

Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila

ISSN: En trámite

Publicada desde 2009

JBCT-JOURNAL OF BIOPROCESS AND CHEMICAL TECHNOLOGY, año 2020 Volumen 14, No. 24, julio - diciembre 2020, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard Venustiano Carranza s/n colonia República Oriente, C.P. 25380, tels.: (844) 4-14-85-82 y 4-10-02-78, <http://www.biochemtech.uadec.mx>, jbct@uadec.edu.mx. Editor Responsable Mónica L. Chávez González. Reserva de Derechos al uso exclusivo No. 04-2019-011112445500-203 **ISSN:** (en trámite), ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Departamento de Divulgación Científica de la Dirección de Investigación y Posgrado UA de C, Ing. Carlos Federico Robledo Flores, Edificio "D" planta alta, unidad Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, fecha de última modificación, agosto de 2021.



CONSEJO EDITORIAL

Editores en jefe:

Dra. Mónica L. Chávez González
Dra. Adriana C. Flores Galleogos
Dr. Juan A. Ascacio Valdés
Dr. Leonardo Sepúlveda Torre

Consejo Editorial:

Dr. Cristóbal N. Aguilar González, Dr. José Luis Martínez Hernández, Dr. David Castro Lugo.

Comité editorial:

Dra. Claudia Magdalena López Badillo, Dra. Anilu Rubio Ríos, Dra. Aidé Sáenz Galindo

Comité técnico editorial nacional e internacional

Dr. Damaso Navarro Rodríguez (Materiales Avanzados Centro de Investigación en Química Aplicada); Dr. Sylvain Guyot Agroquímica (INRA-Unité de Recherches Cidricoles, Biotransformation des Fruits et Légumes. Francia); Dra. Arely Prado Barragán (Bioreactores y Fermentaciones Universidad Autónoma Metropolitana); Dr. Deepak Kumar Verma (Department of Agricultural and Food Engineering. Indian Institute of Technology); Dra. Virginia Nevárez Moorillón (Biotecnología Universidad Autónoma de Chihuahua); Dr. Zainul Akmar Zakaria (Chemistry & Engineering. Universiti Teknologi Malaysia); Dra. Anna Iliina Dimitrevna (Nanomateriales y Biotecnología Universidad Autónoma de Coahuila); Dra. Liliana Serna (Ciencia y Tecnología de Alimentos Universidad Nacional de Colombia); Dr. Romeo Rojas Molina (Ciencia y Tecnología de Alimentos Universidad Autónoma de Nuevo León); Dra. Gisela Tubio (Biotecnología Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad Nacional de Rosario); Dr. José Juan Buenrostro Figueroa (Ciencia y Tecnología de Alimentos Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.); Dr. Miguel Cerqueira (Nanomateriales International Iberian Nanotechnology Laboratory. Portugal); Dr. Miguel Ángel Aguilar González (Materiales Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-IPN); Dr. Sócrates Palacios (Revalorización de residuos Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Ecuador); Dr. Miguel Velázquez Manzanares (Química Analítica Universidad Autónoma de Coahuila); Dra. Alessandra Napolitano (Biomateriales University of Naples Federico II. Italia); Dr. Nagamani Balagurusamy (Catálisis enzimática y fermentaciones Universidad Autónoma de Coahuila); Dr. José A. Teixeira (Ingeniería Bioquímica University of Minho. Portugal); Dr. Luis Víctor Rodríguez Durán (Bioprocesos Universidad Autónoma de Tamaulipas); Dr. Sevastianos Roussos (Biotecnología y Biorremediación Université Paul Cezanne, Francia); Dr. Jorge Enrique Wong Paz (Bioprocesos Instituto Tecnológico de Ciudad Valles); Dr. Luis Bermudez Humarán (microbiología e Inmunología MICALIS Institute. INRA, Francia); Dr. Shiburaj Sugathan (Microbiology Jawaharlal Nehru Tropical Botanic Garden and Research Institute. India.); Dr. Sabu Abdulhameed (Biotecnología y Microbiología. Kannur University)

Journal of Bioprocess and Chemical Technology
Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila
Volumen 09, No. 24 julio-diciembre de 2020

Contenido

Editorial

Dra. Adriana Carolina Flores

Importancia del Melón (Cucumis melo) y Técnicas para su Conservación

Importance of melón (Cucumis melo) and techniques for its preservation

Lorena Lucía Zamora-Gómez, Araceli Loredó-Treviño

Obtención de Nanopartículas Metálicas Empleando Metodologías Verdes

Obtaining Metallic Nanoparticles Using Green Methodologies

García-Contreras, A., Castañeda-Facio, A

Efecto de las variables del proceso de anodizado con y sin inyección de aire de aluminio comercial

Effect of the variables of the anodizing process without air injection of commercial aluminium

Baltierra-Costeira, G; García-Lara, A.M; Castruita-Ávila, L.G.; Camporredondo-Saucedo, J.E, Equihua-Guillén, F

La Resistencia Bacteriana a Antibióticos: Un Problema Ambiental y Multisectorial

Microbial Antimicrobial Resistance: An Environmental and Multidisciplinary Problem

Blanca Estela Rivera-Chavira, Oskar Alejandro Palacios, Jaime Raúl Adame-Gallegos, Guadalupe Virginia Nevárez-Moorillón

EDITORIAL

La revista *Journal of BioProcess and Chemical Technology* (antes *Acta Química Mexicana*) de la Universidad Autónoma de Coahuila se complace de presentar, en su número 24, aportaciones a la literatura en las diversas áreas de la química. En este número se incluye información sobre la importancia del melón (*Cucumis melo*) y las técnicas para conservar sus características organolépticas y sensoriales, lo cual es de suma importancia para ampliar las opciones de comercialización de este fruto. También se abordará la temática de síntesis de nanopartículas con un enfoque en la química verde, planteando los diferentes parámetros a considerar en la síntesis de nanopartículas metálicas. En otra de las vertientes de la química, se expondrá el efecto de las variables del proceso de anodizado de aluminio, con y sin inyección de aire, para mejorar las propiedades superficiales del aluminio comercial. Finalmente, se expondrá el impacto que tiene el uso de antibióticos en distintas industrias, como la terapéutica y la industria de producción de alimentos, y la acumulación de sus residuos en el ambiente como un problema ambiental y multisectorial al ser fuente potencial de aparición de nuevas bacterias multirresistentes a antibióticos.

Dra. Adriana Carolina Flores Gallegos

Editor

Importancia del Melón (*Cucumis melo*) y Técnicas para su Conservación

Importance of melón (*Cucumis melo*) and techniques for its preservation

Lorena Lucía Zamora-Gómez¹, Araceli Loredo-Treviño^{1*}

¹Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. Venustiano Carranza and J. Cárdenas s/n, Col. Republica Oriente, 25280 Saltillo, México. Tel. +52(844)4161238, 4169213, Fax: +52(844)415-9534.

*Autor para correspondencia: araceliloredo@uadec.edu.mx

Recibido: 9 de enero de 2020

Aceptado: 27 de marzo de 2020

Resumen

El melón es un fruto tropical introducido a México, muy popular y ampliamente cultivado. Este representa millones de pesos de ganancia económica para diversos estados, entre ellos, Coahuila. Esta fruta también tiene diversas propiedades benéficas para la nutrición y salud humana. La principal forma de consumo es en fresco, por lo que hay grandes pérdidas de frutos que no cumplen con las características para su venta. Una forma de alargar la vida útil del fruto es por medio de la disminución del agua libre y para esto existen diversas tecnologías que permiten en mayor o menor medida conservar tanto sus propiedades organolépticas y sensoriales para que el producto deshidratado pueda incorporarse para la elaboración de alimentos a base de melón. Dependiendo de la temperatura de deshidratación y el tiempo que este proceso lleve se obtendrán productos con diferentes propiedades fisicoquímicas y funcionales.

Palabras clave: Melón, deshidratación, producción, propiedades, secado en estera de espuma.

Abstract

Melon is a tropical fruit introduced to Mexico, very popular and widely cultivated. This fruit represents millions of pesos of economic gain for various states, including Coahuila. This fruit also has various beneficial properties for human nutrition and health. The main form of consumption is fresh, so there are large losses of fruits that do not meet the characteristics for sale. One way to extend the useful life of the fruit is through the decrease of water and for this there are several technologies that allow to a greater or lesser extent to preserve both its organoleptic and sensory properties so that the dehydrated product can be incorporated for Melon based food products. Depending on the dehydration temperature and the time this process takes, products with different physicochemical and functional properties will be obtained.

Keywords: melon, dehydration, foam mat drying, production, properties.

INTRODUCTION

El melón es un fruto que pertenece a la familia de las cucurbitáceas donde también se encuentran el pepino, la calabaza, la sandía entre otros; éste se caracteriza por aportar una cantidad importante de beneficios tanto para la salud como para la economía, razón por la cual es uno de los más consumidos a nivel mundial ocupando el cuarto lugar después

de las naranjas, los plátanos y las uvas (SIAP, 2017).

En México este fruto se cultiva en diferentes estados, principalmente en aquellos que tienen climas cálidos y no excesiva humedad, poco más de tres cuartas partes de la producción nacional se obtienen de cuatro entidades del país: Coahuila aportó 24.3% del volumen nacional, seguido de

Sonora, con 23.85%; Michoacán y Guerrero con 16.45% y 12.97%, respectivamente, con una producción total de 598,041 mil toneladas al año (SIAP, 2017). La región lagunera es el mayor productor de Coahuila, lugar que cuenta con más de mil 800 productores divididos entre los municipios de Matamoros, San Pedro y Viesca, sitios que tienen un nivel importante de especialización en cuanto a producción de este fruto se refiere, lo que ha permitido alcanzar un nivel importante de rendimientos que se ven reflejados principalmente en la calidad e inocuidad de los frutos. De esta manera estados como Chihuahua, Durango y Sonora, también se encuentran entre los productores más importantes a lo largo de la República (SAGARPA, 2017). El melón representa 26 millones de pesos para el estado de Coahuila de Zaragoza, sin embargo, no se aprovecha del todo, dado que su principal forma de consumo es en fresco.

Es una fruta/hortaliza con un buen aporte en antioxidantes, los cuales nos protegen ante enfermedades crónicas y retrasan el envejecimiento. De cada 100 gramos, 90 son de agua. Es rica en vitamina C, E y en minerales como potasio, fósforo, magnesio, calcio y hierro, entre otros. (SIAP, 2017). Los melones Cantaloupe se cosechan por madurez y no por tamaño. Idealmente, la madurez comercial corresponde al estado firme-maduro o "3/4 desprendido", que se identifica cuando al cortar la fruta suavemente, ésta se desprende de la planta (INFOAGRO, 2010). Los melones Cantaloupe maduran después de la cosecha, pero su contenido de azúcar no aumenta. El color externo de los frutos en estado "3/4 desprendido" varía entre cultivares, pudiendo caracterizarse por la presencia de tintes verdosos. El color de la piel en estos cultivares es típicamente gris a verde opaco cuando el fruto no tiene madurez comercial, verde oscuro uniforme en madurez comercial y amarillo claro en plena madurez de consumo. Otro indicador de la madurez comercial apropiada, es la presencia de una red bien formada y realzada en la superficie de la fruta. Siendo la cosecha por madurez una de sus desventajas de conservación pues el melón es altamente sensible al etileno presente en el ambiente por lo que una sobre maduración es un problema en su distribución y almacenamiento a corto plazo. Se han aplicado diferentes tipos de conservación como atmósferas controladas, pero solamente ofrece beneficios moderados en la mayoría de las condiciones. En períodos prolongados de tránsito (14-21 días) se reportan los siguientes efectos benéficos de las atmósferas controladas en los melones Cantaloupe: retraso de la maduración, disminución de la respiración, menor pérdida asociada de azúcares e inhibición de las pudriciones y de los mohos en la superficie. Las condiciones más aceptadas son 3% O₂ y 10% CO₂ a 3°C. Las concentraciones elevadas de CO₂ (10-20%) son toleradas, pero producen efervescencia en la pulpa. Este sabor carbonatado, que proviene del CO₂, se pierde cuando la fruta se transfiere al aire. Las bajas concentraciones de O₂ (<1%) o altas de CO₂ (> 20%) alteran la maduración y causan sabores y olores desagradables y otros defectos. Por otra parte, también se han aplicado métodos de enfriamiento que no son favorables para esta cucurbitácea provocando el daño por frío que comúnmente ocurre después del almacenamiento a

temperaturas inferiores a 2°C durante algunos días. Los síntomas del daño por frío incluyen picado o depresiones superficiales, incapacidad para madurar normalmente, sabores desagradables y mayor incidencia de pudriciones en la superficie siendo difícil su conservación (INFOAGRO, 2010). Una alternativa relativamente sencilla es el secado con espuma, método que facilita la eliminación de agua en frutas, un líquido se convierte en espuma estable mediante la adición de agentes espumantes o agentes estabilizantes, para pasar a un secado airado a temperaturas relativamente bajas formando un delgado panal poroso o esterilla que por consiguiente se desintegrara a un polvo. (Karim y Wai 1999b; Sangamithra y col.2015). El secado de la estera de espuma puede utilizarse a gran escala de polvos frutales debido a su idoneidad para todo tipo de jugos (sensibles al calor, con alto contenido de azúcar, pegajosos y alimentos viscosos), secado rápido a baja temperatura, retención de la calidad nutricional, fácil reconstitución y costeable. Los polvos de jugo de fruta obtenidos a través de este proceso tienen un alto potencial económico sobre sus contrapartes líquidas, como volumen o peso reducido, manejo y transporte más sencillos y una vida útil mucho más prolongada (Sangamithra y col., 2015). Esta revisión explora la deshidratación como un medio para la conservación del fruto.

CARACTERÍSTICAS TAXONÓMICAS DEL MELÓN

El melón pertenece a la familia de las cucurbitáceas, es una planta anual herbácea, de porte rastroso o trepador. Tiene un sistema radicular abundante muy ramificado y de rápido desarrollo; su tallo principal está cubierto por formaciones pilosas y presentan nudos en los que se desarrollan hojas zarcillos y flores, brotando nuevos tallos de las axilas de las hojas; sus hojas de limbo orbicular aovado, reniforme o pentagonal, dividido en 3 a 7 lóbulos con los márgenes dentados, las hojas también son vellosas por el envés; su flor de color amarillo, existen varios tipos de melón el amarillo (gota de miel), Cantaloupe (Chino) y Honeydew. La forma del fruto es variable (esférica, elíptica, aovada, etc.); la corteza de color verde, amarillo, o blanco, puede ser lisa, reticulada o estriada. La pulpa puede ser blanca, amarilla o anaranjada. La placenta contiene las semillas y es gelatinosa o acuosa (SIAP, 2010). Eso se puede ver en la figura 1.

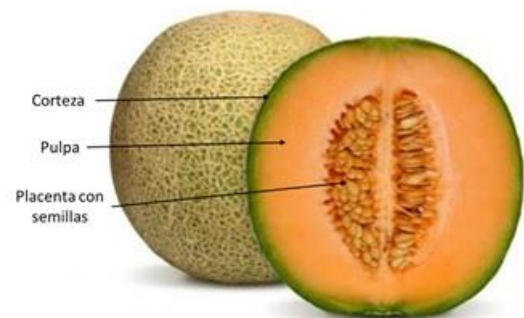


Figura 1. Melón con sus partes. Corteza, pulpa y placenta con semillas.

ORIGEN

África es considerado el centro de origen del melón, por la frecuente ocurrencia de especies silvestres de melón con número cromosómico $n=12$, siendo diploides todas las formas cultivables, además de la presencia de plantas silvestres de melón en el este de África tropical y en el sur del desierto del Sahara (Křístková, y col, 2003). Sin embargo, otros autores señalan su origen en el oeste de Asia, por los descubrimientos arqueológicos del Valle Harapan en la India con vestigios de semillas que datan de unos 2000 o 2500 años a.C., aunque la mayoría de los autores se inclinan hacia un origen africano (Křístková y col., 2003). Tomando en cuenta la teoría de un origen africano, se refiere como centros secundarios de diversidad a China, Corea, Portugal y España. Aunque recientemente se expresa que el centro primario se encuentra en el área Sudano-Saheliano por la presencia de los tipos silvestres de melón, mientras que Asia, desde el Mediterráneo a Japón forma parte como centro secundario de diversificación. En América fue introducido desde 1516 en la región centroamericana, mientras que en América del Norte posterior al 1600 (Křístková y col., 2003).

CULTIVO

Es un cultivo de climas cálidos y no excesivamente húmedos, de forma que en regiones húmedas y con escasa insolación su desarrollo se ve afectado negativamente, apareciendo alteraciones en la maduración y calidad de los frutos. Una de las bondades del cultivo del melón es que no tiene muchas exigencias en cuanto al tipo de suelo, pero da mejores resultados en suelos ricos en materia orgánica, profundos, con alto contenido de tierra negra y de nitrógeno. El cultivo de melón no tolera un clima helado. Por eso, se recomienda al productor sembrarlo en sitios donde la temperatura alcance de 24 a 30 grados centígrados (Tercero S., 2018).

AGRO INDUSTRIALIZACIÓN Y COMERCIO EN MÉXICO

En México el mejor desarrollo está en zonas secas como en los estados de Coahuila, Sonora, Michoacán y Guerrero como los mayores productores y los menores productores están Durango, Colima, Chihuahua, Oaxaca, Jalisco y Baja California Sur (SIAP, 2018). Los 10 estados con mayor superficie sembrada de melón durante 2018 se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Estados mexicanos con mayor producción de melón en 2018.

Orden	Estado	Superficie cosechada (ha)
1	Coahuila	4,394
2	Sonora	4,004
3	Guerrero	3,343
4	Michoacán	2,240
5	Durango	1,543
6	Oaxaca	1,150
7	Chihuahua	744
8	Colima	346
9	Nayarit	260
10	Jalisco Sur	248

Y los 10 estados con mayor valor de la producción de melón durante 2018 se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Estados mexicanos con mayor valor de producción de melón en 2018.

Orden	Estado	Valor de producción (Millones de pesos)
1	Sonora	919
2	Guerrero	603
3	Coahuila	498
4	Michoacán	345
5	Durango	191
6	Oaxaca	79
7	Colima	75
8	Nayarit	58
9	Chihuahua	53
10	Jalisco	39

El melón es un cultivo de gran importancia económica y social en México, debido a la magnitud de la superficie sembrada, altos volúmenes de producción, fuente de empleo e ingreso para los productores, así como por la generación de divisas para el país. La superficie cultivada con melón en México asciende a 19, 076 ha anuales, con una producción de 543, 651 T, según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017). En la comercialización, se observa que los consumidores urbanos, en casi todos los países, han modificado sus hábitos de consumo; exigen productos de mayor calidad y de disponibilidad, preferentemente, durante todo el año. Las cadenas comerciales, para responder a estas demandas, han implementado procesos más rigurosos de calidad con sus proveedores, así como mejoramiento en la infraestructura de almacenamiento y distribución -cadena de frío- (González, 2006). Sin embargo el melón es una fruta perecedera con almacenamiento a corto tiempo de 15 días y las cadenas de frío no funcionan eficazmente en esta fruta pues el daño por frío (chilling injury) comúnmente ocurre después del almacenamiento a temperaturas inferiores a 2°C durante algunos días. La sensibilidad al daño por frío disminuye a medida que la madurez fisiológica o la de consumo aumentan.

Los síntomas del daño por frío incluyen picado o depresiones superficiales, incapacidad para madurar normalmente, sabores desagradables y mayor incidencia de pudriciones en la superficie (INFOAGRO, 2010).

PROPIEDADES NUTRICIONALES Y FUNCIONALES

La fruta del melón contiene polifenoles, ácidos orgánicos, lignanos y otros compuestos polares que proporcionan a la salud potenciales beneficios (Rodríguez-Pérez y col. 2013). Se recomienda al melón para el tratamiento de trastornos cardiovasculares como diurético estomacal y vermífugo. Algunos informes incluyen efectos antioxidantes y antiinflamatorios (Vouldoukis y col. 2004) así como el potencial inhibitorio de ureasa, la cual es una enzima que producen diversos microorganismos patógenos que disminuye la eficacia de algunos antibióticos. De acuerdo a Lester (1997) el melón debe ser incluido en la dieta de todos al día para asegurar una nutrición adecuada y para reducir el riesgo de cáncer y enfermedades crónicas.

El melón es un producto bien conocido y aceptado por los consumidores nacionales por ser buena fuente de β -caroteno, vitamina C, fibra, ácido fólico y potasio que proporciona numerosos beneficios a la salud del consumidor, además de bajo contenido de grasa y colesterol (Asokapandian y col., 2016). La cantidad de β -caroteno, de acción antioxidante, depende de la intensidad del pigmento anaranjado en la pulpa, estos tienen un papel importante en la defensa del cuerpo contra los radicales libres y son capaces de prevenir o reparar el daño a las células del cuerpo mediante la inhibición de la oxidación de biomoléculas que es causada por el oxígeno (Reza S y col., 2017). Los consumidores acostumbran consumirlo en agua fresca, ensaladas y postres como el helado. Sin embargo, el melón exhibe corta vida útil postcosecha a temperatura ambiente.

Durante la temporada, se produce una cantidad excedente de melón, y por tanto hay degradación de la calidad que se ve como excesivo ablandamiento, deterioro del sabor, la reducción en el contenido de azúcar y aumento de la vulnerabilidad de ataque de patógenos (Asokapandian y col., 2016). Por lo que sigue siendo prioritario otra forma de conservación que no afecte a los productores, al ser costoso, ni al fruto. Para esto, existen diferentes métodos de conservación para los alimentos en fresco estos se mencionan a continuación.

MÉTODOS DE CONSERVACIÓN

Temperatura óptima

La vida de almacenamiento del melón es hasta de 21 días a 2.2°C, pero la calidad sensorial puede reducirse. Generalmente, se pueden esperar de 12 a 15 días como vida postcosecha normal dentro del intervalo óptimo de temperatura. En ocasiones, durante el almacenamiento de corto plazo o el transporte, se aplican temperaturas inferiores, fuera de este intervalo, que dan lugar a daño por frío después de algunos días (INFOAGRO, 2009).

Atmósferas controladas (A.C.)

Las condiciones más aceptadas son 3% O₂ y 10% CO₂ a 3°C. Las concentraciones elevadas de CO₂ (10-20%) son toleradas, pero producen efervescencia en la pulpa. Las bajas concentraciones de O₂ (<1%) o altas de CO₂ (> 20%) alteran la maduración y causan sabores y olores desagradables y otros defectos (INFOAGRO, 2009).

Coadyuvantes

Troncoso-Rojas y col. (1999), Peralta (2000) y Mendoza y col. (2001) han reportado el efecto benéfico del uso de recubrimientos superficiales a base de ceras comestibles, películas plásticas y envases activos para el control de las pérdidas de agua por transpiración en frutos de melón cantaloupe. Asimismo, el empleo de tratamientos con agua o aire caliente por cortos periodos, se ha venido estudiando en diversos frutos como una alternativa barata y segura para reducir daños causados por hongos y otros patógenos (Hatton y Reeder, 1967).

Sin embargo, el uso de agua caliente tiene la desventaja de acelerar el deterioro de los frutos y de reducir su potencial de almacenamiento, además de una disminución de firmeza durante el tiempo de almacenaje.

Métodos de deshidratación

Los alimentos deshidratados son muy útiles cuando se desean conservar por largo tiempo o cuando no se consigue alimentos frescos a la mano (Grajales y col., 2005).

Según Kadam y col. (2008), los productos en forma de polvo seco, llevan a cabo una reducción sustancial de peso y volumen, minimizando envasado y almacenamiento, reduciendo así los costos de transporte y pérdidas económicas.

Hay varias técnicas de secado aplicables para producir productos secos como:

Ósmosis

La deshidratación osmótica es una técnica ampliamente utilizada como pretratamiento a procesos de secado, para reducir pérdidas de calidad y disminuir el tiempo de proceso. La deshidratación osmótica incluye dos tipos de transferencia de masa: la difusión del agua del alimento a la solución y la difusión de solutos de la solución al alimento (Arreola y Rosas, 2007). La deshidratación se produce de forma natural, después de su inmersión en soluciones hipertónicas que presentan una alta presión osmótica y disminución de la actividad de agua como consecuencia de la diferencia de presiones (Amami y col., 2017). La diferencia de presión osmótica entre el alimento y la solución hipertónica, proporcionan la fuerza necesaria para el proceso de transferencia de masa, donde la estructura celular del alimento actúa como membrana semipermeable (da Costa y col., 2016). El proceso de osmodeshidratación es relativamente lento, por lo que analizar el efecto de diferentes variables sobre la velocidad de los procesos de transferencia de materia es un aspecto importante.

Liofilización

El proceso de liofilización en alimentos se ha considerado como el mejor método de deshidratación que además de conservar las características organolépticas y nutritivas del alimento, le otorga un valor agregado aproximado del 120% (Ramírez, 2011). Esta técnica es utilizada con el objetivo de reducir las pérdidas de los componentes responsables del aroma y sabor, los cuales se ven afectados en los procesos convencionales de secado (Grajales y col., 2005), además de preservar algunos componentes como minerales y vitaminas (Marques y col., 2007). Este proceso de deshidratación está basado en la sublimación del contenido de hielo en el alimento (Marques & Freire, 2005; Grajales y col., 2005). El estado sólido del agua, que se logra con la congelación rápida, protege la estructura primaria, cambios, forma y volumen de la fruta (Marques y col., 2007). El proceso de sublimación es mucho más eficiente a bajas presiones (vacío), ya que el agua se extrae bajo el impulso gradiente de presión total (Grajales y col., 2005). A pesar de sus ventajas su uso es limitado debido a los altos costos de energía relacionados con largos tiempos de secado.

Secado por aspersión (Spray drying)

La mayoría de las frutas tropicales poseen colores intensos y sabores que las hacen excelentes candidatas como fuente de nuevos y diversos aditivos. La aspersión es uno de los métodos de obtención de productos en polvo que mantiene muchas de las propiedades de los productos. La presentación de nuevos formatos de consumo de los jugos de frutas como saborizantes naturales podría incidir en la prolongación de su vida útil con nuevas alternativas que puedan aumentar su consumo y acercar sus propiedades beneficiosas a los consumidores. Por otra parte, cuando se requiere mezclar jugos de frutas con otros ingredientes secos, es imprescindible tener el jugo deshidratado para poder realizar la mezcla física. Es muy importante estudiar la influencia de la temperatura del aire de entrada y el contenido de soportes a utilizar en el secado por aspersión, ya que estos influyen en la calidad del producto deshidratado y es necesario una optimización de este proceso para cada fruto que se desee deshidratar por este método (Aragüez Fortes, 2016).

Calentamiento

Este método de secado tiene una gran importancia como la tecnología post-cosecha; pero el secado de la pulpa de melón tiene dos problemas principales: 1) el melón Cantaloupe es sensible a altos tratamientos de temperatura y 2) la pulpa de melón contiene alto contenido de azúcar y es pegajoso y viscoso para que la eliminación de agua es difícil y se aumenta el tiempo de secado posteriormente.

Otra alternativa es la deshidratación por flujo de aire caliente, en la cual, a partir de la evaporación se elimina el contenido de agua y se impide el crecimiento bacteriano (Serpa-Guerra y col., 2015). En el secado de frutas mediante este proceso se pueden afectar las propiedades sensoriales y el valor nutricional si se almacena a temperaturas muy altas. La temperatura de secado es una variable fundamental en los estudios cinéticos de cualquiera de los procesos (Pereira y col., 2013).

Método de secado en estera de espuma

Espuma es el aumento en el área superficial y la estructura porosa de los materiales por la incorporación de aire/gas bajando su densidad. Esta característica mejora la transferencia de masa que conduce a tiempos de secado más cortos y la adquisición por consiguiente de mayor calidad en el producto seco (Karim y Wai 1999b).

El secado de la estera de espuma es un método relativamente simple y alternativo que facilita la eliminación de agua de zumos de frutas y purés de vegetales. En este proceso, un producto líquido se convierte en espuma estable mediante la adición de agentes espumantes o agentes estabilizantes, seguido de secado al aire a temperaturas relativamente bajas para formar una lámina de panal poroso delgado o de la estera que se disgregó para dar lugar a un polvo (Karim y Wai 1999b; Sangamithra y col.2015b). El proceso se muestra en la figura 2.

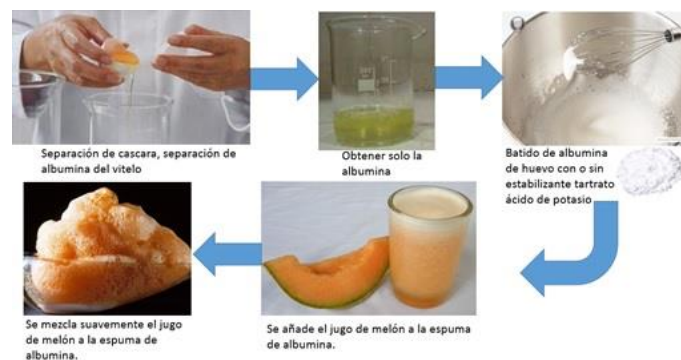


Figura 2. Diagrama de flujo para obtener estera de espuma con jugo de melón y albúmina de huevo

El secado en estera de espuma es muy adecuado para la deshidratación de, alimentos con alto contenido de azúcar sensibles al calor, los alimentos pegajosos y viscosos que son difícil para secar con el uso de otros métodos de secado (Kadam y col. 2010a; Chandrasekar y col. 2015b). Otras ventajas asociadas con el secado en estera de espuma incluyen un secado rápido, la retención de nutrientes, fácil reconstitución y la rentabilidad (Kadam y Balasubramanian 2012; Wilson y col., 2014).

El proceso de secado en estera de espuma conserva las propiedades originales de la fruta fresca, como el color, sabor, vitaminas, y los atributos sensoriales debido a un mínimo daño por calor. Por ejemplo, Rajkumar y Kailappan (2006) informaron de que el sabor natural y el color de mango se han conservado en el secado de estera de espuma del polvo de mango, y el contenido de vitamina C de los cítricos se han conservado en secado de estera de espuma en polvo de zumo de cítricos.

Secado de estera de espuma es un método alternativo para el secado de melón ya que es una técnica simple, económica y eficiente.

CONCLUSIONES

El melón es un fruto de amplia aceptación, que representa una ganancia económica importante al estado mexicano de Coahuila y que además tiene propiedades que pueden ayudar a mejorar la salud y estado nutricional de quienes lo consumen. Sin embargo, dado que su principal forma de consumo es en fresco hay pérdidas importantes del fruto. Una forma para alargar la vida útil es disminuyendo el contenido de agua libre por medio de la deshidratación. Existen diferentes métodos que varían en costo, eficiencia y para mantener las propiedades funcionales del fruto. Esto último depende principalmente de tiempo de secado y de la temperatura. Con estos diferentes métodos se pueden conseguir productos deshidratados que se pueden aplicar en diferentes alimentos y así poder aumentar el valor económico del melón. Las tecnologías de secado por aspersión y liofilización son las que permiten mantener las propiedades funcionales del fruto de manera más eficiente, sin embargo, son las más costosas. Por otra parte, la técnica de secado en estera de espuma es una técnica barata y sencilla que permite mantener las propiedades funcionales, aunque en menor medida que las técnicas mencionadas anteriormente. De manera, que dependiendo del uso final que se le pretenda dar al producto será la selección del método de secado

REFERENCIAS

- Amami E, Khezami W, Mezrigui S, Badwaik LS, Bejar AK, Perez CT y Kechao N. 2017. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry, *Ultrason. Sonochem.* **36**:286–300.
- Arreola S, y Rosas M. 2007. Aplicación de vacío en la deshidratación osmótica de higos (ficus carica). *Inf. Tecnol.* **18**:43–48.
- Asokapandian S, Venkatachalam S, John G y Kuppusamy K. 2015. Optimization of foaming properties and foam mat drying of muskmelon using soy protein. *J Food Proces Eng.* **39**: 692-701.
- Chandrasekar V, Gabriela J, Kannan K y Sangamithra A. 2015. Effect of foaming agent concentration and drying temperature on physiochemical and antimicrobial properties of foam mat dried powder. *Asian J. Dairy Food Res.* **34**: 39–43.
- da Costa AS, Aguiar E, y Maldonado R. 2016. Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality. *Food Sci. Technol.*, **72**:407–415.
- Křístková E, Lebeda A, V. Vinter V y Blahousek O. 2003. Genetic resources of the genus Cucumis and their morphological description. *Hortic Science (Prague)*, **1**:30.
- González VC. 2006. Introducción. En R. Quirós (Ed.), *Financiamiento de las cadenas agrícolas de valor pp.* 1-10.
- Grajales L, Cardona W y Orrego C. 2005. Liofilización de carambola (averrhoa carambola L.) osmodeshidratada. *Ingeniería y competitividad.* **2**:19-26.
- Hatton T y Reeder W. 1967. Hot water as a comercial control of mango antracnose. *Proc. Carib. Region Am. Soc. Hortic. Sci.*, **10**:114-119.
- Infoagro. 2011. El cultivo del melón.2019, de Copyright Infoagro Systems S.L Sitio web: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/melon3.htm
- Kadam D, Samuel DVK, Chandra P y Sikarwar. 2008. HS Impacto de los tratamientos de procesamiento y el material de embalaje en algunas propiedades de la coliflor deshidratada almacenada. *Rev Int Ciencia Tec Alim.* **43**:1-14.
- Kadam D y Balasubramanian S. 2011. Foam mat drying of tomato juice. *J. Food Process. Preserv.* **35**:488–495.
- Kadam D, PATIL R y Kaushik P. 2010. Foam mat drying of fruit and vegetable products. *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*, S.V. Jangam, C.L. Law and A.S. Mujumdar, eds. 113–124.
- Karim A y Wai C. 1999b. Foam-Mat Drying Of Starfruit (Averrhoa Carambola) Purée. *Stability And Air Drying Characteristics.* *Food Chem.* **64**:337–343.
- Karim A. y Wai C.1999^a. Characteristics Of Foam Prepared From Starfruit (Averrhoa Carambola L.) Puree By Using Methyl Cellulose. *Food Hydrocoll.* **13**:203–210.
- Malhotra OP y Rani I. 1978. Ourrence, insolation & characterization of urease inhibitor from melón (cucumis melo) sedes. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, **3**:229-231.
- Marques L y Freire J. 2005. Analysis of freeze-drying of tropical fruits. *Drying Technology*, **23**:2169-2184.
- Marques L, Ferreira M y Freire J. 2007. Freeze-drying of acerola (Malpighia glabra L.). *Chemical engineering and processing*, **5**:451-57.
- Mendoza A., Bringas E., González G., Ojeda J., Saucedo C., Báez R. (2001) Aplicación de mezclas cerosas en melón cantaloupe y sus efectos en la fisiología del fruto. *Rev. Iberoamericana Tecnol. Postcosecha.***1**: 83-89.
- Milind D y Klwant S. 2011. Musk melón is eat. *Must melón. International research journal of pharmacy.* **8**:52-57.
- Peralta E. 2000. Elaboración de un envase activo para extender la vida de almacenamiento de melón cantaloupe ‘Copa de Oro’. Tesis de Maestro en Ciencias, DTAOV, CIAD, Hermosillo, México.
- Pereira G y Becerá M. 2013. Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (Ananas Comosus, variedad Cayena lisa). *Rev Ciencias Técnicas Agropecuarias.* **1**:62–69.
- Pino J, Lantigua M, Aragüez Y. 2016. Conocimientos actuales sobre el secado por aspersión de la miel. **6**:2.
- Rajkumar P, Kailappan R, Viswanathan R y Raghavana GSV. 2007. Dryinig characteristics of foamed

- alphonso mango in a continuous type foam mat dryer. *J Food Eng.* **4**:1452-1459
- Ramírez J. 2011. Liofilización de alimentos. Universidad del Valle Cali, Colombia. Ed p2-6.
- Reza S, Mohebbi M, y Taghizadeh M. 2017. Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) pulp powder using foam mat drying method: Effects of drying conditions on microstructural of mat and physico-chemical properties of powder. *Drying Tech Int J.* **18**:22.
- Serpa A y Vásquez. 2015. Comparison of two dehydration techniques for “pear” guava (*Psidium guajava* L.) on the effects of the vitamin C content and on the behavior of the technical and functional properties of the dietary fiber. *Rev Lasallista Inv.* **1**:10–20.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. Cultivos de interés: melón. 2019, de SIAP Sitio web: http://encuestascontinuas.siap.gob.mx/edu_siap/segunda.php?cv_cultivo=21200&cv_ciclo=1
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. Melón: Monografía. 2019, de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166470/melon_monograf_a.pdf
- Tercero S. 2018. Generalidades y Manejo de Plagas y Enfermedades en el Cultivo de Melón (*Cucumis melo* L.) en la Empresa Lowland Corporation, Trabajo de pasantía. Ciudad Sandino, Managua, Nicaragua
- Troncoso R., Sánchez A., Bringas E., Ojeda J, Báez R.. (1999). Comportamiento postcosecha de melón cantaloupe tratado con cera, película plástica y almacenamiento refrigerado. *Rev. Iberoamericana Tecnol. Postcosecha.* **2**: 186-192.
- Vouldoukis I, Lacan D, Kamate C, Coste P, Calenda A, Mazier D, Conti M., Dugas B. 2004. Antioxidant and anti-inflammatory properties of a *Cucumis melo* LC extract rich in superoxide dismutase activity. *J Ethnopharmacology* **94**:67-75.
- Wilson R. Kadam D, Chadha S, Grewal M. y Sharma M. 2019. Evaluation of Physical and chemical properties of foam-mat dried mango (*Mangifera indica*) powder during storage. *J. Food Process. Preserv.* **38**:1866–1874.

Obtención de Nanopartículas Metálicas Empleando Metodologías Verdes

Obtaining Metallic Nanoparticles Using Green Methodologies

García-Contreras, A.¹, Castañeda-Facio, A.^{1*}

¹ *Departamento de Ciencia y Tecnología de polímeros, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. Venustiano Carranza y J. Cárdenas s/n, Col. República, 25280 Saltillo, México. Tel. +52(844) Tel: (844)416 92 13*

*Autor para correspondencia: adali.castaneda@uadec.edu.mx

Recibido: 26 de Junio de 2020

Aceptado: 14 de Septiembre de 2020

Resumen

Actualmente el uso de nanopartículas para el desarrollo de materiales con propiedades únicas en diversos campos de la ciencia ha tenido un gran incremento, debido a que tienen aplicaciones muy interesantes en la medicina, biología, agricultura, electrónica entre otras. Debido a lo anterior se plantea la siguiente revisión con respecto al empleo de metodologías verdes para la obtención de nanopartículas en donde se inspeccionarán los diferentes parámetros en la síntesis de nanopartículas metálicas.

Palabras clave: Metodologías de obtención, Clasificación, Extractos, Nanopartículas metálicas, Síntesis verde.

Abstract

Currently, the use of nanoparticles for the development of materials with unique properties in various fields of science has had a great increase, because have very interesting applications in medicine, biology, agriculture, electronics, among others, due to the foregoing. Due to the above, the following review is proposed regarding the use of green methodologies to obtain nanoparticles where the different parameters in the synthesis of metallic nanoparticles will be inspected.

Keywords: Methodologies for obtaining, classification, extracts, metallic nanoparticles, green synthesis.

INTRODUCTION

En su concepto básico la nanotecnología es el control, producción y comprensión de la materia en dimensiones en el rango de los nanómetros (nm). El prefijo griego “nano” significa “enano”; en el campo de la ciencia, se refiere a las estructuras que equivalen a la mil millonésima parte de algo (Gómez Garzón, 2018). La nanotecnología es la disciplina centrada en el estudio, diseño, síntesis y manipulación de materiales a escala nanométrica en el rango de 1 a 100 nm (Ramos, 2017). Estos materiales están formados por carbono, metal, óxidos metálicos o materia orgánica. Los elementos químicos en su forma nanométrica presentan un comportamiento inusual en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Morales Díaz. et al, 2016), pueden presentar diversas morfologías como esferas, tubos, triangular, cúbica, barras o fibras (Ramos, 2017). Es importante resaltar que, según la forma que presente la

nanopartícula, sus propiedades físicas y químicas pueden variar, además los defectos e impurezas también suelen influir, por lo cual es esencial conocer el tamaño, la morfología y la composición química, los cuales están estrechamente relacionados con los parámetros de síntesis.

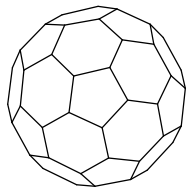
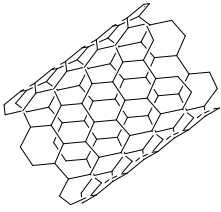
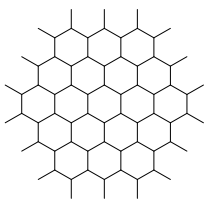
CLASIFICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS

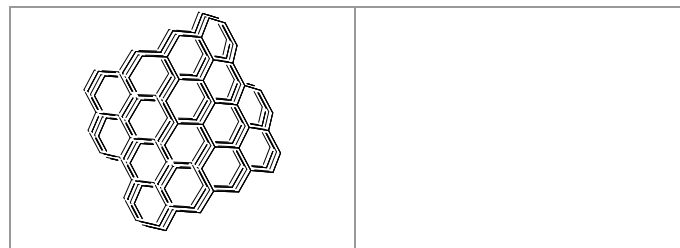
Las nanopartículas pueden clasificarse como orgánicas, inorgánicas y las que son a base de carbono. Dentro de las nanopartículas orgánicas se encuentran los dendrímeros, micelas, liposomas etc. Mientras que las nanopartículas inorgánicas se encuentran las nanopartículas metálicas (Ag, Pb, Fe, Au, Cu, Co, Cd, Al y Zn) y las de óxidos metálicos (SiO₂, ZnO, TiO₂, CeO₂, Al₂O₃, Fye₂O₃). Entre las nanopartículas a

base de carbono pueden mencionarse los fullerenos, grafeno, nanotubos de carbono, nanofibras de carbono y negro de humo (Ealias & Saravanakumar, 2017). Las nanopartículas que predominan son aquellas a base de carbono seguidas de las nanopartículas de metales nobles como el oro y la plata y, finalmente dentro de las inorgánicas las nanopartículas semiconductoras como el selenuro de cadmio. Como se observa existe una gran variedad de nanopartículas que varía según el enfoque deseado (Morales Díaz. et al, 2016).

Pokrovnyy y Skorokhod en 2007 realizaron una clasificación de los nanomateriales en base al movimiento de electrones a lo largo de las dimensiones, de tal manera que las clasificaron en 0D, 1D, 2D y 3D como se muestra en la tabla 1. Por ejemplo, en una nanopartícula 0D los electrones se encuentran atrapados en un espacio sin dimensiones, en una nanopartícula 1D los electrones pueden moverse al largo del eje x teniendo una dimensión inferior a los 100nm. Una nanopartícula 2D y 3D tienen movimiento de electrones a lo largo del eje yx, xy, y y z respectivamente (Pokrovnyy & Skorokhod, 2007).

Tabla 1. Clasificación de los nanomateriales según sus dimensiones (Gómez Garzón, 2018).

Estructura	Nanomateriales
Cero-dimensional (0D) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fullerenos - Partículas coloidales - Puntos cuánticos (Qdots) - Nanoclusters - Nanopartículas de Au y Ag
Uni-dimensional (1D) 	<ul style="list-style-type: none"> - Nanocables y nanofibras - Nanotubos - Nanovarillas - Fibras poliméricas
Bi-dimensional (2D) 	<ul style="list-style-type: none"> - Monocapas - Nanorecubrimiento - Películas poliméricas (nano) - Superficies espesor <100nm - Películas multicapa
Tri-dimensional (3D)	<ul style="list-style-type: none"> -Materiales nanoestructurales - Policristales - Nanobolas - Nanobobinas - Nanoflores



Las nanopartículas metálicas como el oro, platino, paladio, cobalto y rodio se han desarrollado mediante varios métodos experimentales, debido a que poseen un interés particular en sus partículas (Hernández Díaz, 2013), las formas de varios elementos metálicos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Morfologías convencionales para diversas nanopartículas metálicas (Younan. et al, 2009).

Estructura	Metales	Morfología
Cristal único	Pd, Ag, Au, Pt, Cu, Rh, Bi, Fe	Cúbicas
	Pd, Ag, Au, Pt	Octaédricas
	Ag, Au, Pt, Rh	Tetraédricas
	Pd, Ag, Pt	Barra rectangular
	Pd, Au, Fe, Co, Ni	Barra octagonal
	Pd, In, Sn, Sb, Fe, Co	Alambre octagonal o rectangular
Cristal individual	Pd, Ag	Bipirámide derecha
	Ag	Rayo
Cristal múltiple	Pd, Ag, Au	Decaedro
	Pd, Au	Icosaedro
	Pd, Ag, Au, Cu	Barra pentagonal
	Ag, Cu	Alambre pentagonal
	Pd, Ag, Au, Cu, Pb, Bi, Co, Ni	Plato triangular/hexagonal
	Sn, Co	Disco

Estos metales son muy importantes en el área química debido a que las partículas poseen una alta relación volumen/superficie (Hernández Díaz, 2013), además presentan excelentes propiedades, tales como buena conductividad, estabilidad química, además de su actividad catalítica y antibacterial (Gómez Garzón, 2018).

Otro tipo de clasificación es de acuerdo a su origen, donde se pueden clasificar en nanomateriales naturales y sintéticos, donde las naturales se producen en la naturaleza (Jeevanadam. et al, 2018) por actividades antropogénicas, mientras que los sintéticos se producen mediante diferentes métodos como los

físicos, químicos lo biológicos (Wagner. et al, 2014).

MÉTODOS DE OBTENCIÓN

Existen diversos métodos para sintetizar nanopartículas metálicas, siendo siempre el desafío controlar el tamaño, distribución de tamaño, morfología, cristalinidad y propiedades. Los métodos de síntesis pueden clasificarse de acuerdo a su estrategia de síntesis, naturaleza del proceso, o fuente de energía empleada (Ledezma, 2014). Dentro de las estrategias de síntesis se encuentran la “ascendente”, donde las nanopartículas se construyen átomo por átomo y la descendente que radica en la disminución del tamaño del material, hasta la escala nanométrica (Morales Díaz. et al, 2016). El primero consiste en la fabricación de nanopartículas mediante la condensación de átomos en fase gaseosa o en solución (Arenas, 2018), mientras que el segundo consiste en la división de sólidos en porciones pequeñas, donde se involucra molienda, desgaste o métodos químicos y la volatilización de un sólido seguido por una condensación de componentes. Ambos tienen la finalidad de obtener el material a escala nanométrica ya sean en películas delgadas, nanotubos, etc. (Garduño Zavala, 2011) En la figura 1 se muestran los métodos según su estrategia de síntesis.

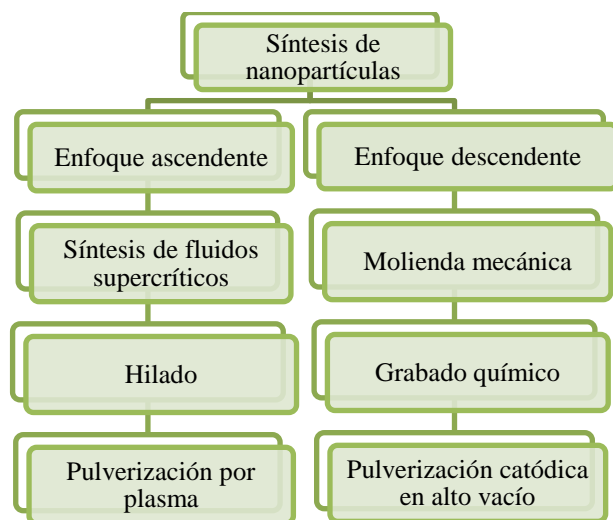


Figura 1. Esquema de diferentes estrategias utilizadas para la síntesis de nanopartículas metálicas.

Por otro lado, se han utilizado métodos químicos mediante la reacción redox, por sol gel, a través de microondas, usando el método electroquímico, por reducción fotoquímica y con la ayuda de irradiación ultravioleta (Vera. et al, 2017).

Otro de los métodos consiste en la evaporación del material mediante calentamiento, éste se lleva a cabo en una cámara de vacío en donde se condensa el vapor sobre una lámina fría, a la cual, se le debe controlar la temperatura para evitar una modificación en la morfología; también conocida como evaporación térmica, es uno de los métodos en la síntesis de nanopartículas (Arenas, 2018).

Existen fuentes de energía que se involucran en la síntesis de las nanopartículas, algunos ejemplos son el uso de rayos láser, el uso de plasma, mediante calentamiento, por medio de microondas, liofilización, combustión, flama y pulverización catiónica (sputtering) (Hernández Díaz, 2013); éste último consiste en bombardear con átomos, iones, electrones o moléculas a un sólido provocando una energía cinética excedente que va a generar la separación de los átomos en el sólido en forma gaseosa (Montoya Carvajal, 2010), esta técnica es considerada ineficiente, ya que la mayoría de la energía se transforma en calor, por lo cual se requiere de un sistema de refrigeración.

Hoy en día existe un gran interés en la preparación de nanopartículas metálicas usando métodos biológicos no tóxicos y ambientalmente atractivos, la síntesis verde ha permitido dar este paso, ya que parte del uso de bacterias, hongos, y plantas para la obtención de nanopartículas metálicas (Yusuf & Amit Kumar, 2013). En contraste en la reducción de sales metálicas para la síntesis de nanopartículas se requieren compuestos como el borohidruro de sodio, hidracina, hipofosfito y otros que, además de su elevado costo, son moléculas tóxicas que ocasionan un impacto ambiental negativo (Ledezma, 2014). Por otro lado, el uso de extractos para fabricar nanopartículas, es una práctica viable en el sentido de costos e impacto ambiental, ya que pueden actuar como agentes reductores y estabilizadores, reduciendo considerablemente el uso de compuestos tóxicos para la síntesis de las nanopartículas (Yusuf & Amit Kumar, 2013).

SÍNTESIS VERDE

La producción tradicional de nanopartículas utiliza materiales tóxicos que dañan al medio ambiente (Gómez Garzón, 2018) en cambio, los métodos biológicos para la síntesis de nanopartículas, también denominado “síntesis verde” ofrecen el equilibrio adecuado entre costo e impacto ambiental, representan una alternativa limpia, no tóxica y pueden llegar a sobrepasar las expectativas de las nanopartículas obtenidas por los métodos convencionales en cuestión de calidad (Hernández Díaz, 2013). Algunos de los métodos biobasados se describen en la figura 2.

La idea de la síntesis verde nació al observar como las plantas eran usadas para extraer metales de suelos contaminados, al acumularlos éstas los liberaban en forma de nanopartículas. Uno de los primeros reportes mediante esta metodología de síntesis fue para producir nanopartículas de plata empleando alfalfa tratadas con nitrato de plata como fuente de iones (Gómez Garzón, 2018).

La síntesis verde se basa en la reducción de sales metálicas mediante especies naturales con capacidad antioxidante, esta síntesis se lleva a cabo gracias al uso de enzimas microbianas y fitoquímicos, los cuales, debido a sus propiedades antioxidantes, son responsables de la reducción de los iones metálicos a nanopartículas (Morales Díaz. et al, 2016). El método biológico también se produce a partir de microorganismos vivos, el proceso de reducción de iones debido a enzimas, aminoácidos, polisacáridos y vitaminas no afectan al medio ambiente.

La síntesis biológica de nanopartículas se basa en utilizar biomasa extracelular e intracelular por lo tanto es importante conocer como actúa la biomasa en la obtención de las nanopartículas, en la tabla 3 (Durán, et al, 2011) se muestran los mecanismos de las diferentes fuentes naturales, donde se menciona que los grupos funcionales como carbonilos, aminas, amidas pertenecientes a terpenos, fenoles, flavonas, proteínas, pigmentos y alcaloides pueden funcionar como agentes reductores para la síntesis de las nanopartículas. (Boroumand, et al, 2015)

Figura 2. Clasificación de fuentes de síntesis verde en nanopartículas metálicas.

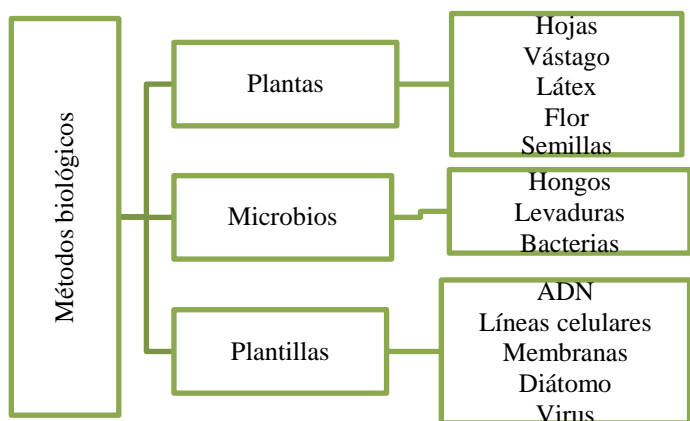


Tabla 3. Mecanismo de biosíntesis de nanopartículas mediante diversas fuentes.

Biomasa	Posible mecanismo de síntesis
Plantas	Los metabolitos secundarios actúan como agentes reductores y estabilizadores.
Algas	Los polisacáridos tienen grupos hidroxilo y otras funcionalidades que pueden jugar un papel importante tanto en la reducción como en la estabilización de nanopartículas.
Hongos	Reducir la enzima intracelular o extracelularmente y el procedimiento de mineralización biomimética.
Levadura	Las enzimas realizan la reducción de los sustratos mediante la reductasa de óxido que está unida a la membrana (así como las proteínas citosólicas).
Bacterias	La célula microbiana reduce los iones metálicos mediante el uso de enzimas reductoras específicas como la reductasa dependiente de NADH o la reductasa dependiente de nitrato.

SÍNTESIS DE NAOPARTÍCULAS METÁLICAS USANDO HONGOS

Los hongos son organismos eucariotas, existen alrededor de 1.5 millones de especies en la Tierra de los cuales solo se han reconocido alrededor de 70,000 especies. La exploración de los hongos dentro de la nanotecnología ha llamado la atención de los investigadores ya que los hongos filamentosos y las levaduras son microorganismos que actúan eficientemente en la secreción de enzimas que benefician al proceso de bioacumulación de iones metálicos, la unión de estas enzimas a los iones genera una reducción de estas enzimas generando la formación de nanoestructuras. (Boroumand Moghaddam. et al, 2015)

El estudio de especies de hongos es nuevo en la nanotecnología, una de las principales investigaciones es síntesis de nanopartículas de plata, se han registrado diversas especies para la biosíntesis de estas nanopartículas (Ahmad, et al, 2002), algunas de ellas se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Hongos utilizados para la biosíntesis de nanopartículas de plata (Maliszewska & Szewczyk, 2009).

Especies de hongos	Localización	Morfología	Aplicación
<i>Verticillum sp.</i>		Esférica	
<i>Fusarium oxysporum</i>		Esférica	Antifúngico
<i>Aspergillus niger</i>	Extracelular	Esférica	Actividad antibacteriana y antifúngica
<i>Aspergillus fumigatus</i>		Mayormente esférica	Antiviral contra el VIH-1
<i>Pleurotus sajor caju</i>	Extracelular	Intracelular	Actividad antibacteriana
<i>Trichoderma asperellum</i>		Extracelular	Agricultura
<i>Volvariella volvaceae</i>		Esférica	Aplicaciones médicas
<i>Penicillium fellutanum</i>	Extracelular	Mayormente esférica	
<i>Phoma glomerata</i>		Esférica	Antibiótico
<i>Trichoderma viride</i>	Extracelular	Esférica, como varilla	Efecto sinérgico con antibióticos

En la mayoría de los casos, se publica la síntesis de nanopartículas extracelular, aunque la biomasa suele estar expuesta a soluciones de iones metálicos (Ahmad, et al, 2002). El uso de hongos como agentes reductores en las nanopartículas metálicas no ha sido muy estudiado, sin embargo, las nanopartículas de oro obtenidas mediante esta tecnología empleando *R. oryzae* presentan una alta actividad antimicrobiana contra bacterias patógenas como *P. aeruginosa*, *E. coli*, *B. subtilis*, *S. aureus*, *Salmonella sp.*, y las levaduras *S. cerevisiae* y *C. albicans*. (Das, et al, 2009).

SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS

METÁLICAS MEDIANTE EL USO DE LA LEVADURA

En algunas investigaciones se ha demostrado el uso de nanopartículas metálicas obtenidas mediante el empleo de levaduras resultando muy interesante debido a la facilidad de producción en masa y al rápido crecimiento de las levaduras con el uso de nutrientes simples, demostrando ser más ventajosa esta metodología comparándola con el uso de las bacterias (Kumar, et al, 2011).

Tabla 5. Síntesis de nanopartículas por levadura. (Kowshik, et al, 2003)

Levadura	NPs	Localización	Morfología	Aplicación
<i>Candida glabrata</i>	Cd	Extra e intracelular	Hexámero	Fisiológica
Variedad de levadura MKY3	Ag	Extracelular	Multigánado, algunos hexagonales	
<i>Schizosaccharomyces pombe</i>	Cd	Extra e intracelular		
<i>Yarrowia lipolytica</i> NCIM3589	Au	Superficie celular		
<i>Pichia jadinii</i> (<i>Candida utilis</i>)	Au	Intracelular	Partículas y placas	

SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS

UTILIZANDO BACTERIAS

Ciertas bacterias como *Klebsiella pneumonia*, *Escherichia coli* y *Enterobacter cloacae* son capaces de proveer la síntesis de nanopartículas de plata, otras son capaces de reducir iones metálicos en solución o sintetizar nanopartículas metálicas tanto en el interior de la célula bacteriana o mediante la secreción de agentes reductores hacia el medio de cultivo. Las bacterias *Bacillus subtilis*, *Shewanella algae*, *Pseudomonas stutzeri*,

Thermomonospora sp., *Rhodococcus sp.*, *filamentous cyanobacteria*, *Acidithiobacillus thiooxidans* y *Rhodospseudomonas capsulata* se han utilizado para sintetizar nanopartículas de plata y oro (Hernández Díaz, 2013). En este sentido las bacterias se consideran biorreactores para la obtención de nanopartículas metálicas (Irvani, et al., 2014).

SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS

METÁLICAS UTILIZANDO EXTRACTO DE PLANTAS

La cualidad que presentan los extractos vegetales para reducir los iones metálicos se ha conocido desde tiempo atrás, sin embargo, los agentes reductores implicados no eran del todo conocidos, por lo que en los últimos años ha tomado gran importancia la investigación de estos.

Los extractos de plantas han sido ampliamente utilizados en la síntesis de nanopartículas al ser métodos simples, además de ser escalables y menos costosos en comparación con los otros métodos. Estos, además de actuar como agentes reductores para la obtención de nanopartículas, también actúan como estabilizadores de estas, y también influyen de manera importante en sus características, ya que cada tipo de extracto contiene diferentes compuestos, que hacen que el proceso de reducción de la sal metálica sea complejo (Mittal y col., 2013). Se han usado los extractos de diversas plantas para la obtención de nanopartículas, entre ellas se encuentran la grosella, el estramonio, el tamarindo, la zarzamora, entre otras.

La síntesis con extractos de plantas para la obtención de nanopartículas ha sido de gran importancia para la comunidad científica, por lo que recientes investigaciones la han reconocido como una alternativa para la obtención de nanopartículas, como fue el caso de Ankamwar y colaboradores en el año 2005, los cuales reportaron la síntesis extracelular de nanopartículas de oro y plata usando el extracto de la fruta *Emblica Officinalis* (grosella de la India) como agente reductor para sintetizar las nanopartículas de plata y oro. En este estudio, el análisis mediante microscopía electrónica de transmisión indicó una distribución de tamaño de partícula en un intervalo de 10-20 nm para las nanopartículas de oro, mientras que las nanopartículas de plata mostraron una distribución en el intervalo de 15 y 25 nm (Ankamwar y col., 2005).

La síntesis verde de nanomateriales utilizando materiales vegetales ha cobrado un gran interés, los estudios se centran en medios no tóxicos para la generación de nanopartículas, los reactivos químicos peligrosos se reemplazan por polifenoles, flavonoides, proteínas o saponinas como agentes reductores y agentes de protección; la zarzamora andina (*Rubus glaucus* Benth) se ha utilizado en la síntesis verde de nanopartículas de plata al contener flavonoides, taninos y antocianinas que han servido como bioreductor y estabilizador. Este estudio fue realizado por Brajersh Kumar y colaboradores en el año 2007 exponiendo en sus resultados un aumento en el diámetro de las nanopartículas de plata mostradas en el microscopio electrónico de transmisión con tamaños promedio de partícula de 12-50 nm,

observando de igual manera una estructura policristalina. En el espectro de absorción a 435 nm se encuentra el plasmón superficial de las nanopartículas además de tener resultados eficaces en pruebas antioxidantes lo que podría convertirlo en un candidato prometedor en aplicaciones biomédicas (Brajesh, Kumari, Cumbal, & Debut, 2007).

Las nanopartículas de metales como plata, oro, platino y paladio se utilizan en aplicaciones físicas, químicas y biológicas. El tamaño, la forma y la naturaleza del nanomaterial determinara las propiedades finales, por ejemplo, las nanopartículas de plata tienen una alta demanda debido a sus aplicaciones en el área médica y en el tratamiento de aguas. Dado que, para la generación de estas nanopartículas se requieren agentes tóxicos para el medio ambiente, el investigador Jayaprakash junto con su equipo, en el año 2017, en un interés por minimizar estas amenazas potenciales optaron por el uso del tamarindo para la generación de nanopartículas de plata, ya que este posee altos contenidos de ácido tartárico, azúcar y vitaminas que desempeñan un papel reductor dentro de la síntesis de nanopartículas de plata. Ellos obtuvieron morfologías esféricas analizadas mediante el microscopio electrónico de barrido y el microscopio electrónico de transmisión. En la espectroscopía de fotoluminiscencia, los picos excitados y de emisión se obtuvieron a 432 nm y 487 nm, respectivamente. El método mostró resultados reproducibles que no afectan al medio ambiente, además de mostrar su posible aplicación en áreas alimentarias y médicas (Jayaprakash, Vijaya, & Kaviyarasu, 2017).

Las nanopartículas de plata se han usado ampliamente en fotónica, microelectrónica, fotocatalisis y actividades antimicrobianas, por lo cual se han desarrollado diversos métodos para su síntesis, el proceso biológico es una alternativa para la disminución de agentes de alto costo y dañinos para el medio ambiente. Muthusamy Gomathu estudió en el año 2017 la capacidad antibacteriana contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* con el uso de nanopartículas de plata por el proceso de síntesis verde utilizando extractos de hoja de *Estramonio Datura* como agente reductor. En sus resultados se obtuvieron nanopartículas de plata con un tamaño de 15-20 nm de forma esférica y se mostró un impacto significativo contra las bacterias (Gomathi, Rajkumar, Prakasam, & Ravichandran, 2017).

CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS

La caracterización de nanopartículas se lleva a cabo mediante diversas técnicas de medición que se resumen en la figura 1 y se ilustran en la figura 2. Dentro del análisis de las nanopartículas se utilizan diferentes técnicas empleando instrumentación de alta resolución, como lo es la microscopía electrónica de barrido (SEM) o microscopía electrónica de transmisión (TEM) (Gómez Garzón, 2018).

Las características de las nanopartículas determinan su potencial aplicación, existen diversos métodos para su caracterización debido a que el tamaño es algo básico para la evaluación de las nanopartículas, es importante conocer el tamaño promedio de

las nanopartículas y su distribución. Otra de las características a tomar en cuenta es el área superficial ya que es importante para determinar las propiedades y aplicación de las mismas. Las nanopartículas presentan diversas morfologías siendo algo fundamental conocer durante su estudio, mientras que en la composición se determinará la pureza y los elementos no deseados que se encuentran en el material.

En la tabla 6 se muestran las diversas características con diversas fases de las nanopartículas, así como la instrumentación requerida para su análisis.

Tabla 6. Métodos de caracterización de las nanopartículas (Ealias & Saravanakumar, 2017).

Características	Fase Gaseosa	Fase sólida	Fase Líquida
Tamaño	Medidor de partículas de movilidad de escaneo (SMPS) y contador óptico de partículas	Microscopio electrónico de barrido y difracción laser	Centrifugación y espectroscopía de correlación de fotones
Área superficial	SMPS y Analizador de Movilidad Diferencial (DMA)	Isoterma BET	Titulación simple y espectroscopia de resonancia magnética nuclear
Composición	Se recogen las partículas para su análisis mediante técnicas espectrométricas o químicas húmedas.	Espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS) y digestión química seguida de análisis químico húmedo	Digestión química por espectrometría de masas, espectroscopia de emisión atómica y cromatografía de iones
Morfología Superficial	Captura de partículas electrostáticamente o por or por filtración para obtener imágenes mediante microscopía electrónica.	Análisis de micrografías electrónicas	Microscopía electrónica de barrido
Carga superficial	DMA	Potencial zeta	Potencial zeta
Cristalografía	-	Difracción de rayos X o difracción de neutrones.	-
Concentración	Contador de partículas de condensación	-	-

BET= modelo de Brunauer-Emmett-Teller

CONCLUSIONES

La nanotecnología se ha establecido como un campo de la ciencia avanzado por sus múltiples aplicaciones en otras ramas y tecnologías, que además se ve favorecida por los enfoques interdisciplinarios que reúne.

Las metodologías verdes serán capaces de reemplazar los métodos tradicionales, debido a la viabilidad económica, el bajo impacto ambiental y la amplia gama de aplicaciones que abren las puertas para realizar investigaciones más detalladas acerca del uso de especies biológicamente activas. En este sentido, varias de las fuentes biológicas desempeñan un doble papel como agentes reductores y estabilizadores en la síntesis de nanopartículas, debido a esto los extractos de plantas, los hongos y las levaduras presentan una excelente oportunidad para este propósito.

REFERENCIAS

- Ahmad A., Mukherjee P., Mandal D., Senapati S., Khan M.I., Kumar R., Sastry M. Enzyme mediated extracellular synthesis of CdS nanoparticles by the fungus, *Fusarium oxysporum*. *J. Am. Chem. Soc.* 2002. 2108–12109.
- Arenas, D. 2018. Síntesis de nanopartículas y su aplicación en la nutrición animal. *Índice de revistas mexicanas de divulgación científica y tecnológica.* **11**:6,85-90.
- Bolanle A. y Winston S.2008. For the Surgeon: An Introduction to Nanotechnology. *Journal of Surgical Education*, 55-61.
- Boroumand Moghaddam, A., Namvar, F., Moniri, M., & Colaboradores, Y. s. (2015). Nanoparticles Biosynthesized by Fungi and Yeast: A Review of Their Preparation, Properties, and Medical Applications. *Molecules*, 16540-16565.
- Brajesh, K. Kumari, S. Cumbal, L. y Debut, A. 2007. Green synthesis of silver nanoparticles using Andean blackberry fruit extract. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 45-50.
- Das S.K., Das A.R., Guha A.K. Gold Nanoparticles: Microbial Synthesis and Application in Water Hygiene Management. *Langmuir*. 2009. 8192–8199.
- Durán N., Marcato P.D., Durán M., Yadav A., Gade A., Rai M. Mechanistic aspects in the biogenic synthesis of extracellular metal nanoparticles by peptides, bacteria, fungi, and plants. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2011. 1609–1624.
- Ealias, A. M. y Saravanakumar, M. P. 2017. A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1-12.
- Garduño Zavala, M. 2011. Fabricación de nanopartículas metálicas para aplicaciones fotovoltaicas. Instituto

- Politecnico Nacional, Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México, 26 p.
- Gomathi, M. Rajkumar, P. Prakasam, A. y Ravichandran, K. 2017. Green synthesis of silver nanoparticles using *Datura stramonium* leaf extract and assessment of their antibacterial activity. *Resource-Efficient Technologies*, 280-284.
- Gómez Garzón, M. 2018. Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. *Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud*, 75-80.
- Hernández Díaz, M. P. 2013. Síntesis de nanopartículas de plata biológicamente asistida con *opuntia* sp. y su incorporación en membranas poliméricas nanofibras. *Centro de investigación en química aplicada, Saltillo*. 32 p.
- Iravani, S.; Korbekandi, H.; Mirmohammadi, S. V. & Zolfaghari, B. 2014. Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods. *Res. Pharm. Sci.* 385-406.
- Jayaprakash, N. Vijaya, J. y Kaviyarasu, K. 2017. Green synthesis of Ag nanoparticles using Tamarind fruit extract for the antibacterial studies. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 178-185.
- Jeevanandam, J. Barhoum, A. Chan Y. S. Dufresne, A. y Danquah, M. K. 2018. Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 1050-1074.
- Kowshik M., Ashtaputre S., Kulkani S.K., Parknikar K.M.M. Extracellular synthesis of silver nanoparticles by a silver-tolerant yeast strain MKY3. *Nanotechnology*. 2003. 95-100.
- Kumar D., Karthik L., Kumar G., Roa K.B. Biosynthesis of Silver nanoparticles from Marine Yeast and Their Antimicrobial Activity Against Multidrug Resistant Pathogens. *Pharmacologyonline*. 2011. 1100-1111.
- Ledezma, A. 2014. Síntesis biomimética de nanopartículas de plata utilizando extracto acuoso de nopal. *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales*, 133-140.
- Maliszewska I., Szewczyk K., Waszak K. Biological synthesis of silver nanoparticles. *J. Phys. Conf. Ser.* 2009.
- Montoya Carvajal, J. F. 2010. Producción y caracterización de las películas delgadas de $\text{YBaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ por medio de pulverización catódica (Sputtering) a presiones altas de oxígeno. *Universidad Nacional de Colombia, Materiales y procesos, Medellín*. 7 p.
- Morales Díaz, A. B. Juárez Maldonado, A. Morelos, M. Á. Gonzáles, M. S. y Benavides, M. A. 2016. Biofabricación de nanopartículas de metales usando células vegetales o extractos de plantas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, VII.
- Mozafari, M. R. 2007. *Nanomaterials and nanosystems for biomedical applications*. Springer, 22: 1-26.
- Nazario, M. 2011. Sobre fullerenos, nanotubos de carbono y grafenos. *Arbor ciencia, pensamiento y cultura*, 15-31.
- Pokropivny V. V. y Skorokhod V. V. 2007. Classification of nanostructures by dimensionality and concept of surface forms engineering in nanomaterial science. *Materials Science and Engineering*, 27: 990-993.
- Ramos C. A. 2017. Síntesis de nanopartículas metálicas a partir de extractos de raspo de uva. *Trabajo de fin de grado. Catalunya, Barcelona, España*. 12 p.
- Vera, G. P. Farías, C. L. y Castañeda F. A. 2017. Síntesis de Nanopartículas Metálicas por Rutas Verdes. (R. C. Coahuila, Ed.) *Journal of BioProcess and Chemical Technology*, 9.
- Wagner, S. Gondikas, A. Neubauer, E. Hofmann, T. y Von Der Kamer, F. 2014. Spot the difference: engineered and natural nanoparticles in the environment--release, behavior, and fate. *Angew Chem Int Ed Engl*.
- Webster, T. y Seil, J. 2012. Antimicrobial applications of nanotechnology: methods and literature. *International Journal of nanomedicine*, 2797-2781.
- Yusuf, C. Amit Kumar, M. y Uttam Chand, B. 2013. Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology Advances*, 31: 346-356.

Efecto de las variables del proceso de anodizado con y sin inyección de aire de aluminio comercial

Effect of the variables of the anodizing process without air injection of commercial aluminium

Baltierra-Costeira, G^{1*}; García-Lara, A.M²; Castruita-Ávila, L.G.²; Camporredondo-Saucedo, J.E², Equihua-Guillén, F.²

¹Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. V. Carranza y José Cárdenas Valdés, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México.

²Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Coahuila, Barranquilla S/N, C.P. 25750, Monclova, Coahuila, México.

*E-mail: gabriela.bc@live.com.mx

Recibido: 23 de enero 2020

Aceptado: 02 de octubre 2020

Resumen

El aluminio (Al), es el metal más importante de los metales no ferrosos, posee poca resistencia mecánica y es ligero. Debido al valor de potencial de reducción que presenta (-1.66 V), al entrar el (Al) en contacto con el oxígeno del aire, espontáneamente forma una capa pasivante de óxido de aluminio (Al₂O₃), cuyo espesor varía entre 30 y 100 Å, por esta razón es un metal con alta resistencia a la corrosión. En el presente trabajo, se realizaron pruebas en el proceso de anodización para mejorar las propiedades superficiales del aluminio comercial en primera etapa, variando sistemáticamente variables fijas y manipulables mediante la fabricación de una capa de óxido duro que tiene alta resistencia al desgaste por medio de una celda electroquímica, con y sin inyección de aire, la cual en ninguna investigación realizada hasta el momento se ha evaluado la fabricación de películas anódicas con inyección de aire, por lo cual, el estudiar este parámetro de operación resulta interesante e innovador, ya que el principio básico del anodizado es la oxidación. Posteriormente, obtuvimos micrografías mediante (MEB) y análisis químico de las muestras por (OES), donde se observaron resultados iniciales benéficos y otros para modificación de variables del proceso.

Palabras clave: aluminio, anodizado, capa anódica, celda electroquímica, electrolito

Abstract

Aluminum (Al), is the most important metal of non-ferrous metals, has little mechanical resistance and is light. Due to the reduction potential value it presents (-1.66 V), when (Al) comes into contact with oxygen in the air, it spontaneously forms a passivating layer of aluminum oxide (Al₂O₃), whose thickness varies between 30 and 100 Å. For this reason it is a metal with high resistance to corrosion. In present work, tests were carried out in the anodizing process to improve the surface properties of commercial aluminum in the first stage, systematically varying fixed and manipulable variables by manufacturing a hard oxide layer that has high resistance to wear by means of an electrochemical cell, with and without air injection, which in no research carried out so far has evaluated the manufacture of anodic films with air injection, therefore, studying this parameter of operation is interesting and innovative, since the basic principle of anodizing is oxidation.

Subsequently, we obtained micrographs by SEM and chemical analysis of the samples by OES, where initial beneficial results and others for modification of variables were observed.

Keywords: aluminum, anodized, anodic coating, electrochemical cell, electrolyte.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los materiales metálicos suelen presentar en su superficie cambios al exponerse al medio ambiente, los cambios más comunes son: el color, la textura, el espesor, composición química y las propiedades físicas. Debido a esto, se ha tratado de contrarrestar el fenómeno de la corrosión, utilizando pinturas o algunos métodos electroquímicos que pueden retrasar o impedir la aparición de dicho fenómeno.

El empleo de métodos familiares que promueven la protección del material ante la corrosión son: la electro-depositación y las pinturas o barnices; pero estos procesos son más aplicables a otros metales como el acero, ya que en el aluminio y sus aleaciones resulta complejo la realización de estos procesos, ya que para recubrir el aluminio con cromo, níquel o cobre es necesario eliminar primero la capa de óxido, lo que complica el tratamiento y aumenta el costo, mientras las pinturas y barnices no se adhieren bien, inicialmente, sobre la superficie (Wernick, Pinner, & Sheasby, 1996). La técnica de anodizado de aluminio consiste en un proceso electroquímico para hacer crecer controladamente una película de óxido de aluminio, Al_2O_3 , sobre el sustrato de Al, alcanzando espesores de hasta 0.8 mm y sirviendo éste como ánodo en una celda electrolítica. La película de Al_2O_3 que se deposita en la superficie del sustrato de Al, puede ser de dos tipos: tipo barrera y tipo porosa (Henley, 2012). La capa de óxido formada durante la anodización es proporcional a los diferentes factores, como lo sería la densidad de corriente, tiempo y temperatura.

El aluminio se encuentra en el tercer lugar como elemento más abundante en el planeta, es utilizado en diferentes áreas industriales, esto se debe a sus propiedades mecánicas y físicas. El aluminio presenta una propiedad en particular, se protege a sí mismo de ambientes corrosivos, esto sucede por la naturaleza misma de oxidarse al contacto con el medio ambiente. En general estipulamos que es resistente en ambientes normales de operación, pero no presenta la misma defensa en ambientes agresivos, por lo cual buscamos una solución alterna, tal como el proceso de anodizado y sellado del material (Zhou, 2002). La capa de Al_2O_3 formada espontáneamente sobre la muestra de Aluminio tiene un espesor de unas pocas decenas de nanómetros, lo cual depende del grado de la aleación, el medio ambiente y el tiempo de exposición. Con una técnica de anodización apropiada, el espesor de la capa puede aumentarse incluso a un valor de algunos micrómetros. Usando este método la superficie es más resistente contra factores ambientales como el agua salada, soluciones ácidas o influencia mecánica externa. La

anodización se utiliza comúnmente para la protección contra la corrosión de las partes de aleación de aluminio y por lo tanto existen normas internacionales como ISO 7599 y DIN 17611 para determinar las propiedades y la calidad de las capas de superficies anódicas (Masuda, y otros, 2003).

En la industria se obtienen capas de diferentes espesores dependiendo de la aplicación final del producto. Se utilizan diferentes electrolitos para producir la oxidación del metal, entre los más comunes se encuentra el ácido sulfúrico (H_2SO_4), que, en términos generales, es el más empleado en la industria (O'Sullivan & Wood, 1970). El objetivo del presente trabajo es la formación de la capa anódica sobre el Aluminio, que permita mejorar las propiedades microestructurales como la microdureza, crecimiento de la capa, porosidad, que afectan directamente la formación de las partículas anódicas, implementado con inyección y sin inyección de aire.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales. Aluminio (Al), acero inoxidable (AISI 304), hidróxido de sodio (NaOH), acetona ($CH_3(CO)CH_3$), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3), agua destilada (H_2O) y papel de carburo de silicio (Si_2O)

Revisión bibliográfica. La recopilación de información se hizo durante todo el tiempo en que se realizó el trabajo de investigación y las fuentes principales fueron artículos de revistas indizadas, tesis y libros impresos y digitales.

Tratamiento de los electrodos de trabajo. Se utilizaron electrodos de trabajo con una geometría cuadrada de 2 cm por lado, el cátodo de acero inoxidable AISI 304 y el ánodo aluminio comercial (98.6% Al), el espesor de los electrodos fue de 3 mm. Los electrodos se limpiaron con acetona para la eliminación de aceite y polvo residual, posteriormente se enjuagaron con agua destilada. Una vez limpios, se desbastaron con papel de carburo de silicio de granulometría 320, 500, 800, 1200, 1500, 2200 y 4000, esto con el fin último de obtener un pulido casi espejo (Norma ASTM E3 – 95). Para eliminar las impurezas adheridas a los electrodos durante la etapa del desbaste se sumergieron cada uno de ellos en solución de NaOH al 10% v/v durante un minuto. La solución se calentó a una temperatura de 60 °C. Se empleó HNO_3 para neutralizar el efecto de la sosa cáustica y después de la neutralización se lavó con agua destilada y por último el secado de los electrodos se hizo con aire fresco. Con el fin de

mantener lo mejor posible cada uno de los electrodos se guardaron en un lugar hermético, libre de humedad y polvo.

Naturaleza del electrolito. De acuerdo a los autores K. P. Han y J. L. Fang, se seleccionó como electrolito el ácido sulfúrico (H_2SO_4) debido a los buenos espesores de anodizado alcanzados en estudios anteriores en aleaciones de aluminio de la serie 6XXX, además que se considera menos agresivo que el HNO_3 , viable económicamente, obtención de resultados satisfactorios y a los medios a utilizar para obtenerlos. También se obtienen recubrimientos duros, incoloros y transparentes y son fácilmente colorables (Han & Fang, 1996).

Diseño experimental y análisis estadístico. La selección de variables de operación durante el proceso de anodizado se muestran en la Tabla 1 y se especifican como fijas o manipulables de acuerdo al diseño factorial seleccionado 2^k (dos factores, tres niveles), y posteriormente en la en la Tabla 2 se muestran los niveles de valores de las variables de operación.

Tabla 1. Clasificación de las variables de operación

<i>Variables de operación</i>	<i>Fijas</i>	<i>Manipulables</i>
Voltaje	✓	
Densidad de corriente		✓
Tipo de celda	✓	
pH	✓	
Distancia interelectrodo	✓	
Electrolito	✓	
Concentración del electrolito	✓	
Tiempo de tratamiento		✓
Temperatura del electrolito		✓
Velocidad de agitación	✓	

Tabla 2. Valores de las variables manipuladas durante el proceso de anodizado

<i>Variable</i>	<i>Menor (-1)</i>	<i>Mayor (+1)</i>
Densidad de corriente	4 A dm^{-2}	6 A dm^{-2}
Temperatura	30 °C	60 °C
Distancia interelectrodo	3 mm	6 mm

El análisis de composición de los electrodos la realizamos empleando la técnica espectrometría de emisión óptica mediante excitación por arco/chispa (OES Spectro modelo M11).

Empleamos como ánodo una placa de aluminio comercial 99.999% de pureza que previamente fue mecanizada y un acero inoxidable AISI 304 como cátodo, los cuales fueron utilizados como electrodos para la anodización, posteriormente se realizaron la preparaciones metalográficas, el ánodo al ser un acero AISI 304 se empezó desde la lija más

gruesa (lija del número 120) hasta terminar con una totalmente fina (lija del número 600), esto le proporciona un acabado tipo espejo, posteriormente se realiza la anodización durante un periodo corto de tiempo de 30 min en una solución de ácido sulfúrico al 5% vol aplicando un voltaje de a 3.48 V, con esto se forma una superficie ondulada y libre de esfuerzos e impurezas por lo que se puede asegurar el crecimiento de la película de óxido sobre el metal precursor; para el periodo de tiempo de 60 min a las mismas condiciones se aplicó un voltaje de 10.3 V sin inyección de aire.

Posteriormente, realizamos la anodización con inyección de aire con un periodo de tiempo de 30 min en una solución de ácido sulfúrico al 5% vol aplicando un voltaje de 13.5 V, con esto forma una superficie homogénea libre de impurezas y así mismo para el periodo de tiempo de 60 min a las mismas condiciones con un voltaje de 13.5 V en el cual se forma una capa creciente homogénea.

Finalmente aplicamos un corte transversal, pulido y montaje en resina para ser observadas por el microscopio electrónico de barrido (MEB-JEOL JSM 6400).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A título de ejemplo, en la Figura 1 se muestra el análisis representativo de las capas anódicas obtenidas en cada una de las experiencias realizadas, con y sin inyección de aire y variando la temperatura de la solución electrolítica. A partir de la Fig. 1 podemos observar que la capa consistió solamente de óxido de aluminio.

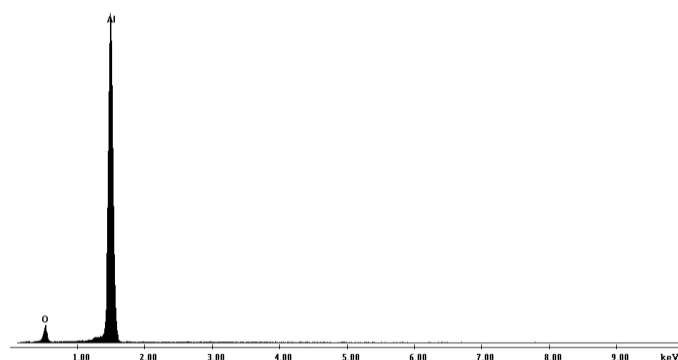


Fig. 1. Análisis elemental mediante MEB-EDX de la capa anódica fabricada a 30 min, una temperatura de 40 °C y densidad de corriente aplicada de 4 A dm^{-2} .

Al comparar las imágenes mostradas de la Figura 2(a) y 2(b), las cuales corresponden a las experiencias realizadas bajo condiciones de 40 °C de la solución electrolítica, con y sin inyección de aire, respectivamente, se puede observar que al inyectar aire la formación de la capa anódica es tan densa como el no inyectar aire, con la ventaja de la formación de

estructuras porosas de mayor tamaño, lo cual favorece a las propiedades mecánicas finales del material.

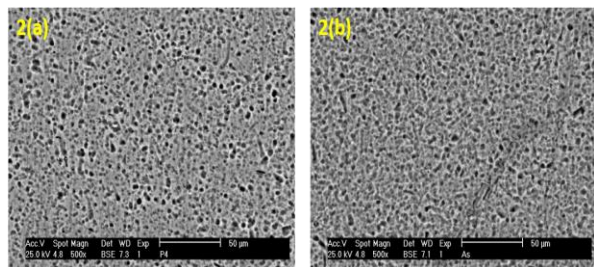


Fig. 2. Metalografía de la capa anódica mediante MEB a 40 °C en solución electrolítica, 2(a) con inyección de aire, 2(b) sin inyección de aire, respectivamente.

En la Figura 3 se presentan resultados de los tratamientos realizadas mediante MEB a 60 °C, con y sin inyección de aire con un tiempo de 1hr, en las cuales la capa anódica de ambas figuras se encuentran fragmentadas y cristalizadas, dicho comportamiento se atribuye al exceso de temperatura de trabajo, lo cual favorece la presencia de esfuerzos residuales en la capa anódica formada.

Para soportar esta explicación, en un futuro se hará un análisis de difracción de rayos X (DRX) al electrodo tratado; para reforzar la confirmación del hecho anterior. En el difractograma obtenido se debe presentar un desplazamiento de los picos de difracción, si el corrimiento de los picos es a la izquierda será por esfuerzos de compresión y si es a la derecha, se atribuye a esfuerzos de tensión. Aunado a lo anterior, como consecuencia de las altas temperaturas manejadas al momento de realizar el anodizado. De lo antes expuesto, podemos mencionar que no es conveniente trabajar a temperaturas tan altas como 60 °C.

En la Tabla 3 se muestra el análisis químico del aluminio y acero inoxidable AISI 304, en la cual afirma el 98.4% pureza del Aluminio comercial y para el acero con un 0.033% bajo contenido en carbono el cual otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas, así como su contenido de 18% Cr y 8.28% Ni casificandolo como inoxidable.

A título de ejemplo, en la Figura 3 a) y la figura 3 b) se observaron las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido (MEB-EDX) de las capas anódicas fabricadas a 30 min y 60 min, una temperatura de 30 °C y densidad de corriente aplicada de 4 A dm⁻², las cuales fueron obtenidas por electrones retrodispersados.

Tabla 3. Análisis químico del ánodo (Al) y cátodo (acero inoxidable AISI 304) durante el proceso de anodizado.

	Aluminio (%)		Acero (%)
Si	0,420	C	0,033
Fe	0,275	Si	0,217
Cu	0,033	Mn	1,640
Mn	0.018	P	0,036
Mg	0,493	S	0,003
Cr	0,013	Cr	18,00
Ni	0,007	Mo	0,394
Zn	0,027	Ni	8,28
Ti	0,018	Al	0,008
Co	0,005	Cu	0,429
Sr	0,001	Nb	0,007

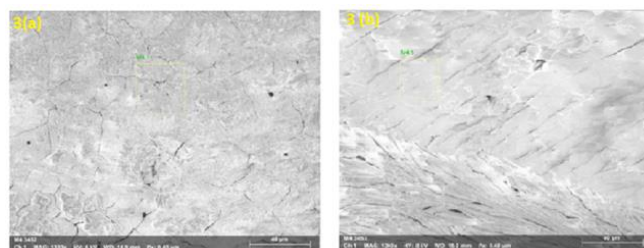


Fig. 3. Análisis de la capa anódica en microscopía electrónica de barrido (MEB) a 60 °C de la solución electrolítica, 4 A dm⁻², con y sin inyección de aire, 3(a) y Fig. 3(b) respectivamente.

En la Figura 4 a) se observa el crecimiento de una capa de óxido de aluminio con espesores que oscilan en un promedio de las 1.9 µ, el cual está implícito en la micrografía obtenida en MEB y se puede diferenciar perfectamente del sustrato base y la resina en la que se encuentra encapsulada la muestra.

El crecimiento de la capa es la parte gris que se encuentra señalada con amarillo en la Figura 4 a), en la Figura 4 b) no hay formación de la capa anódica.

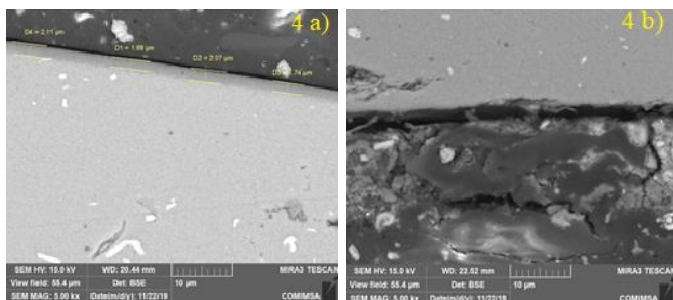


Fig. 4. Análisis de la capa anódica en microscopía electrónica de barrido (MEB) en un tiempo de 30 min de la solución electrolítica, con y sin inyección de aire, Fig. 4(a) y Fig. 4(b) respectivamente, electrones retrodispersados, BSE, 5000X.

Se observa que con la implementación de inyección de aire la capa de óxido se formó de manera homogénea y se obtuvo un espesor relativamente aceptable, ya que no existe bibliografía acerca de esta implementación. El tiempo de la reacción es dependiente de la concentración del electrolito, el cual nos genera una lectura del tamaño de la capa del óxido de aluminio.

En la Figura 4 b) se muestra la micrografía de la muestra tratada sin inyección de aire y se puede observar que no hay formación de capa de óxido de aluminio, en la cual se esperaba que se obtuvieran resultados favorables ya que en la literatura nos indica que cuando la temperatura del electrolito es menor y la densidad de corriente es mayor, la velocidad de crecimiento es más rápida y el tiempo de oxidación para la obtención del espesor deseado de película será más corto; obteniendo un crecimiento entre las 3µ. En la etapa inicial, el desarrollo del espesor de la película de oxidación es casi lineal con el tiempo de oxidación, sin embargo, conforme transcurrió el tiempo de 30 y 60 min, la velocidad de crecimiento de la capa se redujo gradualmente, y finalmente, se detuvo.

En la Figura 5 a) y la figura 5 b) se pueden observar las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido (MEB-EDX) de las capas anódicas fabricadas a 30 min y 60 min, una temperatura de 30 °C y densidad de corriente aplicada de 4 A dm⁻², las cuales fueron obtenidas por electrones retrodispersados.

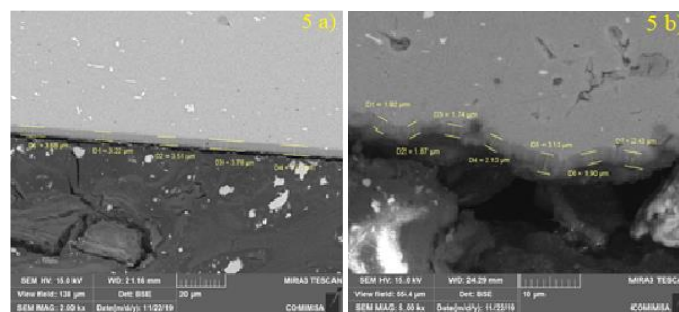


Fig. 5. Análisis de la capa anódica a condiciones en microscopía electrónica de barrido (MEB) bajo condiciones de un tiempo de 60 min de la solución electrolítica, con y sin inyección de aire, Fig. 5(a) y Fig. 5(b) respectivamente, electrones retrodispersados, BSE, 2000X.

En la Figura 5 a) presenta características de un material con una morfología homogénea y una superficie lisa, se observa el crecimiento de una capa de óxido de aluminio con espesores que oscilan en un promedio de las 3.58 µ, presentando un resultado positivo al crecimiento de la capa anódica con inyección de aire, debido a que se le está implementando más oxígeno y acelera la formación de la capa anódica.

En la Figura 5 b) se puede observar en la micrografía una formación no homogénea ni lisa, pero al mismo tiempo se genera el crecimiento de la capa anódica de un promedio de 2.16 µ, la cual se obtuvo de la micrografía realizada por MEB, donde está implícita la medición de la capa formada.

CONCLUSIÓN

Es importante conocer los mecanismos y parámetros que afectan el anodizado, y sus efectos para conseguir las características deseadas. Se recomienda emplear modelos matemáticos y técnicas específicas de caracterización para obtener resultados más precisos con el menor número de experimentos. La temperatura es un factor crítico para obtener una buena adherencia y estabilidad de la capa de alumina formada durante el anodizado.

Agradecimientos

Externamos un agradecimiento especial al M.C Rogelio de Aquino Lara por su colaboración en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

REFERENCIAS

- Han, K. P., & Fang, J. L. (1996). "Decorative-protective coatings on aluminium". *Surface and Coatings Technology*, 178-182.
- Henley, V. (2012). Anodic oxidation of Aluminium and its Alloys. *International Journal of Materials Engineering*, 38-42. doi:10.5923/j.ijme.20120204.02
- Masuda, H., Abe, A., Nakao, M., Yokoo, A., Tamamura, T., & Nishio, K. (2003). Observación detallada de la unión celular en la alúmina anódica porosa con células cuadradas. *Adv. Materials*, 161.
- O'Sullivan, J., & Wood, G. (1970). *The morphology and mechanism of formation of porous anodic films on aluminium* (Vol. 317).
- Schneider, M., Liebmann, T., Langklotz, U., & Michaelis, A. (2017). Microelectrochemical investigation of anodic oxide formation on the aluminum alloy AA2024. *Elsevier B.V.*, 25-38.
- Vargas Hernandez, C., Nelly Jimenez, F., & Londoño Calderon, C. (2007). Crecimiento de películas de óxido de aluminio por métodos electroquímicos. *Scientia et Technica*, 1(34), 1-12.
- Wang, S., Peng, H., Shao, Z., & Zhao, Q. (2015). Sealing of anodized aluminum with phytic acid solution. *National Defense Key Discipline Laboratory of Light Alloy Processing Science and Technology*, 100-120.
- Wernick, S., Pinner, R., & Sheasby, P. (1996). "The Surface Treatment and Finish of Aluminium and Alloys" . *Surface & Coatings Technology*, 112-140.
- Xhu, X., Lin, G., & Chen, Z. (2005). The study on the factors that affect the aluminum anodizing film quality. *Plating Finishing*, 24(2): 7- 10.
- Zhou, M. (2002). Aluminum room temperature hard anodizing technology. Mechanism of organic additives and bath liquid maintenance. *Plating Environ Protect*, 22(3): 28-30.

La Resistencia Bacteriana a Antibióticos: Un Problema Ambiental y Multisectorial

Microbial Antimicrobial Resistance: An Environmental and Multidisciplinary Problem

Blanca Estela Rivera-Chavira*, Oskar Alejandro Palacios, Jaime Raúl Adame-Gallegos, Guadalupe Virginia

Nevárez-Moorillón*

*Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. 31125. Chihuahua, Chih. México. *E mail:*

bchavira@uach.mx; vnevare@uach.mx Teléfono: +52 614 236 6000

Recibido: 07 de abril 2020

Aceptado: 14 de octubre 2020

Resumen

El uso de antibióticos ha sido de gran utilidad a la humanidad en el tratamiento de enfermedades infecciosas, pero por el abuso en su utilización en la terapéutica y en la industria de producción de alimentos, se ha convertido también en un problema de salud pública. La acumulación de residuos de antibióticos en el ambiente, así como la presencia de bacterias resistentes o genes de resistencia a estos compuestos, puede ser una fuente potencial para la aparición de nuevas bacterias resistentes o multiresistentes a antibióticos. Los ecosistemas pueden tener diferentes respuestas a la presencia de antibióticos o bacterias resistentes a estos compuestos, derivados de actividades antropogénicas; uno de estos ecosistemas son los manglares, que pueden considerarse humedales naturales en donde los antibióticos pueden eliminarse. No obstante, el problema es multifactorial, y para su solución, deben involucrarse muy diversos actores gubernamentales y agencias internacionales, pero también es fundamental, la educación y participación ciudadana, en el uso cuidadoso de los antibióticos.

Palabras clave: Residuos antibióticos, Genes de Resistencia, Ambientes impactados, Manglares

Abstract

The use of antimicrobial compounds has been particularly useful for the human society in the treatment of infectious diseases; however, its clinical abuse, as well as the excessive use in food production chain, is a huge public health problem. Accumulation of antibiotic residues in the environment, as well as the presence of drug-resistant bacteria or antibiotic resistance genes, can lead to the appearance of new multidrug-resistant bacteria. Different ecosystems can have diverse responses to the presence of these contaminants derived from human activities; one of those ecosystems is mangroves, which can be considered natural wetlands in where the antibiotic residues can be eliminated. The microbial antimicrobial resistance problem is related to many different sectors; therefore, several actors need to get involved to solve it, including international agencies and governments; nevertheless, community education is also essential, as well as citizen participation on the careful use of antibiotics.

Keywords: Antibiotic residues, Antibiotic resistance genes, Contaminated environments, Mangroves.

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes avances en la medicina fue el uso de la penicilina contra enfermedades infecciosas, tal como lo propuso Alexander Fleming en 1928 (Tan y Tatsumura, 2015); este descubrimiento marca el inicio de la era de los antibióticos. A partir de ese momento, se incrementó la búsqueda de antibióticos de origen natural producidos por bacterias, hongos y plantas; sin embargo, aunque estos agentes químicos matan o inhiben el crecimiento de las bacterias, en un tiempo relativamente corto, los microorganismos desarrollaron mecanismos de acción para contrarrestar su efecto. Con la finalidad de incrementar la actividad y estabilidad de los antibióticos obtenidos de fuentes naturales, se modificaron (antibióticos semi-sintéticos) o sintetizaron químicamente (antibióticos sintéticos), aumentando así las opciones terapéuticas disponibles. Desgraciadamente, la resistencia también se presentó para estos compuestos y actualmente se sabe que una vez que sale un nuevo antibiótico al mercado, en menos de dos años las bacterias desarrollan resistencia, generando que existan bacterias resistentes a uno o más antibióticos en todo el mundo (O'Brien y Wright, 2011; Berglud, 2015). El objetivo de la presente revisión es plantear el problema global de la distribución de microorganismos multirresistentes a antibióticos, haciendo énfasis en su distribución ambiental, en especial con un ecosistema poco caracterizado, como son los manglares.

Emergencia epidemiológica

La resistencia a los antimicrobianos (RAM) es un grave problema de salud pública, ya que en los últimos años han aumentado los patógenos con resistencia a la mayoría de los antimicrobianos disponibles. Al año mueren a nivel mundial 700,000 personas debido a infecciones por microorganismos resistentes para las que no existe un tratamiento eficaz. Se ha estimado que de no establecerse medidas de prevención y control adecuadas, para el 2050 pueden presentarse hasta 10 millones de muertes al año, por lo que podría ser la primera causa de muerte alrededor del mundo (O'Neill, 2016).

La situación de emergencia epidemiológica existente es el resultado de prácticas humanas muy comunes, como son: el uso indiscriminado de antibióticos para el tratamiento de pacientes y animales, además en veterinaria su aplicación como promotores de crecimiento animal. El uso indiscriminado de antibióticos para la salud humana es principalmente por esquemas de tratamiento inadecuado, el mal seguimiento del tratamiento por parte de los pacientes, y la automedicación. La resistencia puede presentarse a uno o más antibióticos: cuando hay resistencia al menos a 3 o más grupos de antibióticos se denomina multirresistencia (MDR), la resistencia a todos los antimicrobianos menos a 2 grupos se conoce como extremadamente resistente (XDR) y la panresistencia (PDR) es la resistencia a todos los antibióticos

disponibles (Garza-Ramos, 2009; WHO, 2018; Patini y col., 2020).

Existen evidencias científicas de presencia de RAM o de genes relacionados con resistencia a antimicrobianos, en ambientes o tiempos previos al uso terapéutico de los antibióticos. Esto no es difícil de entender si se considera que hay diferentes comunidades de microorganismos en un ambiente en particular, y algunos de estos microorganismos producen antimicrobianos que matan a sus competidores. También, los organismos superiores como plantas y animales, producen compuestos a los que los microorganismos se adaptan para sobrevivir. Sin embargo, han sido las actividades humanas las que han provocado un incremento acelerado de la RAM (Bhullar y col., 2012; Perron y col., 2015).

Mecanismos de resistencia a antibióticos

Considerando que las bacterias desarrollan resistencia cuando se encuentran en ambientes donde hay o se utilizan constantemente los antibióticos, el ámbito hospitalario es el espacio ideal para que se seleccionen bacterias resistentes a estos compuestos. No es de extrañar que los antibióticos más utilizados en la práctica clínica sean a los que se presenta mayor resistencia, pues su presencia ejerce una presión selectiva; los microorganismos que se adaptan o resisten tienen ventajas sobre aquellos sensibles. Para sobrevivir a la presencia de antibióticos, las bacterias han desarrollado cuatro mecanismos: 1) el antibiótico entra a la célula bacteriana pero ésta lo expulsa antes de que ejerza algún efecto; b) el antibiótico entra pero la bacteria lo modifica o lo destruye con sus enzimas; c) la bacteria modifica el sitio de unión del antibiótico, por lo que no puede actuar y d) se presenta una modificación en la permeabilidad de la membrana bacteriana (Garza-Ramos y col., 2009; Wright, 2011).

La resistencia de las bacterias a los antibióticos puede ser de dos tipos: intrínseca, que se presenta de manera natural o constitutiva “de nacimiento”, y la adquirida, que se produce por mutaciones del material genético, o por transferencia de genes de resistencia, por lo que “se pasó de bacteria a bacteria”. Las bacterias heredan los genes de resistencia a su descendencia de manera vertical, es decir, conforme se reproducen por “herencia”. Si se considera que una bacteria como *Escherichia coli*, el patógeno principal de las infecciones de vías urinarias y cuadros diarreicos, se duplica cada 20 minutos y de manera exponencial, el desarrollo de un proceso infeccioso sintomático es sólo cuestión de horas. Por otro lado, la transferencia de genes de resistencia puede ser entre organismos no relacionados, de forma horizontal, “no como herencia”. Este tipo de transmisión implica que una bacteria pasa la información genética a otra del mismo o de diferente género, lo que epidemiológicamente es muy importante pues es la forma en que se disemina la resistencia

tanto en el medio hospitalario como en la comunidad (Garza-Ramos y col., 2009).

La transferencia de resistencia entre bacterias se debe a la movilidad de los genes de resistencia, que se encuentran en elementos genéticos móviles, incluyendo plásmidos (moléculas de ADN extracromosomal que se replican independientemente del cromosoma bacteriano) y virus bacterianos (bacteriófagos) que se insertan en el cromosoma bacteriano para reproducirse. Otros elementos genéticos móviles son los transposones, que son secuencias de ADN que pueden migrar entre plásmidos y cromosomas. También existen los integrones, que son plataformas genéticas que capturan y acumulan genes de resistencia y que son los principales responsables de la resistencia a múltiples antibióticos, dando origen a las llamadas “superbacterias”. Tanto los plásmidos como los transposones pueden llevar varios genes de resistencia a antibióticos (Vinuesa, 2018).

La transferencia de genes de resistencia a antibióticos entre bacteria puede ocurrir de varias formas: la más frecuente es a través de un puente entre los citoplasmas de las bacterias por donde pasan genes de resistencia contenidos en plásmidos conjugativos, desde la bacteria donadora a la receptora (conjugación). Otra forma consiste en la toma de ADN directamente del ambiente (transformación) y finalmente a través de bacteriófagos, virus que infectan bacterias y que portan genes de resistencia a antibióticos. Cuando los fagos introducen su genoma en la célula huésped tienen que insertarlo en el cromosoma bacteriano para reproducirse (transducción) (Norman y col., 2009; Mazaheri y col., 2011).

Los antibióticos y las bacterias resistentes en el ambiente

La resistencia causada por el uso inapropiado de antibióticos en seres humanos ha sido el foco de atención de la investigación científica durante muchos años. Sin embargo, es importante destacar que sólo el 30% de los antibióticos que se producen a nivel mundial se aplican en salud humana; el restante 70% se utiliza en animales que se utilizan para consumo humano (carne, leche, huevo), ya sea para el tratamiento o preservación de la salud, o como promotores de crecimiento. Los antibióticos también se han empleado en la preservación de alimentos, así como en la agricultura para el control de plagas. Todas estas actividades también contribuyen de manera importante a la generación de resistencia bacteriana a los antibióticos (Pérez, 2018).

En los últimos años, se ha prestado especial atención al papel que juega el medio ambiente en la resistencia a los antibióticos. Los ecosistemas como el agua y el suelo son ricos en comunidades microbianas, donde las bacterias ambientales pueden adquirir genes provenientes de bacterias resistentes que llegan ahí como producto de las actividades humanas. Además, la descarga de antibióticos ejerce una presión selectiva para la presencia de microorganismos resistentes.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales que llevan desechos hospitalarios y de la industria farmacéutica se

consideran la fuente principal de bacterias resistentes, genes de resistencia y antibióticos y/o sus metabolitos. Los efluentes provenientes de dichas plantas aún son contaminantes ambientales, pues está documentado que durante el tratamiento biológico aerobio de aguas residuales no se elimina el 100% de las bacterias (algunas resistentes logran sobrevivir), considerando que las plantas de tratamiento no están diseñadas para eliminar antibióticos.

Otras fuentes de bacterias resistentes, genes de resistencia y antibióticos, que contribuyen a la problemática de la resistencia son algunas prácticas agrícolas como es el uso de estiércol para abono, el cual, en conjunto con la materia fecal de animales, llega a mezclarse con corrientes de agua superficial, por ejemplo, de lluvia, generando escurrimientos que extienden los contaminantes en el suelo, pudiendo llegar incluso hasta los mantos acuíferos. Lo mismo sucede con los antibióticos, caducos o incluso aún activos, que se eliminan en la basura doméstica y/o el drenaje. Cabe mencionar que también el uso de estos antibióticos por personas que los recogen de la basura puede generar resistencia a los mismos, al no estar completos para un tratamiento y/o no tener la actividad requerida (Gothwal and Shashidhar, 2015). También se ha demostrado la presencia de antibióticos en otro tipo de aguas superficiales como las de arroyos, lagos, ríos, mares y océanos, en agua del grifo, sedimentos, lodos e incluso plantas y animales acuáticos. Existen evidencias científicas de que las concentraciones de antibióticos encontradas en algunos reservorios ambientales deben de ser subletales para estimular el desarrollo de la resistencia, sin eliminar a las bacterias (Gullberg et al., 2011; Pruden et al., 2013; Lara et al., 2019).

Efecto de los antibióticos y de las bacterias resistentes sobre diferentes ecosistemas, el ejemplo de los manglares

El reciclaje de la materia orgánica que tiene lugar en los diferentes ecosistemas, está influenciado por las características de los factores abióticos y por la composición de la comunidad biológica del sitio. En la degradación del material orgánico, los microorganismos tienen un papel muy importante, porque llevan a cabo procesos que forman parte de los ciclos biogeoquímicos de la naturaleza. Por ello, en los diferentes ecosistemas existen comunidades microbianas capaces de degradar diferentes contaminantes (Maier y col., 2009). El problema surge cuando la concentración de los contaminantes es mayor a la capacidad de degradación natural de los microorganismos. Por ello, no sería difícil encontrar microorganismos que sean capaces de eliminar los antibióticos que estén contaminando agua o suelo en un ambiente particular.

El efecto de la presencia de antibióticos, de bacterias resistentes o de elementos genéticos, será diferente en los ecosistemas; en algunos pueden ser acumulados o en algunos casos, pueden ser eliminados. Un ejemplo interesante es el de los manglares.

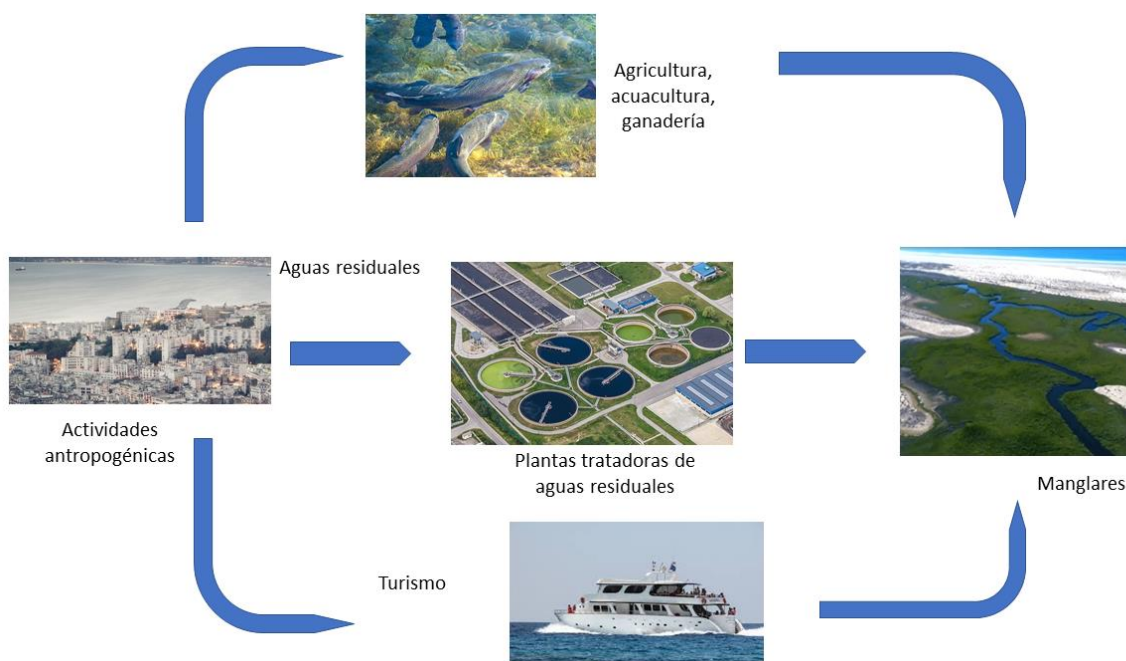


Figura 1. Problemas de contaminación de manglares, identificando fuentes de microorganismos multirresistentes a antibióticos y genes de resistencia.

Los manglares son ecosistemas que se encuentran en la zona de la desembocadura de los ríos de agua dulce en los mares u océanos, en donde hay predominancia de árboles tolerantes a concentraciones variables de salinidad. Los manglares se ubican en zonas tropicales y subtropicales, y deben su nombre a la predominancia de los árboles de mangle. Sirven como un espacio de interacción con una gran variedad de aves, peces y crustáceos, entre otros animales. Son ecosistemas con muy alta productividad, en donde las comunidades microbianas asociadas a la rizósfera, que es la zona del suelo en estrecha cercanía con las raíces de las plantas, juegan un papel importante en su funcionalidad (Rocha y col., 2016). Una de las principales funciones de los manglares es el servir de barrera de protección a las costas, ante desastres climáticos, como los ciclones (Troche-Souza y col., 2016).

En México, muchas zonas costeras son zonas de manglares, y muchos de estos sitios están ubicados en sitios de reservas ecológicas (Troche-Souza y col., 2016). Sin embargo, muchos manglares están en cercanía con zonas habitadas, y pueden tener contaminación de antibióticos y bacterias resistentes. La mayoría de los estudios relacionados con la presencia de antibióticos o de bacterias resistentes a antibióticos en manglares son de países asiáticos (Ghaderpour y col., 2015; Imchem y col., 2019). Se ha encontrado que en los manglares pueden ser sitios de acumulación de antibióticos y bacterias resistentes (Ghaderpour y col., 2015). Sin embargo, también se ha reportado que las plantas de mangle pueden reducir la acumulación de residuos de antibióticos (Li y col., 2016). También se ha reportado que hay una disminución de genes de resistencia a antibióticos en los sedimentos de los

manglares (Zhao y col., 2019). Aunque los mecanismos por los cuáles estos ecosistemas ayudan a eliminar antibióticos o genes de resistencia aún no es descrito, el papel de los manglares y otros ecosistemas en la acumulación o eliminación de contaminantes ambientales relacionados con antibióticos (residuos de antibióticos, bacterias resistentes, genes de resistencia) es un tema que debe ser más estudiado.

La resistencia a antibióticos, un problema multisectorial

La resistencia a los antibióticos es un problema multisectorial que se ha acordado abordar a nivel mundial a través del enfoque denominado “una salud” (ONE HEALTH), en el que se considera la interacción entre la salud humana y animal a través de la transmisión de bacterias patógenas resistentes o genes de resistencia ya sea por exposición directa entre ellos, o mediante la cadena alimenticia o el medio ambiente. La responsabilidad compartida de diferentes sectores dio lugar al surgimiento de una iniciativa internacional entre la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) para trabajar en estrecha colaboración con el objetivo de contener la RAM. Los planes de acción de estas organizaciones internacionales fueron la base para que, a partir de ellos, cada país elaborara sus políticas nacionales (Lara y col., 2019; Huijbers y col., 2019).

En su plan de acción en el año 2015, la OMS contempló cinco objetivos para disminuir el efecto de RAM en el ambiente, los que se presentan de forma esquemática en la Figura 2.



Figura 2. Objetivos de la OMS dentro del plan de acción contra el problema de RAM (O'Neill, 2016)

Por otra parte, la FAO en su plan global, establece la necesidad de participación del gobierno y la sociedad para minimizar la amenaza que representa la RAM para la salud pública y la producción de alimentos. Se contemplan 4 esferas de trabajos, que se ilustran en la Figura 3, y que coinciden con los objetivos marcados por la OMS. También elaboró normas internacionales para la resistencia a los antimicrobianos y las cantidades que se utilizan en producción animal; además, tomó la iniciativa de crear una base de datos sobre antimicrobianos destinados a ser utilizados en animales (Lara y col., 2019).

El camino futuro

Desde el enfoque científico, una posible solución a la problemática de la resistencia, es la búsqueda de nuevos antimicrobianos tanto de fuentes convencionales como de fuentes no convencionales como cuevas, desiertos, aguas termales, entre otros. También se está investigando sobre nuevos blancos de acción y nuevos antibióticos mediante el uso de bases de datos de ADN y proteínas, así como el uso de la química computacional para el diseño de compuestos con mejor actividad antimicrobiana. Otra iniciativa es la búsqueda o diseño de nuevas alternativas terapéuticas como son el uso de péptidos antimicrobianos, bacteriófagos o nanomateriales (O'Brien y Wright, 2011; Challinor y Bode, 2015). Otra tarea importante a considerar es la reactivación de la industria farmacéutica en la búsqueda de nuevos antibióticos, ya que la rápida evolución de la resistencia y la restricción del uso de antimicrobianos por políticas de salud mundial los convirtió en un negocio poco rentable que requiere de una inversión alta (alrededor de 1000 millones de dólares) y un largo tiempo de espera hasta su aprobación (10 a 15 años),

además de que su periodo de uso es corto comparado con los medicamentos que se utilizan durante toda la vida, como sucede en el caso de las enfermedades crónicas-degenerativas (Muñoz, 2019).



Figura 3. Esferas de trabajo de la FAO en su plan global para controlar el problema de RAM (Lara y col., 2019)

El problema mundial de la resistencia bacteriana a los antibióticos requiere de la participación de todos los sectores involucrados y la suma de esfuerzos multidisciplinarios, sin embargo, las acciones para contener y minimizar los efectos en la salud humana, animal y ambiental deben ser inmediatas y globalizadas.

Agradecimientos

El presente trabajo contó con financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a través del FORDECYT proyecto No. 297585.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

REFERENCIAS

- Bhullar K, Waglechner N, Pawlowski A, Koteva K, Banks ED, Johnston MD, Barton HA y Wright GD. 2012. Antibiotic Resistance is Prevalent in an Isolated Cave Microbiome. *PLoS ONE*, **7**(4): e34953.
- Challinor VL y Bode HB. 2015. Bioactive natural products from novel microbial sources. *Ann NY Acad Sci* **1354**: 82-97.
- Garza-Ramos U, Silva-Sánchez J, Martínez-Romero E. 2009. Genética y genómica enfocadas en el estudio de la resistencia bacteriana. *Salud Publ Mex* **51**(supl 3): S439-S446.

- Ghaderpour A, Ho WS, Chew LL, Bong C., Chong VC, Thong KL, Chai LC. 2015. Diverse and abundant multi-drug resistant *E. coli* in Matang mangrove estuaries, Malaysia. *Front Microbiol* **6**: 977
- Gothwal R y Shashidha T. 2015 Antibiotic Pollution in the Environment: A Review. *Clean - Soil, Air, Water* **43**(4), 479–89.
- Gullberg E, Cao S, Berg OG, Ilback C, Sandegren L, Hughes D. y Andersson DI. 2011. Selection of resistant bacteria at very low antibiotic concentrations. *PLoS Pathog* **7**(7), e102158.
- Huijbers P, Flach C y Larsson G. 2019. A conceptual framework for the environmental surveillance of antibiotics and antibiotic resistance. *Environ Int* **130**: 104880.
- Imchem M, Vennapu RK, Ghosh P y Kumavath R. 2019. Insights into antagonistic interactions of multidrug resistant bacteria in mangrove sediments from the South Indian state of Kerala. *Microorganisms* **7**: 678.
- Lara M, Torres M, Baez M y Albertini S. 2019. Aspectos generales del uso de antimicrobianos y su interacción con el medio ambiente: una problemática emergente. *Compend Cienc Vet.* **9**(02): 24-37.
- Li Y, Li Q, Zhou K, Sun XL, Zhao LR y Zhang YB. 2016. Occurrence and distribution of environmental pollutant antibiotics in Gaoqiao mangrove area, China. *Chemosphere* **147**: 25–35.
- Maier RM, Pepper IL y Gerba CP. 2009. *Environmental microbiology* (Vol. 397). Academic Press. Cambridge MA USA 624 p.
- Mazaheri Nezhad Fard R, Barton MD y Heuzenroeder MW. 2011. Bacteriophage-mediated transduction of antibiotic resistance in enterococci. *Lett Appl Microbiol.* **52**: 559–564.
- Muñoz K. 2019. La guerra silenciosa *Biotechnol Mov* **3**(18): 3-7.
- Norman A, Hansen LH y Sørensen SJ. 2009. Conjugative plasmids: Vessels of the communal gene pool. *Philos Trans R Soc B Biol Sci.* **364**: 2275–2289.
- O'Brien J y Wright GD. 2011. An ecological perspective of microbial secondary metabolism. *Curr Opin Biotech.* **22**(4), 552-558.
- O'Neill J. 2016. *Tackling Drug-resistant Infections Globally: Final Report and Recommendations—The Review on Antimicrobial Resistance Chaired by Jim O'Neill. Wellcome Trust and HM Government, London.*
- Patini R, Mangino G, Martellacci L, Quaranta G, Masucci L. y Gallenzi P. 2020. The Effect of Different Antibiotic Regimens on Bacterial Resistance: A Systematic Review. *Antibiotics* **9**: 22.
- Pérez D. 2018. Cultivando al enemigo. Los animales de granja como fábricas de bacterias resistentes a antibióticos. *Biotechnol Mov* **3**(15): 14-17.
- Perron GG, Whyte L, Turnbaugh PJ, Goordial J, Hanage WP, Dantas G y Desai MM. 2015. Functional characterization of bacteria isolated from ancient arctic soil exposes diverse resistance mechanisms to modern antibiotics. *PLoS ONE* **10**: e0069533.
- Pruden A, Larsson DG, Amezquita A, Collignon P, Brandt KK, Graham DW, Lazorchak JM, Suzuki S, Silley P, Snape JR, Topp E, Zhang T y Zhu YG. 2013. Management options for reducing the release of antibiotics and antibiotic resistance genes to the environment. *Environ Health Perspect* **121**(8): 878-885.
- Rocha, L. L., Colares, G. B., Nogueira, V. L., Paes, F. A., & Melo, V. M. (2016). Distinct habitats select particular bacterial communities in mangrove sediments. *International journal of microbiology, 2016*. Article ID 3435809
- Tan, S. Y., & Tatsumura, Y. (2015). Alexander Fleming (1881–1955): discoverer of penicillin. *Singapore medical journal, 56*(7), 366.
- Troche-Souza C, Rodríguez-Zúñiga MT, Velázquez-Salazar S, Valderrama-Landeros L, Villeda-Chávez E, Alcántara-Maya A, Vázquez-Balderas B, Cruz-López MI y Ressler R. 2016. Manglares de México: extensión, distribución y monitoreo (1970/1980—2015). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.*
- Vinuesa P. 2018. Un peligroso experimento a escala global: selección de bacterias multi-resistentes a antibióticos. *Biotechnol Mov* **3**(15): 10-13.
- World Health Organization. WHO Antimicrobial Resistance; WHO: Geneva, Switzerland, 2018. Available online: <http://www.who.int/en/news-room/factsheets/detail/antimicrobial-resistance> (accessed on 12 March 2020).
- Wright G. Molecular mechanisms of antibiotic resistance. 2011. *Chem. Commun.* **47**: 4055–4061.
- Zhao H, Yan B, Mo X, Li P, Li B, Li Q, Li N, Mo S, Ou Q, Shen P, Wu B y Jiang C. 2019. Prevalence and proliferation of antibiotic resistance genes in the subtropical mangrove wetland ecosystem of South China Sea. *Microbiol Open* **8**:e871.