad de aire, sobre la tasa de eliminación de agua de un bagazo de maracuyá, proveniente de la industria de jugos en Brasil, logrando establecer que a 55 °C y 1.3 m/s se alcanza más rápidamente la humedad de equilibrio, además de que representó un ahorro en tiempo y energía en el proceso.

Vashisth *et al.*, (2011), evaluaron el efecto que tres métodos de secado (VBD: vacuum belt drying (secado en cinta de vacío), HAD: hot air drying (secado convectivo) y FD: freeze drying (liofilización)), tenían sobre el contenido polifenólico y concentración de ácido ascórbico de la pulpa de moscatel. El secado convectivo (HAD) arrojó valores de polifenoles en el rango 429 a 562 $\mu\text{mol GAE/g}$, mientras el VBD estuvo en 453 a 642 $\mu\text{mol GAE/g}$ y el liofilizado (FD) 583 $\mu\text{mol GAE/g}$, todos en base seca. Concluyendo que el mejor método de secado fue el de VBD ya que conserva las sustancias de interés en mayor proporción y toma hasta un 25 % menos del tiempo de proceso que la liofilización.

Uribe *et al.*, (2010) [44], procesaron residuos de la industria de aceite de oliva, sometiéndolos a secado convectivo, buscando determinar mediante modelos matemáticos tanto la energía de activación como el coeficiente de difusión, obteniendo valores de (12.43 kJ/mol) y (2.03 x 10⁻⁹ m²/s a 1.71 x 10⁻⁹ m²/s), respectivamente, además los autores, obtuvieron los mejores resultados aplicando los modelos de Henderson and Pabis y la ecuación de Arrhenius en la estimación de las condiciones óptimas de secado para desechos de la industria de aceite de oliva, las cuales se lograron secando a temperaturas en el rango de 50 a 90 °C. Concluyen además, que a pesar de que más de uno de los diferentes modelos evaluados puede predecir el valor de humedad en cualquier momento del secado, la ecuación modificada de Henderson and Pabis presenta el mejor arreglo con un r² de 0.999 y SSE de 6.3320 x 10⁻⁵.

Avhad *et al.*, (2015) [45], estudiaron el comportamiento en la cinética de secado de semilla de aguacate variedad Hass a cinco temperaturas diferentes de proceso (40, 50, 60, 70 y 80 °C) y dos configuraciones (tajada y triturada). Determinaron diferencias significativas en el secado respecto a los tiempos, tanto para muestra entera, que duró 5760 minutos y presentó evaporación incompleta, como para la semilla tajada o triturada, que tardó 1440 minutos para ambos tratamientos a 40°C. Los porcentajes de remoción de humedad para estos dos tratamientos fueron 56.75 y 54.50 % respectivamente.

Secado Spray.

El secado por atomización o el spray dry es un método en el cual un líquido o una solución acuosa es convertida en un polvo seco, cuando gotas atomizadas de dicha solución entran en contacto con una corriente de aire caliente (medio convectivo) la cual puede ser en contracorriente o en paralelo con el flujo de alimentación, lo que permite obtener productos de calidad uniforme, de igual manera es considerada como la técnica de deshidratación más económica (Shishir and Chen 2017). La rápida evaporación y la calidad del producto final depende directamente de las condiciones a las cuales se desarrolle el proceso de secado, como lo son: la humedad relativa, el tiempo de residencia en la cámara de secado y la temperatura del aire (Shishir and Chen 2017; Grasmeijer, Frijlink, and Hinrichs 2016), la cual puede variar entre 170 y 260 °C (Osorio *et al.* 2014), por su parte, el tiempo de residencia de las partículas dentro de la cámara es corto (aproximadamente entre 5-100 segundos), con excepción de aquellas partículas que se depositan en las paredes (Keshani *et al.* 2015). Este es un método usado frecuentemente en el proceso de emulsiones, aromas y aceites en la industria alimentaria (Jacobs 2014; Sabarez 2016), de igual manera ha encontrado gran aplicabilidad en la producción de alimentos instantáneos y en la conservación de alimentos en forma de polvo (Woo and Bhandari 2013), como lo son leche, suero lácteo, levaduras, huevos, extractos de frutas, café, té, yogurt y otros productos de alto valor (Keshani *et al.* 2015; Ratti 2013).

El secado spray es una técnica que permite la retención de algunas propiedades como lo son sabor, color y algunos nutrientes (Bazaria and Kumar 2016). Sin embargo, presenta algunas dificultades, puesto que a pesar de ser un proceso con tiempos de secado cortos, el uso de altas temperaturas (superiores a los 100°C) genera pérdida de compuestos sensibles al calor como lo son Licopeno, vitaminas, antocianinas y antioxidantes (Shishir and Chen 2017). Asimismo, surgen problemas como aglomeración de partículas, apelmazamiento y pegajosidad en matrices ricas en carbohidratos como lo son jugos de frutas, pues, el desarrollo del secado depende de la afinidad de las moléculas de agua y los carbohidratos de bajo peso molecular (Araujo-Díaz *et al.* 2017); la presencia de esta clase de compuestos hace que la temperatura de transición vítrea (T_g) disminuya y genere los problemas anteriormente mencionados (Shishir and Chen 2017; Murugesan and Orsat 2012; Saavedra-Leos *et al.* 2012). Las principales condiciones de operación que deben ser controladas son los flujos de producto y las temperaturas de proceso, las cuales tienen una incidencia directa en las características del producto (Bazaria and Kumar 2016; Jacobs 2014; Woo and Bhandari 2013) como lo son el tamaño de partícula y la humedad (Keshani *et al.* 2015); el comprender

como estos parámetros de proceso afectan los alimentos ha hecho que algunos autores orienten sus trabajos para tal fin.

(Donz, Boiron, and Courthaudon 2014), evaluaron como el proceso de secado afecta las características fisicoquímicas y funcionales de una emulsión de suero lácteo con alto contenido graso, dichos autores concluyen que la estructura y las características de los polvos y emulsiones (reconstituido) se ven afectados por las diferentes etapas del proceso, presentando una desestabilización debido a la coalescencia generada por el alto contenido graso en las partículas de menor tamaño generadas en los ciclones. (Osorio *et al.* 2014), emplearon el secado por atomización en muestras de suero lácteo con diferentes mezclas de tenso-activo, con la finalidad de obtener un producto en polvo con alta capacidad espumante para ser utilizado en bebidas calientes; los autores concluyen que las mejores condiciones de proceso que permiten tener buenas propiedades tecnológicas son 210°C con una concentración de surfactante de 1.50 g/100g. (Eckert *et al.* 2017) utilizaron el secado por atomización en muestras de suero lácteo como agente encapsulante y protector de *Lactobacillus plantarum* ATCC, el cual es un microorganismo probiótico termolábil. Después de 56 días de almacenamiento a 20°C, todas las muestras encapsuladas con suero lácteo evidenciaron células viables. (Chasekioglou *et al.* 2017), emplearon la técnica de secado por atomización con maltodextrina como agente secante, para el tratamiento de residuos del proceso del aceite de oliva, con la finalidad de retener compuestos bioactivos como polifenoles, y producir un producto que pueda ser introducido en la formulación de diferentes matrices alimentarias. (Rezende, Nogueira, and Narain 2018) encapsularon pulpa y residuos de acerola por medio de secado por atomización, mediante el uso de goma arábica y maltodextrina como agentes secantes. Los autores concluyen que el secado por atomización permite tener polvos con buenas características fisicoquímicas, alta retención de compuestos bioactivos como antocianinas y carotenoides.

(Goula and Adamopoulos 2005), evaluaron el efecto de las condiciones de secado por atomización en la pérdida de licopeno en el procesamiento de tomate, dichos autores reportan una relación directa entre la pérdida de licopeno, la cual fue entre el 8.07% y 20.93% y la temperatura de secado, sin embargo, otros parámetros de proceso como flujos, concentración inicial y flujo de aire influyen en la pérdida del compuesto. (Zotarelli *et al.* 2017), reportaron una pérdida de un 60% del contenido de carotenoides presentes en una solución de mango secada por atomización, dichos autores concluyen que la pérdida de los compuestos termo sensibles está en función de parámetros como temperatura y tiempos de residencia.

CONCLUSIONES

En general se puede concluir que los residuos agroindustriales son una materia prima emergente, la cual tienen propiedades físicas y químicas propias de las mismas y que son susceptibles de transformación en diferentes productos con alto valor agregado, dentro de lo que se destacan: combustibles alternativos como el hidrogeno, biopolímeros degradables con aplicaciones en biomedicina como son los polihidroxialcanoatos. Además, se pueden obtener pectinas, aceites esenciales, flavonoides, carotenoides y fibras, todos los anteriores

con aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica. Sin embargo, para lograr los valores agregados antes mencionados, se hace importante la estandarización de los procesos, ya sean biotecnológicos, de secado, o de extracción, lo que incluye una correcta caracterización del residuo a trabajar. Finalmente, se concluye que los diferentes procesos descritos en el presente documento, son una alternativa viable para la transformación de los residuos agroindustriales, contribuyendo a la generación de valores agregados con aplicaciones en diferentes tipos de industrias y al mejoramiento de la salud ambiental del planeta.

REFERENCIAS

Afsar, N., Özgür, E., Gürkan, M., Akköse, S., Yücel, M., Gündüz, U., y Eroglu, I. (2011). Hydrogen productivity of photosynthetic bacteria on dark fermenter effluent of potato steam peels hydrolysate. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(1), 432–438. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.09.096>

Aimaretti, N., Ybalo, C., Escorcía, M., Codevilla, A., Rojas, M. L., y Plou, F. (2011). Obtención de bioetanol de segunda generación a partir de residuos agroindustriales. Retrieved from http://fich.unl.edu.ar/CISDAV/upload/Ponencias_y_Posters/Eje06/Aimaretti_Ybalo_Escorcía_Codevilla_Rojas_Plou_Yori/Aimaretti_OBTENCION_DE_BIOETANOL_DE_SEGUNDA.pdf

Ajila, C. M., Aalami, M., Leelavathi, K., y Rao, U. J. S. P. (2010). Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(1), 219–224. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.10.004>

Al-Shorgani, N. K. N., Tibin, E. M., Ali, E., Hamid, A. A., Yusoff, W. M. W., y Kalil, M. S. (2014). Biohydrogen production from agroindustrial wastes via *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* N1-4 (ATCC 13564). *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(1), 11–21. <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0586-6>

Anderson, A. J., y Dawes, E. A. (1990). Occurrence, metabolism, metabolic role, and industrial uses of bacterial polyhydroxyalkanoates. *Microbiological Reviews*, 54(4), 450–472. [https://doi.org/0146-0749/90/040450-23\\$02.00/0](https://doi.org/0146-0749/90/040450-23$02.00/0)

Araujo-Díaz, S. B., Leyva-Porras, C., Aguirre-Bañuelos, P., Álvarez-Salas, C., y Saavedra-Leos, Z. (2017). Evaluation of the physical properties and conservation of the antioxidants content, employing inulin and maltodextrin in the spray drying of blueberry juice. *Carbohydrate Polymers*, 167, 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.065>

Arvanitoyannis, I. S., Kassaveti, A., y Ladas, D. (2008). 6 - Food Waste Treatment Methodologies BT - Waste Management for the Food Industries. In *Food Science and Technology* (pp. 345–410). Amsterdam: Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012373654-3.50009-2>

Autret, E., Berthier, F., Luszezanec, A., y Nicolas, F. (2007). Incineration of municipal and assimilated wastes in France: Assessment of latest energy and material recovery performances. *Journal of Hazardous Materials*, 139(3), 569–574. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.02.065>

B, B., Mesa, M. T., Licceth, Y., Paz, B., y Mejía, V. B. (2012). Aplicación de la técnica de impregnación a vacío en el desarrollo de cáscaras de naranja mínimamente procesadas fortificadas con potasio, sodio, y vitaminas B1, B6 y B9. *Journal of Engineering and Technology*, 1(67), 8–16.

Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos*. Ed. Pearson educación (4th ed.). Ciudad de México.

Bansal, N., Tewari, R., Soni, R., y Soni, S. K. (2012). Production of cellulases from *Aspergillus niger* NS-2 in solid state fermentation on agricultural and kitchen waste residues. *Waste Management*, 32(7), 1341–1346. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.006>

Barradas R., A. (2009). Gestión integral de residuos sólidos municipales. *Instituto Tecnológico de Minatitlán*, 167.

Bazaria, B., y Kumar, P. (2016). Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. *Food Bioscience*, 14, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.11.002>

BID. (2010). Banco Interamericano de Desarrollo. Retrieved from <http://www6.iadb.org/Residuos/informacion/InfoPais.bid;jsessionid=76DD112901D5986B3BCB68C813E181B9>

Blanca, M. G. (2011). *Biopolímeros como material de envase. Caso práctico: sector cosmético*. Barcelona: ITENE.

Calvo Santo-Rosa, A. (2013). Análisis y simulación numérica del proceso de biodegradación por hidrólisis de biopolímeros en aplicaciones biomédicas, 84.

Cañas Angel, Z., Restrepo Molina, D. A., y Cortes Rodriguez, M. (2012). Revision: productos vegetales como fuente de fibra dietaria en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(1), 6023–6035.

Castilho, L. R., Mitchell, D. A., y Freire, D. M. G. (2009). Production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) from waste materials and by-products by submerged and solid-state fermentation. *Bioresource Technology*, 100(23), 5996–6009. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.088>

Cerón-Salazar, I., y Cardona-Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de la cáscara de naranja. *Ingeniería Y Ciencia - Ing.cienc.*, 7(13), 65–86.

Četković, G., Savatović, S., Čanadanović-Brunet, J., Djilas, S., Vulić, J., Mandić, A., y Četojević-Simin, D. (2012). Valorisation of phenolic composition, antioxidant and cell growth activities of tomato waste. *Food Chemistry*, 133(3), 938–945. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.007>

Chasekioglou, A. N., Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., y Lazarides, H. N. (2017). An approach to turn olive mill wastewater into a valuable food by-product based on spray drying in dehumidified air using drying aids. *Powder Technology*, 311(432), 376–389. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.02.008>

Cobntbekt, J., y Mabchessault, R. H. (1972). Physical properties of poly- β -hydroxybutyrate. IV. Conformational analysis and crystalline structure. *Journal of Molecular Biology*, 71(3), 735–756. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(72\)80035-4](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(72)80035-4)

Concha Olmos, J., y Zúñiga Hansen, M. E. (2012). Enzymatic depolymerization of sugar beet pulp: Production and characterization of pectin and pectic-oligosaccharides as

a potential source for functional carbohydrates. *Chemical Engineering Journal*, 192, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.03.085>

Contreras-Calderón, J., Mejía-Díaz, D., Martínez-Castaño, M., Bedoya-Ramírez, D., López-Rojas, N., Gómez-Narváez, F., ... Vega-Castro, O. (2016). Evaluation of antioxidant capacity in coffees marketed in Colombia: Relationship with the extent of non-enzymatic browning. *Food Chemistry*, 209, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.038>

Demirbas, A. (2007). Biodegradable plastics from renewable resources. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 29(5), 419–424. <https://doi.org/10.1080/009083190965820>

Doi, Y., Kitamura, S., y Abe, H. (1995). Microbial Synthesis and Characterization of Poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate). *Macromolecules*, 28(14), 4822–4828. <https://doi.org/10.1021/ma00118a007>

Donz, E., Boiron, P., y Courthaudon, J. L. (2014). Characterization of industrial dried whey emulsions at different stages of spray-drying. *Journal of Food Engineering*, 126, 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.11.003>

Duarte, Y., Chaux, A., Lopez, N., Largo, E., Ramírez, C., Nuñez, H., ... Vega, O. (2017). Effects of Blanching and Hot Air Drying Conditions on the Physicochemical and Technological Properties of Yellow Passion Fruit (*Passiflora edulis* Var. *Flavicarpa*) by-Products. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), 0–9. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12425>

Eckert, C., Serpa, V. G., Felipe dos Santos, A. C., Marinês da Costa, S., Dalpubel, V., Lehn, D. N., y Volken de Souza, C. F. (2017). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 through spray drying and using dairy whey as wall materials. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.045>

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., y Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 411–421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>

FAO. (1997). Food and Agriculture Organization. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/w5800s/w5800s12.htm>

Franco-Castillo, M., Ramírez-Hernández, M., García-Gómez, R. S., Bernal-González, M., Espinosa-Aquino, B., Solís-Fuentes, J. A., y Durán-De-Bazúa, C. (2010). Reaprovechamiento Integral De Residuos Agroindustriales: Cáscara Y Pulpa De Cacao Para La Producción De Pectinas. *Revista Latinoamericana El Ambiente Y Las Ciencias*, 1(2), 45–66.

Gamboa Bandry, M. (2009). Aprovechamiento de los residuos obtenidos del proceso de despulpado del mango (*Mangifera indica* L.), de las variedades smith, tommy atkins, haden y bocado como materias primas para la obtención de pectinas, 117.

Glaser, J. A. (2005). White Biotechnology. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 7(4), 233–235. <https://doi.org/10.1007/s10098-005-0018-3>

Grasmeijer, N., Frijlink, H. W., y Hinrichs, W. L. J. (2016). Model to predict inhomogeneous protein–sugar distribution in powders prepared by spray drying. *Journal of Aerosol Science*, 101, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2016.07.012>

Gültekin-Özgüven, M., Karadağ, A., Duman, Ş., Özkal, B., y Özçelik, B. (2016). Fortification of dark chocolate with spray dried black mulberry (*Morus nigra*) waste extract

encapsulated in chitosan-coated liposomes and bioaccessability studies. *Food Chemistry*, 201, 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.091>

Gutiérrez, E., y Medina, G. (2002). Obtención y cuantificación de fibra dietaria a partir de residuos de algunas frutas comunes en Colombia. *VITAE, Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*, 9(1), 5–14.

Happi Emaga, T., Ronkart, S. N., Robert, C., Wathélet, B., y Paquot, M. (2008). Characterisation of pectins extracted from banana peels (*Musa AAA*) under different conditions using an experimental design. *Food Chemistry*, 108(2), 463–471. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.078>

Hoornweg, D., y Bhada-Tata, P. (2012). What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. *Urban Development Series; Knowledge Papers no.15, World Bank*, 116. <https://doi.org/10.1111/febs.13058>

Hoyos, D. (2003). *Polihidroxialcanoatos*. Universidad Nacional de Colombia.

Huang, C., Xu, T., Zhang, Y., Xue, Y., y Chen, G. (2007). Application of electro dialysis to the production of organic acids: State-of-the-art and recent developments. *Journal of Membrane Science*, 288(1–2), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.11.026>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 6. NTC 5720. Norma técnica Colombiana. Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental Colombiano. Criterios ambientales de tableros y celdas para alojar equipos eléctricos y electrónicos de baja y media tensión. (2009).

Jacobs, I. C. (2014). *Atomization and Spray-Drying Processes. Microencapsulation in the Food Industry*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404568-2.00005-4>

Jendrossek, D., y Handrick, R. (2002). Microbial Degradation of Polyhydroxyalkanoates. *Annual Review of Microbiology*, 56(1), 403–432. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.56.012302.160838>

Katalinić, V., Možina, S. S., Skroza, D., Generalić, I., Abramović, H., Miloš, M., ... Boban, M. (2010). Polyphenolic profile, antioxidant properties and antimicrobial activity of grape skin extracts of 14 *Vitis vinifera* varieties grown in Dalmatia (Croatia). *Food Chemistry*, 119(2), 715–723. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.019>

Keshani, S., Daud, W. R. W., Nourouzi, M. M., Namvar, F., y Ghasemi, M. (2015). Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling. *Journal of Food Engineering*, 146, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.004>

Keshavarz, T., y Roy, I. (2010). Polyhydroxyalkanoates: bioplastics with a green agenda. *Current Opinion in Microbiology*, 13(3), 321–326. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2010.02.006>

Lameloise, M. L., y Lewandowski, R. (2012). Recovering l-malic acid from a beverage industry waste water: Experimental study of the conversion stage using bipolar membrane electro dialysis. *Journal of Membrane Science*, 403–404, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.02.053>

Macagnan, F. T., Santos, L. R. Dos, Roberto, B. S., De Moura, F. A., Bizzani, M., y Da Silva, L. P. (2015). Biological properties of apple pomace, orange bagasse and passion fruit peel as alternative sources of dietary fibre. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2015.04.001>

Madison, L. L., y Huisman, G. W. (1999). Metabolic engineering of poly(3-

hydroxyalkanoates): from DNA to plastic. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*: *MMBR*, 63(1), 21–53. <https://doi.org/10.1128/MMBR.63.1.21-53>

Moreno, J., y Moral, R. (2018). *Compostaje*. Madrid: Mundi-Prensa.

Murugesan, R., y Orsat, V. (2012). Spray Drying for the Production of Nutraceutical Ingredients-A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(1), 3–14. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0638-z>

Nath, A., Dixit, M., Bandiya, A., Chavda, S., y Desai, A. J. (2008). Enhanced PHB production and scale up studies using cheese whey in fed batch culture of *Methylobacterium* sp. ZP24. *Bioresource Technology*, 99(13), 5749–5755. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.10.017>

Navarrete, C., Gil, J., Durango, D., y Garcia, C. (2009). Extracción y caracterización del aceite esencial de manarina obtenido de residuos agroindustriales. *Dyna*, 162(1), 85–92.

Nawirska, A., y Kwaśniewska, M. (2005). Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry*, 91(2), 221–225. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.005>

Osorio, J., Monjes, J., Pinto, M., Ramírez, C., Simpson, R., y Vega, O. (2014). Effects of spray drying conditions and the addition of surfactants on the foaming properties of a whey protein concentrate. *LWT - Food Science and Technology*, 58(1), 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.016>

Parawira, W., Murto, M., Zvauya, R., y Mattiasson, B. (2004). Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugar beet leaves. *Renewable Energy*, 29(11), 1811–1823. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.02.005>

Peschel, W., Sánchez-Rabana, F., Diekmann, W., Plescher, A., Gartzia, I., Jiménez, D., ... Codina, C. (2006). An industrial approach in the search of natural antioxidants from vegetable and fruit wastes. *Food Chemistry*, 97(1), 137–150. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.033>

Potter, N., y Hotchkiss, J. (2007). *Ciencia de los alimentos*. (Aspen, Ed.) (5th ed.). Zaragoza, España: Acribia.

Prommuak, C., De-Eknamkul, W., y Shotipruk, A. (2008). Extraction of flavonoids and carotenoids from Thai silk waste and antioxidant activity of extracts. *Separation and Purification Technology*, 62(2), 444–448. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.02.020>

Ratti, C. (2013). *Freeze drying for food powder production*. *Handbook of Food Powders: Processes and Properties*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.1.57>

Rezende, Y. R. R. S., Nogueira, J. P., y Narain, N. (2018). Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. *Food Chemistry*, 254(January), 281–291. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.026>

Rivera, I., Villanueva, G., y Sandoval, G. (2009). Producción de biodiesel a partir de residuos grasos animales por vía enzimática. *Grasas Y Aceites*, 60(5), 470–476. <https://doi.org/10.3989/gya.021409>

Rodríguez Sandoval, E., Manjarrés Pinzón, K., y Restrepo Duque, A. M. (2012). Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor

agregado a partir de residuos agroindustriales. *Producción Más Limpia*, 6(2), 47–57.

Saavedra-Leos, M. Z., Alvarez-Salas, C., Esneider-Alcala, M. A., Toxqui-Terán, A., Pérez-García, S. A., y Ruiz-Cabrera, M. A. (2012). Towards an improved calorimetric methodology for glass transition temperature determination in amorphous sugars: mejora para la determinación de temperaturas de transición vítrea en Metodología de calorimetrías amorfas azú. *Journal of Food*, 10(4), 258–267.

Sabarez, H. (2016). *Drying of Food Materials. Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03416-8>

Sánchez Riaño, A. M., Gutiérrez Morales, A. I., Muñoz Hernández, J. A., y Rivera Barrero, C. A. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos Bioethanol Production from agroindustrial lignocellulosic byproducts. *Tumbaga*, 5, 61–91.

Santis-Navarro, A., Gea, T., Barrena, R., y Sánchez, A. (2011). Production of lipases by solid state fermentation using vegetable oil-refining wastes. *Bioresource Technology*, 102(21), 10080–10084. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.08.062>

Sanz Requena, J. F., Guimaraes, A. C., Quirós Alpera, S., Relea Gangas, E., Hernandez-Navarro, S., Navas Gracia, L. M., ... Fresneda Cuesta, H. (2011). Life Cycle Assessment (LCA) of the biofuel production process from sunflower oil, rapeseed oil and soybean oil. *Fuel Processing Technology*, 92(2), 190–199. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.03.004>

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *BioTecnología*, 16(2), 14–46.

Shishir, M. R. I., y Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology*, 65, 49–67. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>

Singh, R. P., Singh, P., Araujo, A. S. F., Hakimi Ibrahim, M., y Sulaiman, O. (2011). Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(7), 719–729. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.005>

Steinbüchel, A., y Fuchtenbusch, B. (1998). Bacterial and other biological systems for polyester production. *Trends in Biotechnology*, 16(10), 419–427. [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(98\)01194-9](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(98)01194-9)

Steinbüchel, A., y Lütke-Eversloh, T. (2003). Metabolic engineering and pathway construction for biotechnological production of relevant polyhydroxyalkanoates in microorganisms. *Biochemical Engineering Journal*, 16(2), 81–96. [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(03\)00036-6](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(03)00036-6)

Sudesh, K., Abe, H., y Doi, Y. (2000). Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: Biological polyesters. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 25(10), 1503–1555. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(00\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(00)00035-6)

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, S. (2011). *Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia*. Bogotá.

Sztern, D., y Pravia, M. (1999a). Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. *Organización Panamericana de La Salud*, 1–69.

Sztern, D., y Pravia, M. A. (1999b). *Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos*. Organización Panamericana de la Salud.

Taufiqurrahmi, N., Mohamed, A. R., y Bhatia, S. (2011). Production of biofuel from waste cooking palm oil using nanocrystalline zeolite as catalyst: Process optimization studies. *Bioresource Technology*, 102(22), 10686–10694. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.08.068>

Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: Past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*, 14(3), 71–78. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)

Vega-Castro, O., Contreras-Calderon, J., León, E., Segura, A., Arias, M., Pérez, L., y Sobral, P. J. A. (2016). Characterization of a polyhydroxyalkanoate obtained from pineapple peel waste using *Ralstonia eutropha*. *Journal of Biotechnology*, 231, 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.06.018>

Wang, Y. C., Chuang, Y. C., y Hsu, H. W. (2008). The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan. *Food Chemistry*, 106(1), 277–284. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.086>

Wiggers, V. R., Wisniewski, A., Madureira, L. A. S., Barros, A. A. C., y Meier, H. F. (2009). Biofuels from waste fish oil pyrolysis: Continuous production in a pilot plant. *Fuel*, 88(11), 2135–2141. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.02.006>

Wisniewski, A., Wiggers, V. R., Simionatto, E. L., Meier, H. F., Barros, A. A. C., y Madureira, L. A. S. (2010). Biofuels from waste fish oil pyrolysis: Chemical composition. *Fuel*, 89(3), 563–568. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.07.017>

Woo, M. W., y Bhandari, B. (2013). *Spray drying for food powder production. Handbook of Food Powders*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.1.29>

World Bank. (2009). *Project Information Document (PID) Appraisal Stage Report No: AB4816*.

Wu, T., Guan, Y., y Ye, J. (2007). Determination of flavonoids and ascorbic acid in grapefruit peel and juice by capillary electrophoresis with electrochemical detection. *Food Chemistry*, 100(4), 1573–1579. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.042>

Wu, Y., Zhang, N., Wang, J., y Sun, Z. (2012). An integrated crop-vermiculture system for treating organic waste on fields. *European Journal of Soil Biology*, 51, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.03.005>

Yanik, J., Kornmayer, C., Saglam, M., y Yüksel, M. (2007). Fast pyrolysis of agricultural wastes: Characterization of pyrolysis products. *Fuel Processing Technology*, 88(10), 942–947. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2007.05.002>

Yepes, S. M., Naranjo, L. J. M., y Sánchez, F. O. (2008). AGROINDUSTRIAL WASTE VALORIZATION - FRUITS - IN MEDELLÍN AND THE SOUTH OF VALLE DE ABURRÁ, COLOMBIA. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4422–4431.

York, K., Rohwedder, W. K., Regional, N., y District, P. S. (1973). Poly-P-hydroxyalkanoate from Activated Sludge.



PRODUCTOS NATURALES COMO FUENTE DE MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACIÓN DE ENVASES ACTIVOS¹

*Diana María Granda-Restrepo²
Camilo Agudelo Cuartas³
Ángela María Pérez Martínez⁴
Yudy Stella Duarte Correa⁵
Oscar Vega-Castro⁶*

-
1. Capítulo de libro resultado de una revisión de literatura para la investigación relacionada con Productos Naturales como Fuente de Materias Primas para la Elaboración de Envases Activos.
 2. Profesional en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Magister en Biotecnología y PhD. en Ciencias, línea envases para alimentos. Docente Investigadora de la Universidad de Antioquia, Departamento de Alimentos. Grupo de Investigación BIOALI. Correo electrónico: diana.granda@udea.edu.co. <https://orcid.org/0000-0003-2421-9341>
 3. Ingeniero de Alimentos. Magister en Ingeniería. Investigador de la Universidad de Antioquia, Departamento de Alimentos. Grupo de Investigación BIOALI. Correo electrónico: camilo.agudeloc@udea.edu.co. <https://orcid.org/0000-0002-0864-9379>
 4. 4 Estudiante de Ingeniería de Alimentos. Joven Investigadora de la Universidad de Antioquia. Departamento de Alimentos, Grupo de Investigación BIOALI. Correo electrónico: angela.perez@udea.edu.co. <https://orcid.org/0000-0001-6431-0444>
 5. Ingeniera de Alimentos, Estudiante de Doctorado en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Universidad de Antioquia, correo electrónico: yudy.duarte@udea.edu.co. Orcid:0000-0001-9908-2007
 6. Ingeniero Agrícola, Msc. Tecnología de Alimentos. Doctor en Ingeniería. Docente investigador de la Corporación Universitaria Americana, correo electrónico: oavega@americana.edu.co. Orcid: 0000-0003-3517-9760

Resumen

Los biopolímeros están ganando cada vez más atención en respuesta a las crecientes preocupaciones sobre la sostenibilidad de los polímeros convencionales y a la contaminación ambiental causada por los residuos de envases plásticos. El uso de biomasa para diseñar un envase de alimentos resulta una alternativa interesante para superar este problema. Los biopolímeros deben contener y proteger los productos alimenticios, mantener su calidad sensorial y seguridad, e informar a los consumidores, como los envases convencionales.

Entre los biopolímeros más estudiados están carbohidratos como el almidón, pectina y quitosano, así como algunas proteínas como las del lactosuero, debido a su amplia disponibilidad, no toxicidad, su biodegradabilidad y bajo costo. Sin embargo, estos biopolímeros tienen sensibilidad a la humedad y bajas propiedades mecánicas, en comparación con envases convencionales, que restringen sus aplicaciones en el envasado de alimentos. Este capítulo se centra en el estado del arte relacionado con el desarrollo de diferentes tipos de envases de alimentos derivados de biomasa.

Palabras clave: biomasa, biopolímeros, envases activos, migración, nanotecnología

PRODUCTS AS SOURCE OF RAW MATERIALS FOR THE DEVELOPMENT OF ACTIVE PACKAGING

Abstract

Biopolymers are increasingly gaining attention in response to growing concerns about the sustainability of conventional polymers and the environmental pollution caused by plastic packaging waste. The use of biomass to design a food packaging is an interesting alternative to overcome this problem. Biopolymers must contain and protect food products, maintain their sensory quality and safety, and inform consumers, such as conventional packaging. Among the most studied biopolymers are carbohydrates such as starch, pectin and chitosan, as well as some proteins such as whey, due to its wide availability, non-toxicity, biodegradability and low cost. However, these biopolymers have sensitivity to moisture and low mechanical properties, compared to conventional containers, which restrict their applications in food packaging. This chapter focuses on the state of the art related to the development of different types of food packaging derived from biomass.

Key words: biomass, biopolymer, active packaging, migration, nanotechnology.

INTRODUCCIÓN

Cada año, alrededor de 170.000 millones de toneladas de biomasa se producen en la naturaleza y de esa cantidad cerca de 3,5% (6 billones de toneladas) son utilizados por la humanidad. La mayoría de los 6 mil millones de toneladas se utilizan para la alimentación, un tercio utilizado para energía, papel, mobiliario y construcción, y sólo el 5% para otros fines no alimentarios como productos químicos y ropa (Ramón *et al.* 2015). La biomasa que se genera en la naturaleza es una fuente inagotable de compuestos como carbohidratos, proteínas y lípidos, los cuales han mostrado amplias propiedades para generar materiales con características adecuadas para la protección y conservación de diferentes productos.

En los últimos años ha crecido el interés y la demanda de los consumidores por materiales de envase naturales, renovables y biodegradables, buscando reemplazar parcialmente los materiales elaborados a base de petróleo. Se espera que la demanda global de envases elaborados a partir de bioplásticos puede llegar a 884,000 toneladas para 2020, la tasa de crecimiento anual de los compuestos fue de 24.9% entre 2010 - 2015 y se espera que sea del 18.3% entre 2015 - 2020. En 2010, el grupo de materiales biopoliméricos elaborados a partir de almidón y celulosa representaron el 44.3% de este mercado. (Cerqueira *et al.* 2016).

Las principales tendencias en el área de envasado de diferentes productos muestran un fuerte interés de los consumidores por el uso de materiales obtenidos de fuentes renovables y biodegradables (Ribeiro *et al.* 2017), así mismo, las tendencias muestran que los consumidores asocian los aditivos sintéticos con efectos adversos en la salud humana, por lo que también se están explorando nuevas alternativas de aditivos extraídos de fuentes naturales (Ribeiro *et al.* 2017). Lo anterior está generando una creciente investigación para desarrollar envases a partir de recursos biológicos y que logren cumplir con las características mecánicas y funcionales que el consumidor exige, incluso con la incorporación de

compuestos e ingredientes activos naturales que ayuden a la conservación de los productos envasados (Siripatrawan *et al.* 2016).

Recientemente, el rol pasivo de los envases ha cambiado y ha pasado de ser simples sistemas de contención, para convertirse en envases que incluyen aspectos como seguridad, conveniencia, reducción de material, preocupaciones ambientales y seguros de inviolabilidad. Los envases están diseñados para proteger los productos de factores externos que pueden propiciar su degradación (temperatura, luz y humedad) y generan una barrera contra otras influencias ambientales (olores, microorganismos, polvo y fuerzas de compresión) (Ribeiro *et al.* 2017). Sin embargo, en algunas ocasiones las barreras generadas por los envases no son suficiente para proteger y prolongar la vida del producto, por lo que han surgido conceptos innovadores denominados envases activos e inteligentes.

Los envases activos se usan para prolongar la vida útil, mantener o mejorar el estado de los productos, especialmente alimentos envasados a través de la incorporación de compuestos destinados a ser liberados en el alimento o a absorber sustancias responsables del deterioro en éstos. El envase activo es un sistema en el que el envase, el ambiente de envase y el producto interactúan positivamente para mejorar la seguridad del producto y lograr otras características deseadas. (Ahmed *et al.* 2017), mientras que los envases inteligentes, se caracterizan por brindar información al consumidor sobre el estado del producto.

El desarrollo de envases activos e inteligentes ha avanzado a pasos agigantados empleando polímeros sintéticos, sin embargo, estos desarrollos se convierten en un reto cuando se desean hacer a partir de materiales biopoliméricos. Algunas investigaciones se han realizado con el fin de conocer el efecto de la incorporación de antioxidantes y antimicrobianos sobre matrices biopoliméricas (Zinoviadou *et al.* 2009; Gemili *et al.* 2010; A breu *et al.* 2011; Martins *et al.* 2012; Ramos *et al.* 2012; Ollé Resa *et al.* 2016; Deng *et al.* 2018)

Desde el punto de vista científico, el uso de materiales biopoliméricos para la producción de envases o recubrimientos, requiere la integración de diferentes áreas del conocimiento, polímeros, química, ciencia de los alimentos y biología. El sector farmacéutico, alimentario y biotecnológico reconocen a los biopolímeros como una alternativa de envasado para reducir los residuos no degradables y crear nuevas aplicaciones para mejorar las propiedades de los productos como su estabilidad, calidad, seguridad, inocuidad y conveniencia para los consumidores (Aguirre *et al.* 2018). El gran potencial que tienen los envases biopoliméricos tiene a los científicos profundizando en aspectos como:

- Diferentes materiales como polisacáridos, proteínas, lípidos y ceras y la interacción entre ellos para formar películas, así como la exploración de su potencial como aditivo por ejemplo como plastificantes o surfactantes.
 - Técnicas de procesamiento para la formación de envases biopoliméricos.
 - Evaluación de las propiedades de transporte, mecánicas, térmicas y de barrera de los biomateriales.
 - Posibles usos como vehículos de compuestos bioactivos y funcionales para la elaboración de envases activos e inteligentes.
 - La aplicación de la nanotecnología para la formación de recubrimientos y materiales multicapas (Cerqueira *et al.* 2016).

El objetivo de este capítulo es proporcionar una revisión de los aspectos más relevantes sobre los materiales naturales utilizados en la elaboración de envases para alimentos, tecnologías de procesamiento, el desarrollo de envases activos; aspectos relacionados con la migración de compuestos desde el envase, la nanotecnología aplicada en los biopolímeros y las propiedades importantes de los envases para ser aplicados en los alimentos.

Desarrollo de la investigación

Para la elaboración de este capítulo, se realizó una revisión sistemática, con búsquedas en las bases de datos ScienceDirect, Medline, Ebsco y Scielo y el motor de búsqueda Google Scholar hasta 30 de marzo de 2018, se tomó como periodo de tiempo para la revisión 2002-2018 y se incluyeron los estudios de carácter investigativos y de revisión que trabajaron los materiales naturales biodegradables para la elaboración de envases para alimentos.

Envases elaborados a partir de carbohidratos

Los carbohidratos provenientes de fuentes vegetales son los más variados y abundantes (comparados con los carbohidratos de origen animal), estos están conformados por carbono, hidrógeno y oxígeno. Entre los carbohidratos de mayor interés se encuentran los azúcares, la mayoría de los azúcares simples no se encuentran libres en la naturaleza, sino en forma de polisacáridos, y éstos se encuentran como reserva energética (almidones), o como parte de la estructura firme del producto (fibra dietética, celulosa, pectinas, gomas y hemicelulosa) (Dergal, 2006). Los carbohidratos están ampliamente disponibles en la biomasa de la naturaleza e incluso pueden extraerse de los residuos generados por diferentes industrias.

Las películas o recubrimientos elaborados a partir de polisacáridos son bloqueadores eficientes de oxígeno, debido a su forma de red ordenada unida por puentes de hidrógeno. Sin embargo, no tienen gran barrera a la humedad, por su naturaleza hidrofílica. Los recubrimientos o películas de polisacáridos son incoloros, tienen una apariencia libre de grasa y un menor contenido calórico y se pueden aplicar para aumentar la vida útil de frutas, verduras, mariscos o productos cárnicos reduciendo significativamente la deshidratación, el oscurecimiento de la superficie y la rancidez oxidativa (Hassan *et al.* 2018).

El almidón es una materia prima en abundancia, segura y económica. En Europa, aproximadamente 8 millones de toneladas de almidón se producen anualmente principalmente derivadas de la industria del maíz, papas y trigo, alrededor del 55% de los cuales se utiliza en el sector alimentario y 45% en el sector no alimentario. (Fang y Fowler, 2003). En los últimos años, el objetivo de muchos estudios ha sido obtener materiales biodegradables a base de almidón con el propósito de sustituir, al menos parcialmente, polímeros basados en petróleo sintético, ya que este compuesto tiene una gran capacidad para formar películas translúcidas y con muy buenas propiedades de barrera al oxígeno, sin embargo, las películas de almidón exhiben algunos inconvenientes derivados de su gran sensibilidad a la humedad y fenómenos de retrogradación, que afectan las propiedades mecánicas (las matrices se vuelven demasiado frágiles) y sus propiedades de barrera.

(Cano *et al.* 2014; Acosta *et al.* 2015). Diferentes estrategias se han considerado como un medio para superar estos problemas. Entre ellos: la modificación química o plasmática del almidón, la adición de compuestos hidrófobos, así como la formación de compuestos con otros polímeros o materiales de refuerzo (Nasri-Nasrabadi *et al.* 2014)

El almidón nativo no es un verdadero termoplástico, pero se puede convertir en un material similar al plástico llamado “almidón termoplástico” (TPS). En presencia de plastificantes a alta temperatura (90 °C - 180 °C) y bajo cizalla, el almidón se derrite y fluye fácilmente, lo que permite su uso como una extrusión, moldeo por inyección o material de moldeo por soplado, similar a la mayoría de los polímeros derivados del petróleo y denominados polímeros termoplásticos. Aunque TPS se puede procesar de la misma manera que los plásticos tradicionales, su sensibilidad al vapor de agua y sus pobres propiedades mecánicas lo hacen inadecuado para muchas aplicaciones. La combinación de almidón con polímeros soluble en agua como el polivinil alcohol (PVOH) actualmente se utiliza para producir rellenos sueltos basados en almidón y se emplean como materiales sustitutos del poliestireno expandido (PS), así mismo, ha encontrado gran aplicación como lámina formada por el proceso de extrusión y para formar bandejas por el proceso de termoformado (Robertson, 2016).

La pectina es un heteropolisacárido estructural de origen vegetal cuyas principales fuentes industriales están en las cáscaras de cítricos que se generan en las procesadoras de jugos. (Šešlija Sanja *et al.* 2018). La pectina es un ingrediente utilizado en la industria alimenticia sin ninguna otra limitación que las buenas prácticas de fabricación actuales, se considera generalmente reconocida como segura (GRAS) por la FDA (FDA, 2013a) y se ha utilizado en alimentos, principalmente como gelificante, estabilizante o agente espesante en productos tales como mermeladas, bebidas de yogurt, bebidas lácteas con sabor a fruta y helado.

Los revestimientos de pectinato no son buenas barreras para la humedad, pueden retardar la pérdida de agua de alimentos, ya que se evapora la humedad del gel antes que la humedad del alimento evitando la deshidratación de los productos y también se han investigado por su capacidad de retardar la migración de lípidos y mejorar la apariencia de los alimentos. La producción de películas biopoliméricas a partir de pectina puede lograrse mediante diversos métodos, tales como casting, extrusión, pulverización y recubrimiento con cuchilla (Judith *et al.* 2014; Nisar *et al.* 2018). En el campo de la preservación de alimentos, la pectina se usa como molécula transportadora de compuestos antimicrobianos y antioxidantes, además de su aplicación en la elaboración de envases comestibles para alimentos, se usa como material biopolimérico en envases activos por su biocompatibilidad, biodegradabilidad y no toxicidad; por su capacidad de formación de geles y por la obtención de fuertes polímeros insolubles al reaccionar con cationes metálicos multivalentes (como Calcio). (Naqash *et al.* 2017). Las películas y recubrimientos de pectina generan áreas cristalinas o amorfas, que pueden ser adecuadas para la integración de aditivos y compuestos hidrófilos, ya que la inmovilización de moléculas de agua en la estructura del envase activo facilita la retención de compuestos hidrófilos (Nisar *et al.* 2018).

Por otro lado, la quitina es, después de la celulosa, uno de los polisacáridos más abundantes producidos en la naturaleza, particularmente en el exoesqueleto de algunos artrópodos e insectos. El quitosano es un polisacárido hidrofílico que se obtiene a través

de la desacetilación de la quitina con álcalis, es un biopolímero versátil, no tóxico y no antigénico. El quitosano comercial típico está desacetilado aproximadamente en un 85% y a través de soluciones acuosas ácidas y aplicando el método de casting se pueden obtener películas con propiedades mecánicas y de barrera muy dependiente del grado de acetilación (Robertson, 2016).

Un aspecto muy relevante del quitosano es su amplio espectro antimicrobiano, al cual son susceptibles las bacterias gram-negativas y gram-positivas, así como hongos. Esta propiedad se mantiene incluso cuando el compuesto toma forma de película y se atribuye a la migración positiva de fracciones de glucosamina protonada. Se ha sugerido también que el quitosano a pH 6 genera condiciones óptimas para lograr protección antimicrobiana y antioxidante en alimentos líquidos y sólidos (Friedman y Juneja, 2010). Estudios realizados muestran los efectos del recubrimiento de quitosano en la vida útil de productos recién cortados como fresas, zanahoria, mango, melón, piña y champiñón; en todos los casos, se inhibió el crecimiento microbiano y aumentó la vida útil (Tamer y Çopur, 2010).

En general, existen gran variedad de biopolímeros elaborados a partir de carbohidratos, todos ellos con diferentes propiedades mecánicas y de barrera, lo que permite incluso pensar en la combinación de ellos para mejorar las condiciones de protección para los productos que contienen.

Envases para alimentos elaborados a partir de proteínas y lípidos

Se ha estudiado ampliamente las propiedades de formación de película de diversas proteínas globulares como la proteína de soja, gluten de trigo, proteína de suero de leche y zeína de maíz. La zeína es una proteína prolamina de naturaleza hidrofóbica (dada su alta concentración de aminoácidos no polares) proveniente del maíz (Deng *et al.*, 2018), las películas y recubrimientos elaborados con dicha proteína son muy frágiles por lo que se hace necesario el uso de un agente plastificante (Machado *et al.*, 2017). La gelatina es otro biopolímero empleado en la elaboración de envases activos, dado su bajo costo es usado comúnmente. Las películas y recubrimientos elaborados con gelatina exhiben buena transparencia, propiedades mecánicas y de barrera. La desnaturalización proteica se realiza mediante el uso de ácidos, bases, solventes y calor para dar forma a los sistemas extra prolongados que se requieren para la formación de la película, una vez se prolongan, las cadenas de proteína se unen a través de puentes de hidrógeno, enlaces iónicos y covalentes. La interacción entre cadena y cadena determina la fuerza de las películas biopoliméricas; las interacciones más altas producen películas más fuertes, sin embargo, son menos permeables a los vapores, líquidos o gases. (Machado *et al.* 2017)

Si se compara la proteína del suero lácteo con otras proteínas comunes como gluten, soja u otros biopolímeros, la primera ha sido más estudiada y caracterizada para aplicaciones de envasado debido a su abundante disponibilidad. Entre las ventajas presentadas por las películas o recubrimientos de la proteína del suero están: transparencia, flexibilidad, buen aroma, barrera a oxígeno y lípidos. Sin embargo, estas películas tienen una baja barrera contra la humedad, estabilidad térmica y propiedades de tracción (Hassan *et al.* 2018).

Las películas y recubrimientos a partir de proteínas y polisacáridos generalmente tienen

propiedades mecánicas adecuadas y buena barrera para los gases, pero no para el vapor de agua. Por otro lado, las películas y recubrimientos de lípidos tienen buenas propiedades de barrera al agua, pero son débiles; así que la combinación entre lípidos y proteínas es una forma de elaborar envases activos compuestos que cumplan los requisitos para su uso en el envasado de alimentos (Otoni *et al.*, 2014).

En el envasado activo los lípidos son una excelente barrera contra la migración de humedad debido a su baja polaridad; además, al mezclarlos con proteínas y polisacáridos, producen recubrimientos con mayor resistencia mecánica y propiedades de barrera, comparados a las de los lípidos puros. Las películas y recubrimientos de lípidos son más frágiles y gruesos debido a su hidrofobicidad, sin embargo, las películas o recubrimientos que contienen lípidos pueden dañar la apariencia o el brillo de los alimentos recubiertos. Los principales compuestos lipídicos empleados en el envasado de alimentos son monoglicéridos acetilados, ceras y tensoactivos (Hassan *et al.* 2018).

El recubrimiento con ceras es común en varias frutas y vegetales, como frutas cítricas, tomates y pepinos para limitar la pérdida de agua e intercambio de gases, además aportan una apariencia brillante para frutas e incluso pueden proteger contra la invasión de algunos microorganismos e insectos. La modificación de la atmósfera interna por el recubrimiento puede causar fermentación y producción de sabores desagradables si la capa de recubrimiento es gruesa. Los materiales lipídicos usados para recubrimientos incluyen parafina, cera de carnauba, cera de abeja, cera de candelilla, aceites minerales, entre otros (Dris y Jain, 2004). Se ha evaluado la aplicación en películas y recubrimientos para frutas y hortalizas por medio de compuestos lipídicos, especialmente ceras; Singh *et al.* (2016) aplicaron un recubrimiento comestible a base de cera carnauba para la conservación y extensión en la vida útil de berenjena, obteniendo una reducción de la pérdida de peso fisiológica y una conservación en la firmeza del producto, y en combinación con aditivos como polietilenglicol, alginato de sodio y dodecilsulfato sódico, un aumento en la vida útil del producto en 9 días. Además, Saucedo *et al.* (2009) elaboraron películas a base de cera de candelilla y ácido elágico para mejorar la vida útil y calidad del aguacate, obteniendo una reducción importante en el daño causado por *Colletotrichum gloeosporioides*, el principal hongo fitopatógeno de los aguacates, además de conservar la apariencia y el peso de la fruta.

Envases activos elaborados a partir de biopolímeros.

Los alimentos se protegen empleando materiales de envase que tienen la función principal de contener y proteger, sin embargo, en muchos casos se presentan interacciones entre el producto y el material de envase que favorece el proceso de protección, estos son los denominados envases activos. Las interacciones se pueden presentar a través del espacio de cabeza y el producto. Además, el material de envase, o un componente del mismo, como un sello o cierre, puede interactuar con el producto o permitir la transferencia de ciertos compuestos dentro o fuera del envase (Robertson, 2013). Algunos de los sistemas de envasado activos más importantes aplicados en alimentos son: envases *activos antimicrobianos* y *antioxidantes*.

Hay cuatro categorías básicas de embalaje antimicrobiano y antioxidante: 1)

Incorporación de sustancias protectoras en un sachet para favorecer la liberación gradual hacia el alimento. 2) Incorporación directa de los agentes antimicrobianos y antioxidantes en la película o envase a través de procesos como extrusión, electrospinning o casting. En estos procesos los compuestos se liberarán gradualmente desde el polímero hasta el espacio de cabeza para ejercer su acción protectora. 3) Recubrimiento del envase con una matriz que actúa como portadora de los compuestos antimicrobianos y antioxidantes, los cuales se puedan liberar en la superficie de los alimentos a través de la evaporación en el espacio de cabeza (sustancias volátiles) o migración a los alimentos. 4) Uso de polímeros que son intrínsecamente antimicrobianos. Dos ejemplos de estos polímeros utilizados en alimentos son el quitosano y la poli-L-lisina (Fang *et al.*, 2017)

Abdollahi y colaboradores utilizaron una matriz de quitosano en la que se incorporó aceite esencial de romero y una nanoarcilla de montmorillonita (hidroxisilicato de Mg y Al), el aceite esencial de romero actuó como antimicrobiano, permitiendo inhibir bacterias gram-positivas (*L. monocytogenes*, *S. agalactiae*) y gram-negativas (*E. coli*), la montmorillonita mejoró las propiedades de barrera del biopolímero, disminuyendo la permeabilidad al vapor de agua y la solubilidad, siendo esta última una propiedad importante en el diseño de envases, debido a que los alimentos presentan una alta actividad de agua y el envase está en contacto directo con ellos, además la montmorillonita aumentó la fuerza de tensión y el porcentaje de elongación (Abdollahi *et al.* 2012).

Otro estudio realizado por Otin y colaboradores (2011), evaluó las cinéticas de liberación de carvacrol y eugenol como compuestos antimicrobianos/antioxidantes en envases elaborados a partir de proteínas de suero lácteo; empleando simulantes de alimentos grasos y acuosos lograron concluir que la difusión del eugenol es más rápida que la del carvacrol hacia cualquier tipo de alimento (Otin, 2011). También películas de Proteínas de Suero Lácteo (PSL) con natamicina se emplearon para conocer su efecto sobre la vida útil de arepas de maíz blanco, las cuales son muy propensas a deterioro por hongos y levaduras, el estudio permitió evidenciar que los envases activos con natamicina aumentan la vida útil de las arepas en 3.6 días a temperatura ambiente, la adición de la natamicina en el biopolímero aumentó la fuerza de tensión y el módulo de Young, y disminuyó el porcentaje de elongación del biopolímero (Restrepo, 2014).

En el presente capítulo sólo se presentan algunos ejemplos de envases activos realizados con biopolímeros, pero las investigaciones en esta área son enormes y se están profundizando los estudios para identificar los mecanismos de acción protectora de los compuestos, cuando son incorporados en diferentes sistemas biopoliméricos.

Procesos empleados para la elaboración de envases activos

En el proceso de revestimiento de los envases activos los factores protectores (antioxidantes y agentes antimicrobianos) se mezclan con el polímero y aditivos aglutinantes hasta formar una sustancia homogénea. Esta tecnología tiene varias características que deberían ser evaluadas para elegir la técnica más adecuada para producir el envase activo para un producto en particular. Primero que todo, el polímero se debe disolver en un solvente adecuado y la solución obtenida debe tener la viscosidad apropiada para recubrir, y

la volatilidad suficiente para facilitar el proceso de secado; ya que no todos los polímeros se disuelven fácilmente. Una vez que el polímero y el solvente o mezcla de solventes potenciales han sido seleccionados, es necesario considerar el agente antimicrobiano o antioxidante que será dispersado y preferiblemente disuelto con el polímero en el mismo solvente. Si uno de los dos solutos (o ambos) no se disuelve, pero se dispersa, el resultado probablemente será una distribución homogénea del agente antimicrobiano o antioxidante en la matriz polimérica a lo largo con separación de fases, la cual puede ser claramente observable y depende del tamaño de las partículas dentro de la dispersión y del proceso de secado. Si el polímero y el agente microbiano son solubles en el mismo líquido puro, se distribuyen homogéneamente en la solución y el revestimiento o película obtenido al final del proceso probablemente será homogéneo (Gavara, 2015)

Entre los métodos usados para la elaboración de envases activos se encuentra el método de Casting; éste consiste en la difusión de una solución formadora de película sobre una superficie plana y antiadherente, seguida de la remoción de la película previamente seca. El método casting es simple para producir películas, pero tiene la desventaja de ser un procedimiento por lotes sólo utilizado para la producción de películas a muy pequeña escala.

Otro método empleado para la elaboración de biopolímeros activos es el denominado Knife-coating o recubrimiento con cuchillas, el cual es un procedimiento continuo de fabricación de películas industriales que busca compensar la debilidad del método Casting. En este método se emplean cuchillas que se extienden sobre una capa de solución en una superficie en movimiento. Las cuchillas se gradúan con micrómetros para definir la altura de éstas y ajustar así el espesor de la película. (Rossman, 2009). El método permite un control efectivo del espesor y velocidad de aplicación sobre un soporte adecuado que se puede elegir para cada solución de biopolímero utilizada. La importante ventaja de las películas producidas por recubrimiento con cuchilla radica en una mejor uniformidad, debido a un estricto control del espesor y mayor reproducibilidad, principalmente en las pruebas de tracción. Otra ventaja del proceso es la reducción importante del tiempo de secado de 24 a 48 h, para el método de Casting, a sólo 2 h. Por lo tanto, el recubrimiento con cuchilla es un buen método para producir películas en gran escala. (Judith *et al.* 2014)

Para la elaboración de películas a partir de biopolímeros, es necesario emplear aditivos que permitan mejorar algunas propiedades. Los solventes más usados en la producción de películas son: agua, etanol, o una combinación de ambos. Otro componente importante en la elaboración de envases biopoliméricos es el agente plastificante. Generalmente es una molécula pequeña de baja volatilidad, que cuando se agrega a biopolímeros, modifica su organización tridimensional, disminuye las fuerzas moleculares atractivas y aumenta el volumen libre y la movilidad de la cadena. Estos cambios dan como resultado una mayor capacidad de extensión, dispersabilidad y flexibilidad de la película desarrollada, reduciendo al mismo tiempo la cohesividad y rigidez de la película. La selección de un agente plastificante se basa en la compatibilidad y la permanencia de éste, la cantidad necesaria para la plastificación, y las propiedades físicas deseadas de las películas (Ne y Kru, 2018). Los plastificantes de grado alimentario incluyen glicerol y sorbitol, siendo el glicerol el compuesto más usado en las técnicas de fabricación de películas, debido a su estabilidad

y compatibilidad con la cadena de empaquetamiento biopolimérico (Judith *et al.* 2014).

La extrusión se usa para la producción de envases plásticos convencionales y algunos materiales biopoliméricos. Este proceso usa uno o dos tornillos giratorios equipados en un barril, donde se aumenta progresivamente la presión e impulsa y mezcla los ingredientes requeridos para fabricar el polímero comercial a través de un molde. A nivel industrial se prefiere la extrusión al casting como método para la fabricación de películas porque la extrusión es un proceso más rápido y requiere menor cantidad de energía para eliminar el agua; sin embargo, hay una cantidad limitada de estudios en los que se empleen en biopolímeros activos, dado que muchas variables del proceso deben ser controladas. (Judith *et al.* 2014)

La aspersión o spraying es otro método alternativo para recubrir una superficie. Se usa un sistema de pulverización sin aire, en el que una solución de polímero presurizada a 30-300 bars, es atomizada dentro de pequeñas gotitas después de salir por una boquilla. En otros sistemas, se usa aire presurizado para atomizar la solución polimérica. Esta técnica se usa comúnmente en la aplicación de recubrimientos sobre otro material sintético o biopolimérico. El tiempo de aplicación del spray es corto (0,1 s) y produce un recubrimiento uniforme. La cantidad de recubrimiento depositado es grande y normalmente requiere un paso de secado posterior del recubrimiento (Gavara, 2015).

Procesos de migración en los envases activos.

La migración es la transferencia de masa de sustancias de bajo peso molecular desde el material de envase hacia el alimento durante su preparación o almacenamiento a condiciones específicas (Baughan, 2015) siendo la migración controlada por la difusión molecular (Sun Lee, Yam, y Piergiovanni, 2008). Una suposición generalmente aceptada de la migración de sustancias sólidas en una matriz sólida es basada en la segunda ley de Fick (Ecuación 1), la cual describe la concentración de un compuesto de interés como función del tiempo y la posición (Crank, 1979).

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde D es el coeficiente de difusión en el envase y también aplica para el alimento (m^2s^{-1}).

En la migración hay dos parámetros que son importantes, el coeficiente de partición ($K_{p/f}$) descrita mediante la ecuación 2 y el coeficiente de difusión (D); el coeficiente de partición expresa la solubilidad relativa del migrante entre el material de envase y el alimento, está definido por la proporción de la concentración del migrante en el material de envase (C_p) y la concentración de este en el alimento (C_f) en equilibrio.

$$k_{p/f} = \frac{C_{p,\infty}}{C_{f,\infty}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Cuando se llega al equilibrio en el sistema, este puede expresarse mediante las concentraciones del migrante en las diferentes fases (envase y alimento), si el coeficiente de partición presenta un valor mucho mayor a 1, la concentración de equilibrio en el material de envase es muy superior a la concentración en el alimento, es decir la migración será muy lenta hacia el alimento. Si el coeficiente de partición es mucho menor a 1, la concentración de equilibrio en el alimento es mayor que en el material de envase, resultando como una migración rápida desde el envase hacia el alimento (Samsudin, Auras, Burgess, Dolan, y Soto-Valdez, 2018).

El coeficiente de difusión mide la velocidad del compuesto que migra en una matriz determinada (polimérica o biopolimérica) y para calcularlo se emplea una solución matemática a la ecuación de la segunda ley de Fick (ecuación 3), la cual aplica para la difusión en una dimensión y se limita para el sistema envase-alimento.

$$\frac{M_{f,t}}{M_{f,\infty}} = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2\pi^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2\pi^2}{4d_p^2}Dt\right] \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde $M_{f,t}$ es la concentración del migrante en el alimento en un tiempo particular t , $M_{f,\infty}$ es la concentración del migrante en el alimento en equilibrio, d es el espesor de la película y D es el coeficiente de difusión del migrante en el material.

El progreso de la migración se evalúa por determinaciones periódicas de la concentración de los migrantes en el sistema envase alimento, el coeficiente de difusión se calcula al graficar el tiempo contra la proporción $M_{f,t}/M_{f,\infty}$ y ajustar los datos experimentales mediante la ecuación 3 minimizando el error entre los valores medidos y calculados.

Efecto de la temperatura en la migración

Para la determinación del coeficiente de difusión como función de la temperatura de un compuesto migrante se usa la ecuación de Arrhenius (Ecuación 4).

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde D_0 es el factor pre exponencial del coeficiente de difusión, E_a es la energía de activación de la difusión, R es la constante de gases ideales ($8,3145 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$) y T es la temperatura en K.

Una solución matemática de la segunda ley de Fick se utilizó para comparar la liberación de antioxidantes naturales, alfa-tocoferol y resveratrol en películas de

ácido poli-L-láctico (PLLA) y ácido poli-L-láctico con almidón (PLLA/Almidón) en etanol como simulante a 13, 23 y 43 °C (Hwang *et al.* 2013). La tabla 1 muestra los valores del coeficiente de difusión para antioxidantes en los dos tipos de películas evidenciando el efecto de la dependencia de la temperatura, a mayor temperatura, mayor valor de D . Valores de $K_{p/f} < 1$ expresan una mayor concentración de alfa-tocoferol o resveratrol en el etanol en comparación con la película PLLA o PLLA / Almidón, esto en contraste con un mayor valor de D , explicando que, a mayor coeficiente de difusión, mayor transferencia de masa hacia el etanol; pudiéndose aplicar también a otros tipos de materiales biopoliméricos.

Desde el punto de vista nanotecnológico, las nanofibras de celulosa (CNF) se han investigado para la elaboración de materiales funcionales de envasado de alimentos debido a que su red nanoporosa puede controlar la liberación de especies activas. Lavoine y colaboradores realizaron estudios en sustratos de papel recubiertos con CNF como sistema de liberación controlada para el envasado de alimentos usando dos moléculas modelo, cafeína y digluconato de clorhexidina (CHX) como antimicrobiano en agua desionizada. En comparación con la cafeína, la difusión de CHX fue drásticamente más lenta debido a la diferencia en el tamaño molecular entre las dos especies y la presencia de interacciones químicas fuertes entre CHX y celulosa (Tabla 1). El uso de CNF como recubrimiento o mezclado con las moléculas influyó ligeramente en la difusión. Se requiere otro modelo diferente a la solución de la segunda ley de Fick (ecuación 3) cuando el CHX interactúa químicamente con el dispositivo de liberación, ya que se observó una liberación no controlada por difusión. El uso de CNF como recubrimiento de barrera demostró ser la configuración de material ideal que mejor se adapta a las especificaciones de un envasado (Lavoine *et al.* 2016).

Tabla 1. Coeficientes de difusión y de partición para diferentes sistemas de envasado activo.

Matriz	Agente Activo	Temperatura (°C)	D (m ² s ⁻¹)	K _{p/f}	Referencia		
Ácido poli-L-láctico (PLLA)	alfa-tocoferol (40mg /g)	13	3.95 x 10 ⁻¹⁴	40.37	Hwang <i>et al.</i> 2013		
		23	9.4 x 10 ⁻¹⁴	7.5			
		43	89.0 x 10 ⁻¹⁴	0.018			
	Resveratro l (40mg /g)	13	0.085 x 10 ⁻¹⁴	4.62			
		23	0.9 x 10 ⁻¹⁴	0.8			
		43	24.8 x 10 ⁻¹⁴	0.028			
		Ácido poli-L-láctico / Almidón (PLLA/Almidón)	alfa-tocoferol (40mg /g)	13		0.82 x 10 ⁻¹⁴	2.17
				23		7.41 x 10 ⁻¹⁴	0.672
				43		237.0 x 10 ⁻¹⁴	0.0015
Resveratro l (40mg /g)	13		1.66 x 10 ⁻¹⁴	1.1			
	23		4.16 x 10 ⁻¹⁴	0.147			
	43		40.1 x 10 ⁻¹⁴	0.063			
Papal CNF	Cafeína CHX	Temperatura ambiente	58 x 10 ⁻¹³	202	Lavoine <i>et al.</i> 2016		
			6.7 x 10 ⁻¹³	858			
	65 x 10 ⁻¹³		415				
	1.0 x 10 ⁻¹³		1263				

El rol de la nanotecnología en los biopolímeros.

El desarrollo de materiales nanoestructurados reveló un avance prometedor de la nanotecnología, donde estos pueden ser de una matriz polimérica natural y un “activo” orgánico y/o inorgánico con al menos una dimensión en la escala nanométrica que va de 1 a 1000 nanómetros proporcionando ventajas de biocompatibilidad, biodegradabilidad

y liberación de compuestos activos en el envasado de alimentos, mejorando además las propiedades mecánicas, propiedades de barrera al vapor de agua y estabilidad térmica de los materiales de envase (Abreu *et al.* 2015; Zambrano, 2013).

Métodos de producción de nanocompuestos (nC)

En general, las técnicas utilizadas para fabricar nanopartículas (figura 1) se pueden categorizar en: “*top-down*”, de arriba hacia abajo: las estructuras nanométricas se obtienen por la reducción de tamaño de los macrocompuestos. Y “*bottom-up*”, de abajo hacia arriba: permite la construcción de nanoestructuras a partir de átomos individuales o moléculas capaces de conectarse. Para una aplicación generalizada, estos métodos deben ser comercialmente viables, rentables, usar solventes no tóxicos y aplicables a ingredientes de calidad alimentaria (Joye y McClements, 2014).

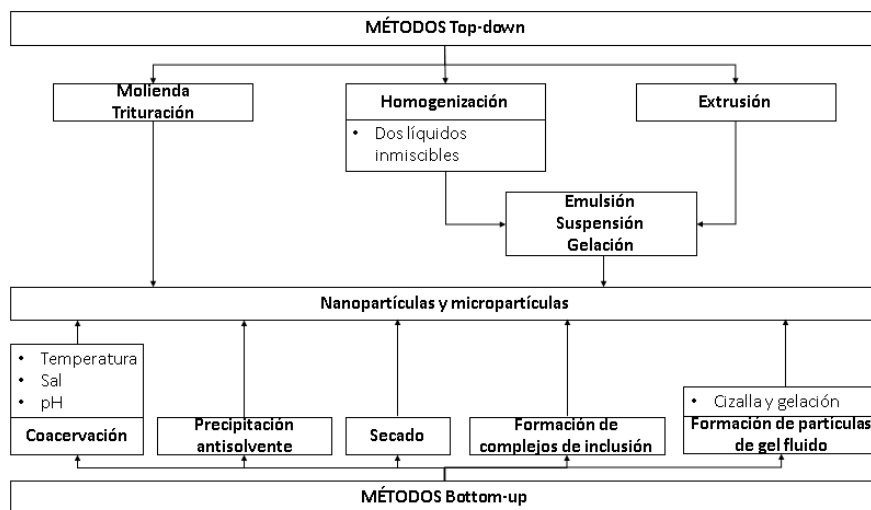


Figura 1. Diferentes técnicas utilizadas para producir nanopartículas y micropartículas basadas en biopolímeros.
Fuente: Elaboración propia

La ventaja de los nanomateriales en aplicaciones de envasado de alimentos radica en que los materiales son capaces de mantener compuestos bioactivos (prebióticos, probióticos, vitaminas encapsuladas, entre otros) en condiciones óptimas hasta que se liberen en el alimento. Estos ayudan a controlar la oxidación de productos alimenticios y evitar la formación de sabores extraños y texturas indeseables.

Entre los diversos biopolímeros, el quitosano tiene propiedades únicas antimicrobianas y formadoras de película. La utilización de estos materiales únicos se puede ampliar agregando propiedades biofuncionales adicionales como funciones antimicrobianas o antioxidantes mediante la formación de nC formulados con diversos tipos de nanopartículas como nanoarcillas, nanopartículas de plata, zeolita de plata, óxidos metálicos, hidróxidos metálicos y nanowiskers de celulosa (Duncan, 2011).

La resistencia al agua es demasiado pobre para utilizar los nC como materiales de envase, especialmente en condiciones ambientales húmedas. Por lo tanto, se necesitan mejoras adicionales en el desarrollo de la formulación óptima para el polímero individual y el método de procesamiento requerido para obtener las propiedades necesarias para satisfacer una amplia gama de aplicaciones, así como la reducción de costos. Las mezclas de más de dos biopolímeros naturales o la mezcla de un biopolímero natural con otros polímeros biodegradables como PLA, PCL o PHA también pueden proporcionar buenas oportunidades para la mejora de los materiales nC (Bagchi *et al.* 2012)

CONCLUSIONES

El uso de biomasa disponible en la naturaleza o generada como residuo por diferentes industrias, se convierte en materia prima óptima para la elaboración de envases activos biopoliméricos, los cuales presentan propiedades mecánicas y de barrera, ajustables a las necesidades de protección de los alimentos. El uso de compuestos naturales con acción antimicrobiana y antioxidante, así como el desarrollo de materias primas biodegradables con función plastificante, han apoyado el desarrollo y aplicación de los biopolímeros en los procesos de conservación de alimentos.

El modelado matemático de la transferencia de masa es necesario para comprender y optimizar los sistemas de envasado activo para: (i) predecir por adelantado los fenómenos de transferencia de masa y por ende la vida útil del alimento. (ii) calcular los parámetros (D y $K_{p/p}$) de un migrante determinado en el sistema de envasado. Lo anterior permite optimizar la formulación de película biopolimérica con la cantidad inicial de agente activo necesaria para cumplir con su objetivo de conservación. La mayoría de estos estudios se han llevado a cabo utilizando sistemas de simulación de alimentos sin tener en cuenta los posibles efectos de dicho tipo de sistema de liberación en casos de alimentos reales. Por lo que se ha abierto la posibilidad de complementar estos estudios con métodos numéricos.

La nanotecnología es cada vez más importante para el sector alimentario ya que permite la incorporación de nanocompuestos en los materiales de envasado de alimentos para mejorar las diversas propiedades de los materiales de envase y aumentar la vida útil de los alimentos mediante la inhibición de reacciones microbiológicas y oxidativas.

REFERENCIAS

Abdollahi, M., Rezaei, M., & Farzi, G. (2012). A novel active bionanocomposite film incorporating rosemary essential oil and nanoclay into chitosan. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 343–350. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.012>

Acosta, S., Jiménez, A., Cháfer, M., González-Martínez, C., & Chiralt, A. (2015). Physical properties and stability of starch-gelatin based films as affected by the addition of esters of fatty acids. *Food Hydrocolloids*, 49, 135–143. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.015>

Abreu, A. S., Oliveira, M., de Sá, A., Rodrigues, R. M., Cerqueira, M. A.,

Vicente, A. A., & Machado, A. V. (2015). Antimicrobial nanostructured starch based films for packaging. *Carbohydrate Polymers*, *129*, 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.04.021>

Aguirre, J. A., De Leon, M. A., Álvarez, O. B., Torres, C., Nieto, D. E., Ventura, J. M., ... Aguilar, C. N. (2018). Chapter 1 - Basic and Applied Concepts of Edible Packaging for Foods A2 - Grumezescu, Alexandru Mihai. In A. M. B. T.-F. P. and P. Holban (Ed.), *Handbook of Food Bioengineering* (pp.1–61). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811516-9.00001-4>

Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Brody, A. L., Li, Z., Qazi, I. M., ... Lv, L. (2017). A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. *Food Control*, *82*, 163–178. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.009>

Bagchi, D., Bagchi, M., Moriyama, H., y Shahidi, F. (2012). *Bio-Nanotechnology: A Revolution in Food, Biomedical and Health Sciences*. Wiley

Baughan, J. S. (2015). Regulatory Aspects for Active and Intelligent Packaging Materials and Articles. ... In *Global Legislation for Food Contact Materials*. Elsevier.

Cano, A., Jiménez, A., Cháfer, M., González, C., & Chiralt, A. (2014). Effect of amylose: amylopectin ratio and rice bran addition on starch films properties. *Carbohydrate Polymers*, *111*, 543–555. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.075>

Cerqueira, M., Teixeira, J., & Vicente, A. (2016). *Edible Packaging Today. In Edible Food Packaging Materials and processing Technology*. Da-Wen Sun. Series Editor. CRC Press Taylor Editor <https://doi.org/10.1201/b19468-2>

Crank, J. (1979). *The Mathematics of Diffusion*. Clarendon Press.

Deng, L., Kang, X., Liu, Y., Feng, F., & Zhang, H. (2018). Food Hydrocolloids Characterization of gelatin / zein films fabricated by electrospinning vs solvent casting. *Food Hydrocolloids*, *74*, 324–332. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.023>

Dergal, S. B. (2006). *Química de los alimentos*. Pearson Educación. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=b4ITAAAACAAJ>

Dris, R., & Jain, S. M. (2004). *Production Practices and Quality Assessment of Food Crops: Volume 4: Postharvest Treatment and Technology*. Springer Netherlands.

Duncan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, *363*(1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>

Fang, J., & Fowler, P. (2003). The use of starch and its derivatives as biopolymer sources of packaging materials. *Food, Agriculture y Environment*, *1*.

Fang, Z., Zhao, Y., Warner, R. D., & Johnson, S. K. (2017). Active and intelligent packaging in meat industry. *Trends in Food Science & Technology*, *61*, 60–71. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.002>

FDA, (2013a) *182-Substances generally recognized as safe*.

FDA, (2013B) *Multiple purpose GRAS food substances, 182.1320-glycerin*

Gavara, R. (2015). *Practical Guide to Antimicrobial Active Packaging*. Smithers Information Limited.

Hassan, B., Ali, S., Chatha, S., Hussain, A. I., y Zia, K. M. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1095–1107. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>

Hwang, S. W., Shim, J. K., Selke, S., Soto-Valdez, H., Matuana, L., Rubino, M., & Auras, R. (2013). Migration of α -tocopherol and resveratrol from poly (L-lactic acid)/starch blends films into ethanol. *Journal of Food Engineering*, 116(4), 814–828. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.032>

Joye, I. J., & McClements, D. J. (2014). Biopolymer-based nanoparticles and microparticles: Fabrication, characterization, and application. *Current Opinion in Colloid y Interface Science*, 19(5), 417–427. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2014.07.002>

Judith, P., Espitia, P., Du, W., Avena-bustillos, R. D. J., Fátima, N. De, Soares, F., & Mchugh, T. H. (2014). Food Hydrocolloids Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. *Food Hydrocolloids*, 35, 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.005>

Lavoine, N., Guillard, V., Desloges, I., Gontard, N., & Bras, J. (2016). Active bio-based food-packaging: Diffusion and release of active substances through and from cellulose nanofiber coating toward food-packaging design. *Carbohydrate Polymers*, 149, 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.048>

Machado, V., Vilela, S., Manoel, J., Irene, M., Rodrigues, A., Neto, S., & Coelho, T. (2017). Effect of replacement of corn starch by whey protein isolate in biodegradable film blends obtained by extrusion, *Carbohydrate Polymers*, 157, 971–980. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.046>

Martins, J. T., Cerqueira, M. A., y Vicente, A. A. (2012). Influence of α -tocopherol on physicochemical properties of chitosan-based films, *Food Hydrocolloids*, 27, 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.06.011>

Friedman and Vijak K. Juneja (September 2010) Review of Antimicrobial and Antioxidative Activities of Chitosans in Food. *Journal of Food Protection*, 73(9) 1737-1761

Nasri-Nasrabadi, B., Behzad, T., y Bagheri, R. (2014). Extraction and Characterization of Rice Straw Cellulose Nanofibers by an Optimized Chemomechanical Method. *Journal of Applied Polymer Science*, 131.

Naqash, F., Masoodi, F. A., Rather, S. A., Wani, S. M., y Gani, A. (2017).

Emerging concepts in the nutraceutical and functional properties of pectin: A Review. *Carbohydrate Polymers*, 168, 227–239. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.058>

Ne, A., y Kru, M. K. (2018). Food Hydrocolloids Edible blend films of pectin and poly (ethyleneglycol): Preparation and physico-chemical evaluation, 77, 494–501. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.027>

Nisar, T., Wang, Z., Yang, X., Tian, Y., Iqbal, M., y Guo, Y. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Characterization of citrus pectin films integrated with clove bud essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 670–680. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.068>

Ollé Resa, C. P., Gerschenson, L. N., y Jagus, R. J. (2016). Starch edible film supporting natamycin and nisin for improving microbiological stability of refrigerated argentinian Port Salut cheese. *Food Control*, 59, 737–742. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.056>

Otoni, C. G., Moura, M. R. De Aouada, F. A., Camilloto, G. P., Cruz, R. S., Lorevice, M. V, ... Mattoso, L. H. C. (2014). Food Hydrocolloids Antimicrobial and physical-mechanical properties of pectin / papaya puree / cinnamaldehyde nanoemulsion edible composite films. *Food Hydrocolloids*, 41, 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.04.013>

Otín, J. (2011). *Estudio de la Difusión del Carvacrol y el Eugenol desde Películas de Proteína de Suero Lácteo a Diferentes Simulantes Alimentarios*. [Tesis de maestría]. Universidad Pública de Navarra.

Ramón, M. C., Castillo, G., López, E., Revisión Técnica Por, M., Uach, L., Pérez Zamorano, A., ... Carlos De La Cruz Ramírez, L. D. G. (2015). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2015-2024*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i4738s.pdf>

Robertson, G. L. (2016). Edible, Biobased and Biodegradable Food Packaging Materials. In *Food Packaging: Principles and Practice*. CRC Press.

Ramos, M., Jiménez, A., Peltzer, M., y Garrigós, M. C. (2012). Characterization and antimicrobial activity studies of polypropylene films with carvacrol and thymol for active packaging. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 513–519. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.031>

Restrepo, J. D. (2014). *Evaluación de la migración de agentes antimicrobianos en películas de proteína de suero y su efecto sobre la extensión de vida útil en arepas de maíz blanco*. [Tesis de maestría]. Universidad de Antioquia

Ribeiro, R., Melo, N., y Andrade, M. (2017). Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends, *Trends in Food Science & Technology*, 61, 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.0212013>

Robertson, G. (2013). Edible, Biobased and Biodegradable Food Packaging

Materials. In: *Food Packaging: Principles and Practice*.

Rossmann J.M. (2009) Commercial Manufacture of Edible Films. In: Huber K., Embuscado M. (eds) *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer, New York, NY

Samsudin, H., Auras, R., Burgess, G., Dolan, K., & Soto-Valdez, H. (2018). Migration of antioxidants from polylactic acid films, a parameter estimation approach: Part I– A model including convective mass transfer coefficient. *Food Research International*, 105, 920–929. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.065>

Saucedo, S., Rojas, R., Aguilera, A. F., Saenz, A., La, H. De, Jasso, D., & Aguilar, C. N. (2009). Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Research International*, 42(4), 511–515. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.017>

Šešlija, S., Nešić, A., Ružić, J., Kalagasidis, K., Veličković, S., Avolio, R., Santagata, G., & Malinconico, M. (2018). Edible blend films of pectin and poly (ethyleneglycol): Preparation and physico-chemical evaluation, *Food Hydrocolloids* 77, 494–501. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.027>

Singh, S., Khemariya, P., Rai, A., Chandra, A., Koley, T. K., & Singh, B. (2016). Carnauba wax-based edible coating enhances shelf-life and retain quality of eggplant (*Solanum melongena*) fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 74, 420–426. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.004>

Siripatrawan, U., & Vitchayakitti, W. (2016). Improving functional properties of chitosan films as active food packaging by incorporating with propolis. *Food Hydrocolloids*, 61, 695–702. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.001>

Sun Lee, D., Yam, K., & Piergiovanni, L. (2008). *Food Packaging Science and Technology*. New York: CRC Press.

Tamer C.E., Çopur O.U. 2010. Chitosan: An edible coating for fresh-cut fruits and vegetables. *Acta Horticulturae* 877: 619–626),

Zambrano, M. (2013). *Desarrollo y caracterización de sistemas nanoparticulados con ingredientes alimenticios como vectores para incrementar la vida útil de alimentos*. [Tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Querétaro.

Zinoviadou, K. G., Koutsoumanis, K. P., & Biliaderis, C. G. (2009). Physico-chemical properties of whey protein isolate films containing oregano oil and their antimicrobial action against spoilage flora of fresh beef. *Meat Science*, 82(3), 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.02.004>

Capítulo
05

REACCIÓN DE MAILLARD EN PRODUCTOS LÁCTEOS¹

José Contreras Calderón²

Fáver Gómez Narváez³

Oscar Vega Castro⁴

Juan Osorio Árias⁵

Camilo Agudelo Cuartas⁶

-
1. Capítulo de libro resultado de una revisión de literatura sobre daño térmico en productos lácteos.
 2. Ingeniero de Alimentos, PhD Tecnología y Calidad de los Alimentos. Docente investigador de la Facultad de ciencias Farmacéuticas y Alimentarias, Universidad de Antioquia. jose.contreras@udea.edu.co. <https://orcid.org/0000-0003-4454-3181> faver.gomez@udea.edu.co. <https://orcid.org/0000-0001-9800-8147>
 3. Ingeniero Agrícola, Msc. Tecnología de Alimentos, Ph.D Ingeniería. Docente Investigador Corporación Universitaria Americana. oavega@americana.edu.co. <https://orcid.org/0000-0003-3517-9760>
 4. Ingeniero de Alimentos, Estudiante de doctorado en ciencias farmacéuticas y alimentarias. juan.osorioa@udea.edu.co. <https://orcid.org/0000-0002-2653-2481>
 5. Ingeniero de Alimentos, Estudiante de doctorado en ciencias farmacéuticas y alimentarias. camilo.agudeloc@udea.edu.co. <https://orcid.org/0000-0002-0864-9379>

Resumen

Los productos lácteos son alimentos con alto valor nutricional, los cuales se someten a diferentes tratamientos térmicos para su conservación y transformación, ocurriendo cambios fisicoquímicos, nutricionales y sensoriales. La reacción de Maillard (RM) se considera una de las más importantes reacciones químicas durante el procesado de los productos lácteos. Es común valorar los productos lácteos por su contenido proteico. Sin embargo, se ignora o se desconoce los efectos de los tratamientos térmicos sobre la calidad nutricional y la forma de evaluarlos. El presente trabajo pretende describir un conjunto de estrategias que permiten seguir la RM y que ayudan a establecer el daño térmico causado por los procesos de producción, así como por el almacenamiento de los productos lácteos. Basados en la revisión bibliográfica se evidencia la utilidad de los diferentes indicadores para establecer el avance de la RM y su implicación en la calidad nutricional de los diferentes productos lácteos.

Palabras clave: productos lácteos, reacción de Maillard, daño térmico, calidad nutricional, indicadores químicos.

MAILLARD REACTION IN DAIRY PRODUCTS

Abstract

Dairy products are foods with high nutritional value, which undergo different thermal treatments for their conservation and transformation, occurring physicochemical, nutritional and sensory changes. The Maillard reaction (MR) is considered one of the most important chemical reactions during the processing of dairy products. It is widespread practice to value dairy products for their protein content. However, the effect of thermal treatments on nutritional quality and how to evaluate it is ignored or unknown. The present work describes a set of strategies that allow to follow the MR and help to establish the thermal damage caused by the production processes, as well as by the storage of the dairy products. Based on the literature review, the usefulness of the different indicators to establish the progress of MR and its involvement in the nutritional quality of different dairy products is shown.

Key words: dairy products, Maillard Reaction, heat damage, nutritional quality, chemical indicators.

INTRODUCCIÓN

La leche y sus derivados constituyen uno de los alimentos naturales más completos a nivel nutricional, convirtiéndose en un alimento que no es fácil de ser sustituido. La leche es un medio nutritivo que presenta un ambiente favorable para el crecimiento de microorganismos patógenos y alterativos, por lo que son aplicados diferentes tratamientos térmicos para extender su conservación y garantizar su inocuidad. Sin embargo, cuando los productos lácteos se someten a los tratamientos térmicos ocurren muchos cambios fisicoquímicos, nutricionales y sensoriales cuyo alcance está directamente relacionado con la temperatura y la duración del tratamiento térmico (Guingamp, Humbert, Midon, Nicolas, y Linden, 1999).

La reacción de Maillard (RM) puede ser considerada una de las más importantes reacciones químicas durante el procesado de los productos lácteos. La RM influye sobre atributos de calidad tales como color, sabor y valor nutricional, incluyendo efectos deseables e indeseables, por lo que requiere la consideración de las condiciones de procesamiento, así como de las propiedades fisicoquímicas del producto (Jaeger, Janositz, y Knorr, 2010). Gran cantidad de compuestos químicos de la RM se pueden formar en la matriz del alimento a los cuales se atribuyen características tales como antioxidantes, antimicrobianas, mutagénicas o cancerígenas (Brands, Alink, van Boekel, y Jongen, 2000; Cheriot, Billaud, Pöchtrager, Wagner, y Nicolas, 2009; Rufián, Delgado y Morales, 2009). La RM se da entre grupos aminos libres de aminoácidos y proteínas con azúcares reductores durante el procesado y conservación de los alimentos, lo que produce una pérdida del valor nutricional (Jaeger et al., 2010). Las principales variables que afectan la extensión de la reacción de Maillard son la temperatura y el tiempo, los cuales dependerán de las condiciones de procesamiento, así como del pH, la actividad del agua, tipo y disponibilidad de sustratos en la matriz alimentaria. Estos factores pueden cambiar como resultado del procesamiento de alimentos

y materias primas (Rufián y Morales, 2007). La lisina, principal aminoácido implicado en esta reacción, se convierte en frutosillisina, maltulosillisina o lactulosillisina (Erbersdobler y Hupe, 1991), compuestos denominados de Amadori, que no son biológicamente utilizables. Además, se pueden producir cambios en la estructura proteica que impiden la acción de las proteasas digestivas disminuyendo la digestibilidad (Adrian y Fragne, 1973). Por otra parte, las enzimas digestivas: proteasas y disacaridasas (Öste, Dahlqvist, Sjöström, Norén, y Miller, 1986; Öste, Miller, Sjöström, y Norén, 1987) también pueden ser inhibidas por los productos de la reacción. Además, algunos compuestos producidos mediante la RM pueden complejar determinados elementos minerales impidiendo su absorción (Einarsson, Eklund, y Nes, 1988).

Es común valorar los productos lácteos por su contenido proteico. sin embargo, se ignora o se desconoce los efectos de los tratamientos térmicos sobre la calidad nutricional de sus componentes y la forma de evaluarlos. El valor nutricional de los alimentos elaborados con ingredientes obtenidos por tratamientos tecnológicos drásticos que posteriormente son procesados o aquellos que se someten a tratamientos térmicos intensos, no queda reflejado en la información nutricional relativa al contenido de aminoácidos.

Hoy en día, los consumidores demandan alimentos frescos y seguros, con buenas propiedades sensoriales y también con un considerable tiempo de conservación, pero es difícil para la industria satisfacer todos estos requisitos al mismo tiempo mediante un tratamiento térmico (Pereda, Ferragut, Quevedo, Guamis, y Trujillo, 2009). La prevención de la reacción de Maillard es difícil y sólo se puede conseguir controlando las condiciones de temperatura y tiempo de los tratamientos térmicos utilizados en la elaboración y de su posterior almacenamiento. Predecir los cambios que sufren los alimentos durante el procesado es de gran importancia para la industria alimentaria, ya que les permitiría controlar y optimizar los procesos y obtener productos de mejor calidad. Para ello es de gran importancia conocer los cambios que se producen en los alimentos desde la materia prima, procesado y posterior almacenamiento, con el fin de proporcionar a la industria información que permitan elaborar productos de la máxima calidad nutritiva y minimizar los compuestos que pueden tener propiedades tóxicas (Ames, 1998). Es por eso por lo que en el presente documento se pretende mostrar el impacto que tiene la reacción de Maillard en los productos lácteos. Además de describir un conjunto de metodologías que permiten seguir la reacción de pardeamiento no enzimático y que ayudan a determinar el daño térmico causado por los procesos de producción, así como por el almacenamiento de los productos lácteos.

Aspectos básicos de la reacción de Maillard

La reacción de Maillard comprende un conjunto de reacciones en cadena que conducen a la formación de pigmentos pardos con modificaciones del color, olor y sabor de diversos alimentos. Se desarrolla generalmente a A_w bajas y pH básico, necesitando un aporte de calor moderado (Valdés, 2006).

Los sustratos que intervienen en la reacción de Maillard son el grupo carbonilo, principalmente de azúcares reductores, y el grupo amino de aminoácidos y proteínas (Henle,

Walter, y Klostermeyer, 1991). Los azúcares reductores son aquellos azúcares que poseen su grupo carbonilo (grupo funcional) intacto, y que a través de este pueden reaccionar con otras moléculas. Los carbohidratos de bajo peso molecular son más reactivos que los de alto peso molecular debido al menor impedimento estérico (Rubenthaler, Pomeranz, y Finney, 1963). Hay que tener en cuenta que el azúcar no tiene un grado de reactividad absoluta y su comportamiento depende también del estado y naturaleza de las proteínas con las que reacciona (Contreras, Guerra, y García, 2008).

Todas las proteínas, excepto las insolubles (queratina) son susceptibles de reaccionar con los azúcares. Los α -aminoácidos, que forman junto al grupo carbonilo el enlace peptídico, son poco accesibles durante los tratamientos por calor, al contrario que los α -aminoácidos terminales y los que tienen un segundo grupo amino en estado libre (lisina). En la caseína, la cantidad de grupos ϵ -amino libre es 50 veces mayor que la cantidad del grupo α -amino libre, por lo que la pérdida de lisina a través del grupo ϵ es la consecuencia nutricional más grave. Cuando una mezcla de caseína y glucosa se calienta, la destrucción de histidina alcanza el 17%, la arginina el 22% y la lisina el 46% (Brown, Senn, Stanley, y Dollear, 1972).

El pH inicial de los productos y la capacidad tampón del sistema influyen en el tipo e intensidad de las reacciones (Nursten, 1980). Los efectos del pH son complejos, ya que cada una de las etapas de pardeamiento tiene un pH óptimo: a $\text{pH} < 3$ el pardeamiento es bajo y se incrementa conforme aumenta el pH hasta un máximo de 10 (Ashoor y Zent, 1984). En todos los casos, el avance de la reacción de Maillard supone un descenso del pH debido a la desaparición de aminoácidos básicos y la formación de ácidos orgánicos (Brands y Van Boekel, 2003).

La intensidad de la reacción de Maillard depende de la hidratación del medio. La máxima actividad se logra a humedad relativa del 50 y 70% (10-15% de agua en el producto). Por lo general, es durante la deshidratación cuando los riesgos de pardeamiento son mayores y en especial en la fase del proceso en que el contenido en agua es inferior al 20% y la temperatura es elevada. Tratamientos a temperaturas más bajas presentan el inconveniente de alargar el proceso de deshidratación y el alimento permanece más tiempo con un contenido crítico de agua (Jokinen, Reineccius, y Thompson, 2008). La reacción de Maillard se produce tanto a temperatura ambiente (conservación de numerosos productos) como a altas temperaturas (esterilización). La energía de activación tiene valores que se encuentran entre 29-236kJ/mol; dependiendo de esta energía se favorecen unas etapas de la reacción frente a otras (Martins y Van Boekel, 2005).

Consecuencias nutricionales de la reacción de Maillard

Pérdida de aminoácidos esenciales

La reacción de Maillard reduce el valor nutritivo de los alimentos al disminuir la disponibilidad biológica de los aminoácidos esenciales (O'Brien y Morrissey, 1989; Rufián, Delgado y Morales, 2006; Van Boekel, 2006). Esta reducción se produce aunque no se observen cambios en el color y aroma de los alimentos (Mauron, 1981) y se debe a la destrucción de aminoácidos mediante la reacción de Maillard. La lisina es el aminoácido

más afectado de la reacción de Maillard; no obstante, el tratamiento térmico de los alimentos produce pérdida de otros aminoácidos esenciales como aminoácidos azufrados, triptófano e histidina (Lee, Pintauro, y Chichester, 1982; Bjoerck, Noguchi, Georg, Cheftel, y Dahlqvist, 1983).

Efecto sobre las vitaminas

La influencia que ejercen los compuestos de la reacción de Maillard sobre las vitaminas no es muy conocida. Algunas premelanoidinas pueden reaccionar con las vitaminas y destruirlas. Ford y Salter (1966) demostraron la pérdida de tiamina y piridoxal durante el almacenamiento de leche en polvo durante 9 semanas a 60°C. La tiamina tiene un grupo amino y la vitamina B₆ o piridoxal tiene un grupo aldehído; ambos pueden, teóricamente, participar en la reacción de Maillard. A 70°C la destrucción de la tiamina, B₆, B₁₂ y ácido pantoténico era más rápida y ocurría de forma paralela a la degradación de la lactulosa-lisina y a la aparición de productos de la reacción de Maillard.

Efecto sobre los minerales

Los productos de la reacción de Maillard interfieren con el metabolismo de los minerales, aunque la naturaleza de las interacciones entre ambos es aún poco conocida. Algunos productos de la RM tienen la capacidad de quelar metales, la formación de compuestos de coordinación con los productos de la reacción de Maillard pueden alterar la biodisponibilidad de los minerales, por modificar su forma fisicoquímica (especie) en el alimento o en el lumen intestinal, por alterar el proceso de absorción o por afectar su normal metabolismo y excreción (Navarro, 2003; Delgado, Seiquer, García, Galdó, y Navarro, 2011).

Aspectos Toxicológicos

Existe gran evidencia científica de que el consumo de productos de la reacción de Maillard (PRM), están implicados en el desarrollo de enfermedades metabólicas degenerativas como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y la osteoporosis (Förster, Kühne, y Henle, 2005; Yamagishi, Nakamura, y Inoue, 2005; Melpomeni Peppas y Raptis, 2008). Un aumento en estos PRM en la circulación sanguínea se ha relacionado con el desarrollo y la progresión de los trastornos mencionados anteriormente, así como en el envejecimiento, mediada principalmente por el aumento de estrés oxidativo (Goldberg et al., 2004; M Peppas, Uribarri, y Vlassara, 2008). Por otro lado los PRM, como la acrilamida y HMF se consideran tóxicos en los alimentos ya que se ha demostrado que son genotóxicos, cancerígenos y citotóxicos en animales de experimentación (Ulbricht, Northup, y Thomas, 1984; IARC, 1994; Surh, Liem, Miller, y Tannenbaum, 1994; European Commission, 2000).

Metodologías de determinación del daño térmico

Se han identificado varios indicadores químicos que pueden ser utilizados para evaluar

el avance de la reacción de Maillard en productos lácteos. Existe la posibilidad de determinar pequeñas variaciones desde etapas iniciales con la furosina, etapas intermedias con hidroximetilfurfural (HMF), furfural y absorbancia 284nm, y etapas avanzadas mediante la determinación de la pirralina, carboximetilisina, el color (L^* , a^* , b^*) o absorbancia de 420nm (Guerra, García y Montilla, 1992; Rufián, García y Guerra, 2004; Contreras et al., 2008; Contreras, Guerra y García, 2009). Además, el contenido de lisina es un indicador de etapas iniciales y avanzadas de la RM y de la calidad nutricional y biológica de la proteína (Contreras et al., 2008, 2009). A continuación, se describen en detalle algunos de los indicadores más empleados.

Determinación de aminoácidos

Los aminoácidos se determinan químicamente tras la hidrólisis proteica con ácido clorhídrico concentrado (6 N) a 110-130°C durante un periodo entre 10 y 24 horas. Esta hidrólisis no sólo libera la lisina disponible biológicamente sino una parte proporcional de la bloqueada y por lo tanto “no útil” (Finot y Mauron, 1972). Es por esto que se requiere de análisis químicos más sensibles y selectivos. El aminoácido más estudiado es la lisina y los métodos químicos utilizados para su determinación se basan en la medida de la lisina disponible o reactiva. El grupo ϵ -amino libre puede reaccionar con agentes específicos y esto da lugar a los diferentes métodos: método del fluorodinitrobenceno (Mottu y Mauron, 1967), método de guanidación (Mauron y Bujard, 1963), método del ácido trinitrobenceno-sulfónico, TNBS (Tomarelli, Yuhas, Fisher, y Weaver, 1985), método de reducción con borohidruro (Hurrell y Carpenter, 1974), método de pérdida de reactividad a determinados agentes fluorogénicos (Vigo, Malec, Gomez, y Llosa, 1992), método de colorantes enlazados con lisina (Hurrell y Carpenter, 1974; Hurrell, Lerman, y Carpenter, 1979) y método de succinilación (Anderson y Quicke, 2006).

La lisina útil puede ser usado como un indicador de la calidad nutricional, e indirectamente de etapas iniciales y finales. Ha sido usada para evaluar el daño térmico de las proteínas durante el procesado y conservación de leches líquidas y en polvo (Lloyd, Zou, Ogden, y Pike, 2004; Tossavainen, 2008; McEwen, McKenna, O’Kane, Phillips, y Johns, 2010; Pereyra, Naranjo, Leiva, y Malec, 2010).

Guerra, Leon, Corzo, García y Romera (2002a) evaluaron la pérdida de lisina en fórmulas infantiles almacenadas durante 90 días, encontrando pérdidas entre 6.7-8.3 % a 20°C, mientras que, a 55 °C, la pérdida fue entre el 35.2-88.3 %. Esto muestra el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la calidad de las fórmulas infantiles. Contreras, Guerra, García, Gómez, y Zapata (2017) evaluaron el efecto de diferentes ingredientes sobre el pardeamiento no enzimático en fórmulas infantiles, encontrando valores de lisina disponible mayores en fórmulas que tenían como ingredientes proteínas intactas en comparación con aquellas que tenían proteínas parcialmente hidrolizadas, ya que estas últimas presentan más grupos aminos libres capaces de reaccionar durante el procesado. Basado en los requerimientos diarios de un infante de 3 meses algunas fórmulas infantiles no cubrían el requerimiento diario de lisina disponible. Los autores recomiendan que la formulación de los alimentos para bebés se haga a partir de la lisina disponible y no a partir de la lisina total.

Determinación de azúcares

La determinación de azúcares se puede realizar mediante cromatografía gaseosa con columna capilar, previa formación de los trimetilsilil derivados (García, Guerra, García y Contreras, 2010). Otras técnicas son utilizadas para determinar los azúcares de muestras con lactosa hidrolizada (Corradini, Canali, Nicoletti, Biondi, y Vinci, 2001) y con maltodextrinas (Moreno, Olano, Santamaría, y Corzo, 1999) como son la cromatografía en capa fina (TLC), cromatografía líquida de intercambio aniónico de alta resolución con detección mediante pulsos amperométricos (HPAEC-PED) (Delgado, Seiquer, y Navarro, 2007) y cromatografía líquida de alta resolución con detección mediante índice de refracción (HPLC-RI).

El tratamiento térmico de carbohidratos conduce a la isomerización de estos. En productos con lactosa el calor puede producir lactulosa (Adachi y Patton, 1961). Este indicador es utilizado para diferenciar leches higienizadas a diferentes temperaturas: pasteurización, esterilización y UHT directo e indirecto (Geiger y Klostermeyer, 1983; Andrews, 1984; Olano, Calvo, y Reglero, 1986; Leclère y Birlouez, 2001; Yurova y Denisovich, 2003; Montilla, Moreno, y Olano, 2005; Pereda et al., 2009; Lan et al., 2010). También ha sido utilizado para controlar el proceso de esterilización y conservación de fórmulas infantiles (Sarriá y Vaquero, 2001). Se ha comprobado una baja isomerización de la lactosa durante la obtención de leche en polvo y conservación, en comparación con la leche líquida, lo que facilita la detección de adulteración de leches con leche en polvo reconstituida.

Furosina

Erbersdobler y Zucker (1966) fueron los primeros que detectaron en un hidrolizado de leche en polvo desnatada secada con rodillos mediante cromatografía de intercambio iónico un compuesto que eluía en la zona de los aminoácidos básicos después de la arginina y daba positiva la reacción de la ninhidrina. Este compuesto aumentaba en función del tratamiento térmico aplicado a la leche. Finot y Furniss (1989) lo sintetizaron e identificaron llamándole furosina (ϵ -N-furoil-metil-L-lisina).

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) es la técnica más utilizada para la determinación de furosina. Resmini, Pellegrino, y Battelli (1990) propusieron la separación de furosina en fase reversa con par iónico (columna C_8) y elución con gradiente. Posteriormente Delgado, Corzo, Santa-María, Jimeno, y Olano (1992) pusieron a punto un método en el que separaron furosina utilizando fase reversa con par iónico (columna C_{18}) y elución isocrática. Ambos métodos son sensibles, reproducibles y rápidos. Mediante este método se ha evaluado la modificación de la lisina en numerosos alimentos como la leche (López et al., 1993; Lan et al., 2010; Seiquer, Delgado, Haro, y Navarro, 2010; Lorenzen et al., 2011; Thao, Bhandari, Holland, y Deeth, 2011).

Pellegrino et al. (1993) estudiaron la utilidad de la determinación de furosina (indicador de etapas iniciales de la RM) para evaluar la calidad de leches esterilizadas, encontrando valores comprendidos entre 50 y 500 mg/100 g de proteína. VanRenterghem, y DeBlock (1996) demostraron que la leche en polvo es más susceptible a la formación de furosina que las leches líquidas sometidas a procesos de UHT. La comparación de muestras de

leches UHT con UHPH (ultra alta presión de homogenización) y esterilizadas mostró un aumento de furosina cuando el procesado térmico aplicado fue más severo. Sin embargo, el daño térmico fue menor en la leche UHPH (Pereda et al., 2009). Seiquer et al. (2010) compararon el contenido de furosina en leches UHT y sobrecalentadas, encontrando concentraciones de 202 y 348 mg/100 g de proteína respectivamente. Lan et al. (2010) evaluaron la utilidad de furosina para diferenciar el daño térmico en leches reconstituidas y sin reconstituir sometidas a diferentes tratamientos térmicos, encontrando valores superiores de furosina en todos los casos para las leches reconstituidas. Thao et al. (2011) encontraron concentraciones de furosina en leche en polvo entera de 159-163 mg/100 g de proteína y de 210-230 mg/100 g de proteína en leche en polvo semidescremada y proteína de suero concentrada. Contreras et al. (2009) evaluaron diferentes muestras de proteínas lácteas y vegetales comerciales, encontrando furosina principalmente en las proteínas lácteas, siendo superior la cantidad en las proteínas del suero que en los caseinatos, los autores exponen que esto se debió a que el contenido de azúcares en los lactosueros fue superior que en los caseinatos, lo cual indica que la RM pudo haber ocurrido en mayor medida.

Lorenzen et al. (2011) concluyen que los procesos térmicos utilizados para la producción de la leche de consumo pueden ser diferenciados por la estimación de furosina.

Los valores de furosina en leche en polvo son superiores a los de la leche líquida (Saltmarch, Vagnini, y Labuza, 1981). Por el contrario, la formación de lactulosa es insignificante durante el secado debido a los tiempos relativamente cortos de procesamiento (Knipschildt, 1986) en comparación con los tratamientos aplicados a las leches líquidas (Pellegrino et al., 1993). La relación Furosina/Lactulosa (Fu/Lu) puede ser usada para diferenciar leches líquidas de leches en polvo, ya que esta relación es superior en esta última. Dado que la relación Fu/Lu en leche en polvo aumenta con el tiempo de almacenamiento, podría servir como índice de calidad de leche en polvo y establecerse unos límites máximos para su vida comercial, evitándose de este modo la comercialización de leche en polvo previamente almacenada por períodos de tiempo excesivos, ya que a mayor tiempo mayor es la relación (Corzo, Delgado, Troyano, y Olano, 1994). Además, la relación Fu/Lu se puede usar para evaluar el sobrecalentamiento de la leche cruda o la adición de leche en polvo (Lan et al., 2010), ya que cuando se sobre calienta la leche cruda se obtiene una baja relación y cuando se adiciona leche en polvo la relación aumenta.

Compuestos furánicos

El HMF y el furfural son compuestos furánicos que se producen en las reacciones de degradación del ácido ascórbico, caramelización y reacción de Maillard en etapas intermedias. Estos compuestos son formados durante tratamientos térmicos, deshidratación o almacenamiento a temperaturas inadecuadas de alimentos como fórmulas infantiles sólidas y líquidas (Chávez, Castellote y López, 2006) e ingredientes proteicos lácteos (Contreras et al., 2008).

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) es la técnica que más se utiliza en la actualidad, ya que permite estimar el contenido los compuestos furánicos de forma más exacta al separarlo de posibles interferencias (Ferrer, Alegría, Farré, Clemente, y

Calvo, 2005). Aunque la técnica parece adecuada, en alimentos con proteínas lácteas se han encontrado compuestos que coeluyen con el HMF (Van Boekel y Zia-Ur-Rehman, 1987), por lo que es necesario controlar los componentes de las fases móviles (Morales, Romero, y Jiménez, 1992) o purificar las muestras con solventes orgánicos (Rufián, García y Guerra, 2001). Así se han conseguido resultados satisfactorios analizando HMF en leche (Morales y Jiménez, 1999; Pereda et al., 2009; Oral, Dogan, y Sarioglu, 2011; Thao et al., 2011), café, cerveza, productos de panadería (Ruiz, Guerra y García, 2004), miel (Morales y Arribas, 2008).

El HMF y furfural han sido evaluados en diferentes alimentos. El HMF ha mostrado ser un indicador útil para evaluar el daño térmico en leches líquidas y en polvo durante el procesado y conservación (Pereda et al., 2009; Thao et al., 2011). Contreras et al. (2008) evaluaron la presencia de HMF y furfural en ingredientes para fórmulas infantiles encontrando valores de 0.16 a 2.47 mg de HMF/ 100 g de proteína en las muestras de suero en polvo. Sin embargo, los autores reportan que no se encontró furfural en ninguno de los ingredientes. Gómez, Medina y Contreras (2017) encontraron valores de 0.03 a 4.24 mg HMF/ 100 g de proteína en lactosueros y proteínas del lactosuero, los autores reportan que hay una correlación estadísticamente significativa entre el contenido de HMF y la relación lactosa-proteína, esto se debe a que el mayor contenido de azúcares reductores acelera la RM. En este estudio los autores reportan que se detectó la presencia de furfural, pero en una concentración por debajo del límite de cuantificación.

En un estudio realizado por Dattatreya y Rankin (2006) se usó el HMF como indicador de pardeamiento en muestras de lactosuero en polvo que fueron sometidas a tratamientos a diferentes temperaturas y pH, reportando que el pardeamiento incrementó con temperaturas altas y pH bajos. La formación de HMF se da a partir de hexosas mientras que la formación de furfural se da a partir de pentosas (Eskin, Ho, y Shahidi, 2013), ya que la lactosa está compuesta por dos hexosas, es razonable que el contenido de furfural fuera no cuantificable en estudios realizados a productos lácteos.

Pirralina (Épsilon-pirrol-lisina)

La determinación de ϵ -pirrol-lisina es útil para el seguimiento de las etapas más avanzadas de la reacción de Maillard, y ha sido propuesto para evaluar la extensión de la reacción en alimentos tratados a alta temperatura y/o en alimentos de larga conservación. La concentración de este compuesto es muy baja en comparación con la ϵ -fructosa-lisina cuando la intensidad del tratamiento térmico es pequeña y se incrementa notablemente cuando este se prolonga (Chiang, 1988). La determinación de este compuesto se ha realizado principalmente en cromatografía líquida, de intercambio iónico (Henle y Klostermeyer, 1993) o de fase reversa (Chiang, 1988; Resmini y Pellegrino, 1994; Contreras-Calderón et al., 2008, 2009) aunque también se han descrito métodos que utilizan cromatografía de capa fina (Kato, Nakayama, Sugimoto, y Hayase, 1982). Contreras et al. (2008) evaluaron la presencia de pirralina en ingredientes para fórmulas infantiles, siendo detectada sólo en muestras de suero en polvo con 41 mg/100g proteína. Igualmente en un estudio llevado a cabo en 2009 se propuso la pirralina como un indicador del daño térmico avanzado en el procesado de fórmulas infantiles, este estudio reportó ausencia de pirralina para las

muestras analizadas, indicando que la reacción de Maillard no se encuentra en las etapas avanzadas (Contreras et al., 2009).

Carboximetilisina

La carboximetilisina (CML) es un indicador de etapas avanzadas y ha sido útil en alimentos tratados térmicamente. Uno de los orígenes de la carboximetilisina son los compuestos de Amadori, y se forma cuando el tratamiento térmico es más severo. La CML ha sido cuantificada por ELISA en fórmulas infantiles (Birlouez et al., 2004; Dittrich et al., 2006), leches calentadas y en polvo (Tauer, Hasenkopf, Kislinger, Frey, y Pischetsrieder, 1999; Bastos, Monaro, Siguemoto, y Séfora, 2012), leche materna (Dittrich et al., 2006) y en alimentos de consumo diario (Goldberg et al., 2004); y por técnicas cromatográficas GC/MS (Charissou, Ait-Ameur, y Birlouez, 2007), HPLC/FD (Drusch, Faist, y Erbersdobler, 1999; Delgado, Seiquer, Navarro, et al., 2007) o por LC-MS/MS (Ahmed et al., 2005; Fenaille et al., 2006; Hegele, Buetler, y Delatour, 2008) en leche cruda, pasteurizada, UHT, leche condensada, leche semidescremada y fórmulas infantiles.

Un estudio llevado a cabo en Alemania aplicado a productos lácteos mostró que CML puede dar información valiosa acerca de la pérdida de lisina en productos lácteos con un tratamiento térmico severo (Drusch et al., 1999). Hull, Woodside, Ames, y Cuskelly (2012) evaluaron el contenido de CML en diversos productos, entre ellos, los productos lácteos. Los autores encontraron 6.04 mg /kg proteína en leche descremada, el cual es un valor relativamente bajo comparado con otros productos donde se encontró hasta 2354.87 mg/kg proteína. Los autores resaltan la importancia de determinar CML, ya que esta está asociada a enfermedades como la diabetes por algunos investigadores. Además, en un estudio realizado en 2011 se encontró que la adición de ácido felúrico redujo la formación de CML en un 85% en sistemas modelo de fructosa y proteína (Silván, Assar, Srey, Dolores Del Castillo, y Ames, 2011), lo que podría constituir una opción para mitigar ese compuesto.

Color y medidas de absorbancias

La coloración se puede producir con el concurso o no del aminoácido. Durante la caramelización el color proviene de la degradación del azúcar y esta depende sobre todo del pH y temperatura (Schroeder, Iacobellis, y Smith, 1955). El color se relaciona con el tratamiento térmico, aunque no es un criterio sensible para el estudio de la reacción de Maillard, comparado con otros métodos (Friedman y Kline, 1950; Bookwalter y Kwolek, 1981). La cuantificación del color puede ser un indicador de la severidad del tratamiento térmico (Giangiacommo y Messina, 1988; Rhim, Jones, y Swartzel, 1988), aunque para ello es necesario obtener una referencia estable de leche cruda sin tratar (Rampilli y Andreini, 1992; Pellegrino, Resmini, y Luf, 1993).

Las medidas ópticas comprenden tanto la determinación de la absorbancia a 420 nm y la medida de la reflectancia (Morales y Jiménez, 1998b). La absorbancia a 420 nm ha sido clásicamente usada como medida de color en sistemas modelo de azúcares y azúcares-aminoácidos para indicar la reactividad de los diferentes componentes (Cuzzoni, Stoppin, y

Gazzani., 1988; Tsai, Kong, y Pan, 1991; Fernández, Guerra y García, 1999).

El color desarrollado en las reacciones de pardeamiento químico también puede seguirse mediante medida de los parámetros de color del sistema CIE (1986) (International Commission on Illumination, 1986), L^* (luminosidad), a^* (rojo-verde) y b^* (amarillo-azul) que nos proporciona el fotómetro de reflexión. Este método se ha usado en sistemas modelo (Hidalgo y Zamora, 1993; Rufián et al., 2004), leches calentadas (Pagliarini, Vernile, y Peri, 1990; Seiquer et al., 2010), leches almacenadas (Pellegrino et al., 1993) y fórmulas infantiles (Guerra, Leon, Corzo, García y Romera, 2002; Ferrer et al., 2005)

La formación de melanoidinas, las cuales provocan la coloración marrón en los productos lácteos durante el procesado y/o almacenamiento, asociadas a las etapas finales de la RM, se ha evaluado en leches en polvo y líquidas sometidas a diferentes tratamientos térmicos, mediante la determinación de los parámetros de color L^* , a^* y b^* , y absorbancia a 420 nm (Seiquer et al., 2010; Thao et al., 2011). Rufián y col. (2004) evaluaron el avance de la reacción de Maillard en sistemas modelo de fórmulas enterales e infantiles, encontrando que las etapas avanzadas de la reacción pueden ser seguidas por la determinación del color cuando los sistemas modelo son sometidos a fuertes tratamientos térmicos por largo tiempo.

Por otro lado, tanto la reacción de Maillard como la caramelización producen moléculas que absorben entre 250 y 300 nm (Chichester, Stadman, y Mackinney, 1952). En medio ácido o en exceso de glucosa las sustancias responsables de la absorbancia son el HMF, que absorbe a 284 nm, y su producto de degradación, el ácido levulínico, que absorbe a 265 nm (Singh, Dean, y Cantor, 1948). Un mismo aminoácido con diferentes azúcares y diferentes aminoácidos con un mismo azúcar producen, en su calentamiento, una gran variedad de compuestos que absorben en el ultravioleta. El azúcar y el aminoácido tienen la misma importancia. Las variables de la reacción (humedad, temperatura) determinan la intensidad de la medida pero no modifican el espectro característico (Adrian, 1982).

CONCLUSIONES

Los indicadores de la RM constituyen una herramienta importante en la determinación de la calidad nutricional de los productos lácteos, así mismo ayudan al estableciendo del daño térmico causado por los diferentes tratamientos tecnológicos y el almacenamiento. La lisina disponible es adecuada evaluar la pérdida de valor nutricional de los productos lácteos, ya que es un indicador de etapas iniciales de la RM. La lactulosa, aunque no es un producto de la RM, si es un indicador de la intensidad del tratamiento térmico en leches líquidas y en polvo, y la relación furosina/lactulosa permite identificar entre diferentes tratamientos térmicos, leches rehidratadas o recombinadas y tiempo de almacenamiento en leches en polvo. Los compuestos furánicos, además de ser indicadores de las etapas intermedias de la RM, revisten un especial interés por su efecto nocivo para la salud humana. La CML y la pirralina son útiles para evaluar la extensión de la RM en alimentos tratados a alta temperatura y/o en alimentos de larga conservación. Así mismo, el desarrollo del color representa un indicador del desarrollo de melanoidinas, las cuales se asocian con las etapas finales de la RM.

REFERENCIAS

Adachi, S., & Patton, S. (1961). Presence and significance of lactulose in milk products: A review. *Journal of Dairy Science*, 44, 1375-1393. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(61\)89899-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(61)89899-8)

Adrian, J. (1982). The Maillard reaction. In: Rechcigl (Ed.), *Handbook of nutritive value of processed food* (pp. 679-685). Boca Raton, Florida: CRC Press.

Adrian, J., & Fragne, R. (1973). Le reaction de Maillard VIII. Role des pre-melanoidines sur la digestibilite azotée et la proteolyse in vitro. *Annales de la nutrition et de l'alimentation*, 27, 111-123.

Ahmed, N., Mirshekar, B., Kennish, L., Karachalias, N., Babaei-Jadidi, R., & Thornalley, P. J. (2005). Assay of advanced glycation endproducts in selected beverages and food by liquid chromatography with tandem mass spectrometric detection. *Molecular nutrition & food research*, 49, 691-699. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200500008>

Ames, J. M. (1998). Applications of the Maillard reaction in the food industry. *Food Chemistry*, 62, 431-439. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00078-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00078-8)

Anderson, T., & Quicke, G. (2006). An isotopic method for determining chemically reactive lysine based on succinylation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35(4), 472-480.

Andrews, G. R. (1984). Distinguishing pasteurized, UHT and sterilized milks by their lactulose content. *Society Dairy Technology*, 37, 92-95.

Ashoor, S. H., & Zent, J. B. (1984). Maillard Browning of Common Amino Acids and Sugars. *Journal of Food Science*, 49, 1206-1207. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb10432.x>

Bastos, D. M., Monaro, É., Siguemoto, É., & Séfora, M. (2012). Maillard Reaction Products in Processed Food : Pros and Cons. In: *Food Industrial Processes - Methods and Equipment* (p. 418).

Birlouez, I., Pischetsrieder, M., Leclère, J., Morales, F. J., Hasenkopf, K., Kientsch-Engel, R., ... Rutledge, D. (2004). Assessment of protein glycation markers in infant formulas. *Food Chemistry*, 87, 253-259. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.11.019>

Bjoerck, I., Noguchi, A., Georg, N., Cheftel, J. C., & Dahlqvist, A. (1983). Protein nutritional value of a biscuit processed by extrusion cooking: effects on available lysine. *Journal of agricultural and food chemistry*, 31(3), 488-492.

Bookwalter, G., & Kwolek, W. (1981). Predicting protein quality of corn-soy-milk blends after nonenzymatic browning. *Journal of food science*, 46, 711-715.

Brands, C. M., Alink, G., van Boekel, M. A. J., & Jongen, W. M. (2000). Mutagenicity of heated sugar-casein systems: effect of the Maillard reaction. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(6), 2271-2275.

Brands, C. M. J., & Van Boekel, M. A. J. S. (2003). Kinetic modelling of reactions in heated disaccharide-casein systems. *Food Chemistry*, 83(1), 13-26. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00031-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00031-1)

Brown, D. F., Senn, V. J., Stanley, J. B., & Dollear, F. G. (1972). Comparison of carbonyl compounds in raw and roasted runner peanuts. I. Major qualitative and some quantitative differences. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 20, 700-706.

- Charissou, A., Ait-Ameur, L., y Birlouez, I. (2007). Evaluation of a gas chromatography/mass spectrometry method for the quantification of carboxymethyllysine in food samples. *Journal of Chromatography A*, 1140, 189-194. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.11.066>
- Chávez, J. L., Castellote, A. I., & López, M. C. (2006). Evolution of potential and free furfural compounds in milk-based infant formula during storage. *Food Research International*, 39, 536-543. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.10.012>
- Cheriot, S., Billaud, C., Pöchtrager, S., Wagner, K.-H., & Nicolas, J. (2009). A comparison study between antioxidant and mutagenic properties of cysteine glucose-derived Maillard reaction products and neoformed products from heated cysteine and hydroxymethylfurfural. *Food Chemistry*, 114(1), 132-138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.026>
- Chiang, G. H. (1988). High-performance liquid chromatographic determination of epsilon-pyrrolylsine in processed food. *Journal of agricultural and food chemistry*, 36(3), 506-509.
- Chichester, C., Stadman, F., & Mackinney, G. (1952). Carbon dioxide production in the browning reaction. *Journal of the American Chemical Society*, 76, 2257-2258.
- Contreras, J., Guerra, E., & García, B. (2008). Indicators of non-enzymatic browning in the evaluation of heat damage of ingredient proteins used in manufactured infant formulas. *European Food Research and Technology*, 227(1), 117-124. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0700-2>
- Contreras, J., Guerra, E., & García, B. (2009). Utility of some indicators related to the Maillard browning reaction during processing of infant formulas. *Food Chemistry*, 114(4), 1265-1270. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.004>
- Contreras, J., Guerra, E., García, B., Gómez, F., & Zapata, A. (2017). Effect of Ingredients on Non-enzymatic Browning, Nutritional Value and Furanic Compounds in Spanish Infant Formulas. *Journal of Food and Nutrition Research*, 5 (4) 243-252 <https://doi.org/10.12691/JFNR-5-4-6>
- Corradini, C., Canali, G., Nicoletti, I., Biondi, A., & Vinci, G. (2001). Characterization of UHT lactose-hydrolyzed milk by innovative analytical methods. *Industria Alimentari*, 40(401), 261-266.
- Corzo, N., Delgado, T., Troyano, E., y Olano, A. (1994). Ratio of Lactulose to Furosine as Indicator of Quality of Commercial Milks. *Journal of food protection*, 57(8), 737-739.
- Cuzzoni, M., Stoppin, G., & Gazzani, G. (1988). Influence of water activity and reaction temperature of ribose-lysine and glucose-lysine maillard systems on mutagenicity, absorbance and content of furfurals. *Food and Chemical Toxicology*, 26, 815-822.
- Dattatreya, A., & Rankin, S. A. (2006). Moderately acidic pH potentiates browning of sweet whey powder. *International Dairy Journal*, 16(7), 822-828. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.07.006>
- Delgado, C., Seiquer, I., García, M., Galdó, G., & Navarro, M. (2011). Increased Maillard reaction products intake reduces phosphorus digestibility in male adolescent mice. *Nutrition*, 27, 86-91. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.10.009>
- Delgado, C., Seiquer, I., & Navarro, M. (2007). Effects of Consumption of Maillard Reaction Products of Magnesium Digestibility and Tissue Distribution in Rats. *Food science and technology international*, 13(2), 109-116.

Delgado, C., Seiquer, I., Navarro, M., & Morales, F. (2007). Maillard reaction indicators in diets usually consumed by adolescent population. *Molecular nutrition & food research*, 51, 341-351. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200600070>

Delgado, T., Corzo, N., Santa-María, G., Jimeno, M. L., & Olano, A. (1992). Determination of furosine in milk samples by ion-pair reversed phase liquid chromatography. *Chromatographia*. <https://doi.org/10.1007/BF02275921>

Dittrich, R., Hoffmann, I., Stahl, P., Müller, A., Beckmann, M. W., & Pischetsrieder, M. (2006). Concentrations of Nepsilon-carboxymethyllysine in human breast milk, infant formulas, and urine of infants. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54, 6924-6928. <https://doi.org/10.1021/jf060905h>

Drusch, S., Faist, V., & Erbersdobler, H. F. (1999). Determination of N(ε)-carboxymethyllysine in milk products by a modified reversed-phase HPLC method. *Food Chemistry*, 65, 547-553. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00244-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00244-1)

Einarsson, H., Eklund, T., & Nes, I. (1988). Inhibitory mechanisms of Maillard reaction products. *Microbios*, 53(214), 27-26.

Erbersdobler, H., & Zucker, H. (1966). Untersuchungen zum gealt and lysin und verfügbarem lysin in trockenmagermilch. *Milchwissenschaft*, 21, 564-568.

Erbersdobler, H. F., & Hupe, A. (1991). Determination of lysine damage and calculation of lysine bio-availability in several processed foods. *Zeitschrift für Ernährungswissenschaft*, 30, 46-49. <https://doi.org/10.1007/BF01910731>

Eskin, N. M., Ho, C., & Shahidi, F. (2013). Browning Reactions in Foods. En Elsevier (Ed.), *Biochemistry of Foods* (pp. 245-289). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091809-9.00006-6>

European Commission. (2000). *Risk assessment of acrylamide (CAS No. 79-06-1, EINECS No. 201-173-7). Draft risk assessment report prepared by the UL on behalf of the European Union in the framework of council regulation (EEC) 793/ 93 on the evaluation and control of the risks of "exi. Ispra.*

Fenaille, F., Parisod, V., Visani, P., Populaire, S., Tabet, J.C., & Guy, P. A. (2006). Modifications of milk constituents during processing: A preliminary benchmarking study. *International Dairy Journal*, 16(7), 728-739. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.08.003>

Fernández, P., Guerra, E., & García, B. (1999). Browning indicators in model systems and baby cereals. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47, 2872-2878.

Ferrer, E., Alegría, A., Farré, R., Clemente, G., & Calvo, C. (2005). Fluorescence, browning index, and color in infant formulas during storage. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53, 4911-4917. <https://doi.org/10.1021/jf0403585>

Finot, P., & Mauron, J. (1972). Le blocage de la lysine par la reaction de Maillard. II. Propriété chimiques des dérivés N-(désoxy-1-D-frutosyl-) et N-(désoxy-1-D-lactulosyl-) de la lysine. *Helvetica Chimica Acta*, 55, 153-1164.

Finot, P. A., & Furniss, D. E. (1989). Metabolic transit and toxicity of Maillard reaction products. *Progress in clinical and biological research*, 304, 343-358.

Ford, J., & Salter, D. (1966). Analysis of enzymatically digested food proteins by sephadex-gel filtration. *British journal of nutrition*, 20, 843-860.

Förster, A., Kühne, Y., & Henle, T. (2005). Studies on absorption and elimination of

dietary maillard reaction products. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1043, 474-481. <https://doi.org/10.1196/annals.1333.054>

Friedman, L., y Kline, O. L. (1950). The amino acid-sugar reaction. *The Journal of biological chemistry*, 184, 599-606.

García, B., Guerra, E., García, M., & Contreras, J. (2010). Evaluation of carbohydrates content in bakery products determined by direct analysis or calculated «by difference». *Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, 413, 98-103.

Geiger, H., & Klostermeyer, H. (1983). Formation of lactulose during heat treatment of milk. *Milchwissenschaft*, 38, 475-477.

Giangiacomo, R., & Messina, G. (1988). Determinazione oggettiva del colore del latte alimentare mediante colorimetria tristimolo. *Scienza e Tecnica Lattiero-Caesaria*, 39, 20-39.

Goldberg, T., Cai, W., Peppas, M., Dardaine, V., Baliga, B. S., Uribarri, J., & Vlassara, H. (2004). Advanced glycoxidation end products in commonly consumed foods. *Journal of the American Dietetic Association*, 104, 1287-1291. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2004.05.214>

Gómez, F., Medina, Y., & Contreras, J. (2017). Evaluation of the heat damage of whey and whey proteins using multivariate analysis. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.074>

Guerra, E., García, B., & Montilla, J. (1992). Determination of Hydroxymethylfurfural in Baby Cereals by High Performance Liquid Chromatography. *Journal of Liquid Chromatography*, 15(14), 2551-2559. <https://doi.org/10.1080/10826079208017201>

Guerra, E., Leon, C., Corzo, N., García, B., & Romera, J. (2002a). Chemical changes in powdered infant formulas during storage. *International Journal of Dairy Technology*, 55(4), 171-176. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00049.x>

Guerra, E., Leon, C., Corzo, N., García, B., & Romera, J. M. (2002b). Chemical changes in powdered infant formulas during storage. *International Journal of Dairy Technology*, 55(4), 171-176. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00049.x>

Guingamp, M., Humbert, G., Midon, P., Nicolas, M., & Linden, G. (1999). Screening procedure for evaluating heat load in commercial milks. *Dairy Science and Technology*, 79, 457-463.

Hegele, J., Buetler, T., & Delatour, T. (2008). Comparative LC-MS/MS profiling of free and protein-bound early and advanced glycation-induced lysine modifications in dairy products. *Analytica Chimica Acta*, 617, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.12.027>

Henle, T., & Klostermeyer, H. (1993). Determination of Protein-Bound 2-Amino-6-(2-Formyl-1-Pyrrolyl)-Hexanoic Acid (Pyrraline) by Ion-Exchange Chromatography and Photodiode Array Detection. *Zeitschrift Fur Lebensmittel-Untersuchung Und-Forschung*, 196, 1-4.

Henle, T., Walter, H., & Klostermeyer, H. (1991). Evaluation of the extent of the early Maillard-reaction in milk products by direct measurement of the Amadori-product lactuloselysine. *Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, 193, 119-122. <https://doi.org/10.1007/bf01193359>

Hidalgo, F., & Zamora, R. (1993). Non-enzymatic browning and fluorescence development in a (E)-4,5-epoxy-(E)-2-heptenal/lysine model system. *Journal of food science*, 58, 667-670.

Hull, G. L. J., Woodside, J. V., Ames, J. M., & Cuskelly, G. J. (2012). N^{*}-(carboxymethyl) lysine content of foods commonly consumed in a Western style diet. *Food Chemistry*, 131(1), 170-174. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.055>

Hurrel, R. F., Lerman, P., & Carpenter, K. J. (1979). Reactive lysine in foodstuffs as measured by a rapid dye-binding procedure. *Journal of Food Science*, 44(4), 1221-1227.

Hurrell, R., & Carpenter, K. (1974). Mechanisms of heat damage in proteins. 4. The reactive lysine content of heat-damaged material as measured in different ways. *The British journal of nutrition*, 32(3), 589-604.

IARC. (1994). *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Some industrial chemicals*, 40. Lyon, France.

International Commission on Illumination. (1986). *Colorimetry* (Second). Vienna: Central Bureau of the CIE.

Izzo, H. V., & Ho, C. T. (1993). Effect of Residual Amide Content on Aroma Generation and Browning in Heated Gluten-Glucose Model Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(12), 2364-2367. <https://doi.org/10.1021/jf00036a028>

Jaeger, H., Janositz, A., & Knorr, D. (2010). The Maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies. *Pathologie-biologie*, 58(3), 207-13. <https://doi.org/10.1016/j.patbio.2009.09.016>

Jokinen, J., Reineccius, G., & Thompson, D. (2008). Losses in available lysine during thermal processing of soy protein model systems. *Journal of Food Science*, 41(4), 816-819.

Kato, H., Nakayama, T., Sugimoto, S., & Hayase, F. (1982). Volatile and nonvolatile Maillard reaction products between L-lysine and D-glucose. *Agricultural and Biological Chemistry*, 46(10), 2599-2600.

Kessler, H., & Fink, R. (1986). Changes in heated and stored milk an interpretation by reaction kinetics. *Journal of food science*, 51(5), 1105-1111.

Knipschildt, M. (1986). Drying of milk and milk products. In: R. K. Robinson (Ed.), *Modern Dairy Technology* (131-234). London: , Elsevier Applied Science.

Lan, X., Wang, J., Bu, D., Shen, J., Zheng, N., & Sun, P. (2010). Effects of heating temperatures and addition of reconstituted milk on the heat indicators in milk. *Journal of food science*, 75, C653-C658.

Leclère, J., & Birlouez, I. (2001). The fluorescence of advanced Maillard products is a good indicator of lysine damage during the Maillard reaction. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49, 4682-4687. <https://doi.org/10.1021/jf001433o>

Lee, T.C., Pintauro, S. J., & Chichester, C. (1982). Nutritional and Toxicologic Effects of Nonenzymatic Maillard Browning. *Diabetes*, 31(3), 37-46.

Lloyd, M., Zou, J., Ogden, L., & Pike, O.A. (2004). Sensory and Nutritional Quality of Nonfat Dry Milk in Long-term Residential Storage. *Journal of food science*, 8, 69.

López, R., Corzo, N., Villamiel, M., Delgado, T., Olano, A., & Ramos, M. (1993). Assessment of quality of comercial UHT milks by chromatographic and electrophoretic methods. *Journal of food protection*, 56, 263-269.

Lorenzen, P. C., Clawin, I., Einhoff, K., Hammer, P., Hartmann, R., Hoffmann, W., ... Devrese, M. (2011). A survey of the quality of extended shelf life (ESL) milk in relation to HTST and UHT milk. *International Journal of Dairy Technology*, 64, 166-178. <https://doi.org/10.1007/s13589-011-0011-1>

org/10.1111/j.1471-0307.2010.00656.x

Martins, S. I. F. S., y Van Boekel, M. A. J. S. (2005). A kinetic model for the glucose/glycine Maillard reaction pathways. *Food Chemistry*, 90(1-2), 257-269. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.006>

Mauron, J. (1981). The Maillard reaction in food, a critical review from the nutritional standpoint. *Progress in food & nutrition science*, 51, 5-35.

Mauron, J., & Bujard, E. (1963). Guanidation, an alternative approach to the determination of available lysine in foods. En C. . Mills & R. Passmore (Eds.), *Nutrition process. 6th international congress*. Edinburgh: E. y S. Livingstone Ltd.

McEwen, J. W., McKenna, R. J., O'Kane, K. A., Phillips, R. R., & Johns, P. W. (2010). Effect of carbohydrate DE on blocked lysine and furosine in a liquid nutritional product. *Food Chemistry*, 119, 323-327. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.038>

McWeeney, D. (1981). Sulphur dioxide and the Maillard reaction in foods. En C. Eriksson (Ed.), *Maillard reactions in food. Chemical, physiological and technological aspects* (pp. 395-404).

Montilla, A., Moreno, F. J., & Olano, A. (2005). A Reliable Gas Capillary Chromatographic Determination of Lactulose in Dairy Samples. *Chromatographia*. <https://doi.org/10.1365/s10337-005-0628-2>

Morales, F., & Jiménez, S. (1998). Monitoring of heat induced proteolysis in milk and milk-resembling systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4391-4397.

Morales, F., Romero, C., & Jiménez Pérez, S. (1992). An enhanced liquid chromatographic method for 5-hidroxymethylfurfural determination in UHT milk. *Chromatographia*, 33(1-2), 45-48.

Morales, F. J., & Arribas-Lorenzo, G. (2008). The formation of potentially harmful compounds in churros, a Spanish fried-dough pastry, as influenced by deep frying conditions. *Food Chemistry*, 109, 421-425. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.042>

Morales, F. J., & Jiménez, S. (1998). Monitoring of Heat-Induced Proteolysis in Milk and Milk-Resembling Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4391-4397. <https://doi.org/10.1021/jf980599a>

Morales, F. J., & Jiménez, S. (1999). HMF formation during heat-treatment of milk-type products as related to milkfat content. *Journal of Food Science*, 64(5), 855-859. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15927.x>

Moreno, F., Olano, A., Santa-María, G., & Corzo, N. (1999). Determination of maltodextrinas in enteral formulas by three different chromatographic methods. *Chromatographia*, 50, 705-710.

Mottu, F., & Mauron, J. (1967). The differential determination of lysine in heated milk II.—Comparison of the in vitro methods with the biological evaluation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 18(2), 57-62.

Navarro, M. P. (2003). Impact of Maillard reaction products on mineral bioavailability. En *Bioavailability of micronutrients and minor dietary compounds*. Kerala: Research Signpost.

Nursten, H. (1980). Recent developments in studies of the Maillard reaction. *Food Chemistry*, 6, 263-277.

O'Brien, J., & Morrissey, P. A. (1989). Nutritional and toxicological aspects of the

Maillard browning reaction in foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 28, 211-248. <https://doi.org/10.1080/10408398909527499>

Olano, A., Calvo, M., & Reglero, G. (1986). Analysis of free carbohydrates in milk using micropacked columns. *Chromatographia*, 21, 538-540.

Oral, R. A., Dogan, M., & Sarioglu, K. (2011). Monitoring of the hydroxymethylfurfural amount as an indicator of Maillard products in sweet whey and skim milk powder stored under different conditions. *Milchwissenschaft*, 66(4), 398-401.

Öste, R. E., Dahlqvist, A., Sjöström, H., Norén, O., & Miller, R. (1986). Effect of Maillard reaction products on protein digestion. In vitro studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34, 355-358.

Öste, R. E., Miller, R., Sjöström, H., & Norén, O. (1987). Effect of Maillard reaction products on protein digestion. Studies on pure compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 35, 938-942.

Pagliarini, E., Vernile, M., & Peri, C. (1990). Kinetic Study on Color Changes in Milk Due to Heat. *Journal of Food Science*, 55(6), 1766-1767. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb03625.x>

Pellegrino, L., Resmini, P., & Luf, W. (1993). Assesment (indices) of heat treatment of milk. En *Heat-induced changes in milk. Heat-induced changes in milk*. Bruselas.

Peppia, M., & Raptis, S. (2008). Advanced glycation end products and cardiovascular disease. *Current diabetes reviews*, 4, 92-100.

Peppia, M., Uribarri, J., & Vlassara, H. (2008). Aging and glycoxidant stress. *Hormones*, 7, 123-133.

Pereda, J., Ferragut, V., Quevedo, J., Guamis, B., & Trujillo, A. (2009). Heat damage evaluation in ultra-high pressure homogenized milk. *Food Hydrocolloids*, 23, 1974-1979.

Pereyra, A. S., Naranjo, G. B., Leiva, G. E., & Malec, L. S. (2010). Maillard reaction kinetics in milk powder: Effect of water activity at mild temperatures. *International Dairy Journal*, 20, 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.07.007>

Porter, W. (1987). Discrimination between oxidation and Maillard browning by means of fluorescence in model systems and foods. *Journal of AOAC International*, 64, 664.

Rampilli, M., & Andreini, R. (1992). Evaluation of colour components in sterilized milk. *Journal of Food Science*, 4, 285-291.

Resmini, P., & Pellegrino, L. (1994). Occurrence of protein-bound lysylpyrrolaldehyde in dried pasta. *Cereal Chemistry*, 71(3), 254-262.

Resmini, P., Pellegrino, L., & Battelli, G. (1990). Accurate quantification of furosine in milk and dairy products by a direct HPLC method. *Italian Journal of Food Science*, 3, 173-183. <https://doi.org/10.1021/ja01540a030>

Rhim, J., Jones, V., & Swartzel, K. (1988). Kinetic studies in the colour changes of skim milk. *Und Technology*, 21, 334-338.

Rossi, M., & Pompei, C. (1991). Changes in liquid milk-based infant formulas during heat treatments. *Journal of food science*, 1, 39-47.

Rubenthaler, G., Pomeranz, Y., & Finney, K. . (1963). Effects of sugar and certain free amino acids on bread characteristics. *Cereal Chemistry*, 40, 658-665.

Rufián, J. A., Delgado, C., & Morales, F. J. (2009). Assessing the Maillard reaction

development during the toasting process of common flours employed by the cereal products industry. *Food Chemistry*, 114(1), 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.021>

Rufián, J. A., García, B., & Guerra, E. (2001). Determination of Furfural Compounds in Enteral Formula. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 24(19), 3049-3061. <https://doi.org/10.1081/JLC-100107356>

Rufián, J. A., García, B., & Guerra, E. (2004). Generation of furosine and color in infant/enteral formula-resembling systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(17), 5354-5358. <https://doi.org/10.1021/jf040088q>

Rufián, J., Delgado, C., & Morales, F. (2006). Analysis of heat-damage indices in breakfast cereals: Influence of composition. *Journal of Cereal Science*, 43, 63-69. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.05.001>

Rufián, J., & Morales, F. (2007). Functional properties of melanoidins: In vitro antioxidant, antimicrobial and antihypertensive activities. *Food Research International*, 40, 995-1002.

Ruiz, J. C., Guerra, E., & García, B. (2004). Furosine is a useful indicator in pre-baked breads. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 366-370. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1664>

Saltmarch, M., Vagnini, M., & Labuza, T. (1981). Theoretical basis and application of kinetics to browning in spray-dried whey food systems. *Progress in food & nutrition science*, 5, 331-334.

Sarriá, B., & Vaquero, M. P. (2001). Zinc and iron bioavailability in a powder or in-bottle-sterilized infant formula estimated by in vitro and in suckling rats. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 12, 266-273. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(01\)00138-3](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(01)00138-3)

Schroeder, L., Iacobellis, M., & Smith, A. H. (1949). The influence of water and pH on the reaction between amino compounds and carbohydrate. *Journal of Biological Chemistry*, 212, 973:984.

Seiquer, I., Delgado-Andrade, C., Haro, A., & Navarro, M. (2010). Assessing the effects of severe heat treatment of milk on calcium bioavailability: in vitro and in vivo studies. *Journal of dairy science*, 93, 5635-5643.

Silván, J. M., Assar, S. H., Srey, C., Dolores Del Castillo, M., & Ames, J. M. (2011). Control of the Maillard reaction by ferulic acid. *Food Chemistry*, 128(1), 208-213. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.047>

Singh, B., Dean, G. R., & Cantor, S. (1948). Role of 5-(hydroxymethyl)-furfural in the discoloration of sugar solutions. *Journal of American Chemical Society*, 70, 517-522.

Surh, Y. J., Liem, A., Miller, J. A., & Tannenbaum, S. R. (1994). 5-Sulfooxymethylfurfural as a possible ultimate mutagenic and carcinogenic metabolite of the Maillard reaction product, 5-hydroxymethylfurfural. *Carcinogenesis*, 15, 2375-2377.

Tauer, A., Hasenkopf, K., Kislinger, T., Frey, I., & Pischetsrieder, M. (1999). Determination of N-epsilon-carboxymethyllysine in heated milk products by immunochemical methods. *Z Lebensm. Unters. Forsch. A-Food Res. Technol.*, 209, 72-76.

Thao, L., Bhandari, B., Holland, J. W., & Deeth, H. C. (2011). Maillard reaction and protein cross-linking in relation to the solubility of milk powders. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(23), 12473-12479. <https://doi.org/10.1021/jf203460z>

Tomarelli, R., Yuhas, R., Fisher, A., & Weaber, J. (1985). An HPLC method for the determination of reactive (available) lysine in milk and infant formulas. *Journal of agricultural and food chemistry*, 33(2), 316-318.

Tossavainen, O., & Kallioinen, H. (2007). Effect of lactose hydrolysis on furosine formation in skim milk during pasteurisation. *Milchwissenschaft*, 62(2), 188-191.

Tsai, C., Kong, M., & Pan, B. (1991). Water activity and temperature effects on nonenzymic browning of amino acids in dried squid and simulate model system. *Journal of food science*, 56, 665-670.

Ulbricht, R. J., Northup, S. J., & Thomas, J. A. (1984). A review of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) in parenteral solutions. *Fundamental and applied toxicology: official journal of the Society of Toxicology*, 4, 843-853. [https://doi.org/10.1016/0272-0590\(84\)90106-4](https://doi.org/10.1016/0272-0590(84)90106-4)

Valdés, S. (2006). Hidratos de carbono. En *Química de los alimentos* (pp. 61-69). Atlacomulco.

Van Boekel, M. A. J. S. (2006). Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnology Advances*. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.11.004>

Van Boekel, M.A.J.S., & Zia-Ur-Rehman. (1987). Determination of hydroxymethylfurfural in heated milk by high-performance liquid chromatography. *Milk Dairy Journal*, 41, 297-306.

Van Renterghem, R., De Block, J., VanRenterghem, R., & DeBlock, J. (1996). Furosine in consumption milk and milk powders. *International Dairy Journal*, 6, 371-382. [https://doi.org/10.1016/0958-6946\(95\)00060-7](https://doi.org/10.1016/0958-6946(95)00060-7)

Vigo, M. S., Malec, L. S., Gomez, R. G., & Llosa, R. A. (1992). Spectrophotometric assay using o-phthaldialdehyde for determination of reactive lysine in dairy products. *Food Chemistry*. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(92\)90269-8](https://doi.org/10.1016/0308-8146(92)90269-8)

Yamagishi, S., Nakamura, K., y Inoue, H. (2005). Possible participation of advanced glycation end products in the pathogenesis of osteoporosis in diabetic patients. *Medical Hypotheses*, 65, 1013-1015. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2005.07.017>

Yeo, H., y T, S. (1991). Effects of moisture content on the Maillard browning model system upon microwave irradiation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 39, 1860-1862.

Yurova, E., & Denisovich, E. Y. (2003). Lactulose determination by high performance liquid chromatography. *Molochnaya Promyshlennost*, 10, 49-50.