



Vol.6 Núm.2
JULIO-DICIEMBRE 2014

vidsupra

visión científica

ÓRGANO DE DIFUSIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DEL CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL DURANGO CIIDIR-IPN

ISSN: 2007-3127





Directorio

Instituto Politécnico Nacional

Enrique Fernández Fassnacht

Director General

Daffny J. Rosado Moreno

Secretario Académico

Norma Patricia Muñoz Sevilla

Secretaria de Investigación y Posgrado

Óscar Jorge Súchil Villegas

Secretario de Extensión e Integración Social

María Eugenia Ugalde Martínez

Secretaria de Servicios Educativos

José Jurado Barragán

Secretario de Gestión Estratégica

Dely Karolina Urbano Sánchez

Secretaria de Administración

Cuauhtémoc Acosta Díaz

Secretario Ejecutivo de la Comisión de Operación y

Fomento de Actividades Académicas

Salvador Silva Ruvalcaba

Secretario Ejecutivo del Patronato de Obras e Instalaciones

Adriana Campos López

Abogada General

Jesús Ávila Galinzoga

Presidente del Decanato

Jorge Edgar Puga Álvarez

Coordinador de Comunicación Social

Juan Rivas Mora

Director del Centro de Difusión de Ciencia y Tecnología

Directorio del CIIDIR-IPN Unidad Durango

José Antonio Ávila Reyes

Director

Eduardo Sánchez Ortíz

Subdirector Académico y de Investigación

Agustín Ángel Meré Rementería

Subdirector Administrativo

Néstor Naranjo Jiménez

Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social

Roberto Villanueva Gutiérrez

Jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Denise Martínez Espino

Jefa de la Unidad Politécnica de Integración Social

Claudia Elia Soto Pedroza

Jefa de la Unidad de Tecnología Educativa y Campus Virtual

Adán Villarreal Márquez

Jefe de la Coordinación de Enlace y Gestión Técnica

Mayra Edith Burciaga Siqueiros

Jefa del Departamento de Servicios Educativos

Víctor Daniel Ríos García

Jefe de la Unidad de Informática

Diana Carolina Alanís Bañuelos

Jefa del Departamento de Recursos Financieros y Materiales

Dora Ma. Clara Aguilar Reyes

Jefa del Departamento de Capital Humano

"Vidsupra, visión científica"

Vol. 6, No. 2 JULIO-DICIEMBRE de 2014

Es una publicación semestral editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR-IPN Unidad Durango. Calle Sigma No. 119, Fracc. 20 de Noviembre II. C.P. 34220. Teléfonos: 618 8142091 y 618 814 45 40

Editor responsable: José Antonio Ávila Reyes

Editores asociados: Rebeca Álvarez Zagoya y Norma Almaraz Abarca
Producción Editorial: Claudia Elia Soto Pedroza

Certificado de reserva de derechos: No. 04-2010-112211305700-102, ISSN: 2007-3127, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Certificado de licitud de título número 14715

Certificado de licitud de contenido número 12288, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

Impresa por: Carlos Alberto González Cervantes. MGM impresos. Av. División Durango No. 217 Col. Benjamín Méndez C.P. 34020 Durango, Dgo.

Este número se terminó de imprimir el 15 de Diciembre de 2014 con un tiraje de 500 ejemplares. Distribución: CIIDIR-IPN Unidad Durango. Distribución gratuita a Instituciones de Educación Superior.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.

Fotografía de portada: flor de *Physalis* sp. (Fotografía de Marcos Cobaleda Velasco)

48 **APROXIMACIÓN A LAS POLÍTICAS DE VIVIENDA SOCIAL EN MÉXICO: SATISFACCIÓN DE UN DERECHO**

Omar Alejandro Reyes Ortega, Nancy Lissete Morales Díaz

56 **LA BIOFILTRACIÓN: UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Dolores Beatriz Sosa Hernández, Juan Manuel Viguera Cortés, Elizabeth Jacqueline Holguín Calderón

61 **LODOS RESIDUALES: MÉTODOS DE TRATAMIENTO, ESTABILIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO**

Elizabeth Jacqueline Holguín Calderón, Mayra Isabel Morales Rodríguez, María Guadalupe Vicencio de la Rosa, María del Socorro Morales de Casas

67 **ESTRATEGIAS PARA EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

María del Socorro Morales de Casas, Elizabeth Jacqueline Holguín Calderón

73 **HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS: UNA REVISIÓN**

José Israel Martínez Rivera, Miguel Ángel Soto Cárdenas, Alejandro Fabián Orona Meza, Pavel Francisco Espino Chairez, Ignacio Fierro Villanueva.

77 **MÉTODO DE LIMPIEZA CLEAN IN PLACE (CIP), PARTE IMPORTANTE DE LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (P+L) EN UNA INDUSTRIA LÁCTEA**

Mayra Isabel Morales Rodríguez, Dolores Beatriz Sosa Hernández, María Elena Pérez López

83 **EFFECTO EN EL ÁREA ESPECÍFICA Y TAMAÑO DE PORO AL MODIFICAR ARCILLAS CON TiO₂ PARA FORMAR UN COMPÓSITO**

Felipe de Jesús Silerio Vázquez, José Rafael Irigoyen Campuzano, José Bernardo Proal Nájera, José Antonio Esparza Rocha

87 **FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA: UNA BREVE INTRODUCCIÓN**

José Rafael Irigoyen Campuzano, Felipe de Jesús Silerio Vázquez, José Bernardo Proal Nájera

OPINIÓN

93 **ENFERMEDADES TRASMITIDAS POR PIOJOS, PULGAS Y GARRAPATAS**

Maricela Esteban Méndez, Manuel Quintos Escalante, Alicia Herrera Benavides, Petra Laura Calzada Contreras

97 **ALGUNOS COMENTARIOS SOBRE EL CULTIVO DE HONGOS COMESTIBLES EN DURANGO, MÉXICO**

Néstor Naranjo Jiménez, Jesús Herrera Corral, Natividad Uribe Soto, Norma Almaraz Abarca, Imelda Rosas Medina, Aurelio Colmenero Robles

99 **EL MICROBIOMA HUMANO**

Manuel Quintos Escalante, Maricela Esteban Méndez, Alicia Herrera Benavides, Petra Laura Calzada Contreras

102 **APROVECHAMIENTO DE *Agave durangensis* GENTRY (AGAVACEAE) PARA LA OBTENCIÓN DE ANTIOXIDANTES EN DURANGO, MÉXICO**

Imelda Rosas Medina, Aurelio Colmenero Robles, Norma Almaraz Abarca, Néstor Naranjo Jiménez, Miguel Ángel Ordaz Flores

104 **ANÁLISIS DEL CONOCIMIENTO SOBRE ANTIOXIDANTES EN DURANGO: ESTUDIO PRELIMINAR**

Imelda Rosas Medina, Aurelio Colmenero Robles, Norma Almaraz Abarca, Néstor Naranjo Jiménez, J. Natividad Uribe Soto

APROXIMACIÓN A LAS POLÍTICAS DE VIVIENDA SOCIAL EN MÉXICO: SATISFACCIÓN DE UN DERECHO

Omar Alejandro Reyes Ortega, Nancy Lissete Morales Díaz

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional
Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, México, 34220

Tel/Fax: 618 8142091

Correo electrónico: arq.alejandroreyes@outlook.com

RESUMEN

Las políticas de vivienda en México se remontan a principios del siglo XX. Esas políticas han tenido diversos cambios a lo largo de la historia, producto de la dinámica social y de las tendencias regidas por organismos internacionales, las cuales en lugar de generar mejoras en la concepción de los desarrollos habitacionales, han ocasionado la desvinculación del Estado con los factores sociales y ambientales, lo que a su vez origina un desconocimiento de las necesidades reales de los usuarios finales. Es evidente que las directrices por las que actualmente se rige el Estado han gestado el descontento de la sociedad por no satisfacer su derecho a una vivienda digna.

PALABRAS CLAVE: Políticas de vivienda, derecho, satisfacción

ABSTRACT

Housing policies in Mexico date back to the early 20th Century. Those policies have had many changes throughout history, product of social dynamics and of guidelines governed by international organizations, which, instead of generating improvements in the design of housing developments, have caused the separation between the state and social and environmental factors, which, in turn, has led to unawareness of the real needs of end users. It is clear that guidelines that currently governs the state have occasioned, in the population, a vision of dissatisfaction with their right to decent housing.

KEY WORDS: Housing policies, right, satisfaction

INTRODUCCIÓN

Para satisfacer la necesidad habitacional de la población debemos tomar en cuenta que es tanto un problema social como económico, ideológico y político, para el cual ningún país ha contribuido con acciones que, de manera definitiva y satisfactoria, den soluciones (García Peralta, 2010).

Si bien desde su creación, las distintas entidades públicas que el Estado Mexicano ha desarrollado para satisfacer la necesidad habitacional han mostrado una relativa eficiencia a la hora de abordar el tema desde un punto de vista cuantitativo, han expuesto a su vez, una incapacidad de solventar los aspectos cualitativos, los cuales determinan la calidad de vida en diversos sectores de la población.

La línea que actualmente sigue el Estado en materia de vivienda, pone de manifiesto un debate que nos provoca repensar sobre los métodos que éste emplea para brindar soluciones no solo en cantidad sino en calidad; no se puede seguir con la misma política en la cual se da prioridad a la vivienda como un producto industrial y se deja de lado la satisfacción de las necesidades reales de los usuarios finales; se deben generar nuevas propuestas desde una punto de vista integral tomando en cuenta los diversos factores arquitectónicos, urbanísticos, sociales y económicos, así como los ambientales y políticos para generar nuevas tecnologías y procesos que determinen una solución sustentable a los distintos problemas que en materia de vivienda aquejan a la sociedad.

Así mismo, es importante reconocer que en la medida que se considere como un bien necesario, los asuntos relacionados a cuestiones habitacionales estarán ligados a las políticas públicas, las cuales deberán considerar su satisfacción como un derecho que toda persona merece disfrutar (García Peralta, 2010).

En continuidad con lo antes mencionado, este trabajo tuvo como objetivo revisar el papel que el Estado, a través de la política pública de vivienda, ha jugado para la satisfacción del derecho a una vivienda digna y decorosa. Para tal efecto, se analizaron distintos estudios realizados tanto por organismos gubernamentales que dictan las políticas en materia de vivienda, así como por investigadores de instituciones educativas; tomando en consideración los temas que podrían ser los más relevantes para poder realizar un análisis general.

ANTECEDENTES

Hablar de política pública en materia de vivienda en México es hablar del máximo rector político en el país, La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que en sus artículos 2°, 4°, 122° y 123° establece las obligaciones que el Estado debe seguir para mejorar las condiciones de vida de la población, esto a través del establecimiento de instrumentos y apoyos necesarios para que toda familia pueda satisfacer el derecho a una vivienda digna y decorosa y con ello mejorar el ambiente para un sano desarrollo (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2014).

Sin embargo, en nuestro país desde principios del siglo XX se han realizado acciones en el ámbito de la política pública con el principal objetivo de fomentar la vivienda social, entre ellas destacan: la Ley sobre Casas de Obreros y Empleados Públicos residentes en la ciudad de Chihuahua durante el Porfiriato, la creación de la Dirección de Pensiones en 1925 que otorgaba créditos a los trabajadores del Estado para construir o adquirir vivienda, así como la creación en 1933 del Banco Nacional Hipotecario y de Obras Públicas, SNC. (BANOBRAS) (Sánchez Corral, 2010).

Cabe destacar que en la Constitución promulgada el 5 de febrero de 1917 por el Congreso Constituyente y que entró en vigor el 1 de mayo del mismo año, se incluían derechos sociales, considerados modernos; en su artículo 123° menciona que “en toda negociación agrícola, industrial, minera o cualquiera otra clase de trabajo, los patrones estarán obligados a proporcionar a los trabajadores, habitaciones cómodas e higiénicas” (Coulomb, 2012).

A partir de los años 40's, el Estado dio prioridad a la creación de la infraestructura de seguridad social para atender las diversas necesidades de la población y en 1943 creó el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), cuya principal función era brindar seguridad social y vivienda a sus derechohabientes (De Pablo Serna, 2000).

De acuerdo a la Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU) y a la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) (2013), de los años 50's a los 70's se da en México una migración masiva de población rural a los centros urbanos lo que genera que el Estado promueva diversas entidades públicas para cubrir la creciente demanda de servicios de vivienda en las cada vez más pobladas zonas urbanas del país. En 1954 funda el Instituto Nacional de la Vivienda que tenía como prioridad “atender las necesidades habitacionales de los estratos sociales económicamente débiles” (Sánchez Corral, 2010).

Es a partir de la década de los 40's y 50's y con la influencia de los organismos de gobierno encargados de fomentar la producción de vivienda, que en México se dan los primeros pasos para abordar la problemática en esa materia, en una población urbana en aumento y carente de recursos. Los primeros proyectos de vivienda social fueron afortunados ya que contemplaban un diseño integral en los que se consideraban de manera conjunta tanto la vivienda como la educación, el comercio y la recreación; todo esto por la influencia de planteamientos teóricos establecidos a nivel mundial. El Gobierno Federal constituye, en el Banco de México en 1963, el Fondo de Operación y Financiamiento Bancario a la Vivienda (FOVI), como una Institución encargada de otorgar créditos para la construcción y mejora de la vivienda de interés social, a través de la banca privada (Sánchez Corral, 2010).

A través de una reforma al artículo 123°, se obligó a los patrones para que mediante aportaciones se estableciera en el año de 1972 el Fondo Nacional de la Vivienda, constituyendo un sistema crediticio accesible para la adquisición de la misma. Esta reforma originó el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), mediante el Decreto de Ley respectivo, el 24 de abril de 1972 (De Pablo Serna, 2000).

En mayo de 1973 se crea el Fondo de Vivienda del ISSSTE (FOVISSSTE) por decreto y en adición a la Ley del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores al Servicio del Estado (ISSSTE), con la finalidad de conceder créditos hipotecarios a los trabajadores del Estado (Sánchez Corral, 2010).

Sin embargo, fue hasta 1983 que, mediante una reforma constitucional, el derecho a la vivienda digna y decorosa se elevó a rango supremo y se estableció como una garantía individual, insertando un párrafo al artículo 4° de la Constitución, lo que dio pie a la aprobación de la Ley Federal de Vivienda (Sánchez Corral, 2010), creando los instrumentos para dar cumplimiento a los compromisos previamente adquiridos al ratificar el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC) adoptado por la ONU en 1966, que entró en vigor una década después en 1976, y del cual México forma parte desde el año 1981; en él se establece “el derecho de toda persona a un nivel de vida adecuado para sí y su familia, incluso alimentación, vestido y vivienda adecuados, y a una mejora continua de las condiciones de existencia” (Coulomb, 2012).

En los años 80's el Estado se regía por una política de intervención directa para la construcción y financiamiento de vivienda, así como la aplicación de subsidios indirectos, pero es a partir de los años 90's que las instituciones estatales de vivienda se consolidan como entidades eminentemente financieras (De Pablo Serna, 2000).

En el año 2001 se creó la Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (CONAFOVI), que para el año 2006 se convierte en la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) el cual es un organismo descentralizado de utilidad pública e interés social, mediante el cual “el Ejecutivo Federal ejerce las atribuciones de coordinación del sector vivienda que le confiere la Ley (2006) y otras leyes” (Sánchez Corral, 2010). Este organismo tiene como responsabilidades promover la expedición de normas oficiales mexicanas en materia de vivienda y a su vez fomentar y apoyar medidas que promuevan la calidad de la misma; mediante ese organismo, en teoría, el Estado trata de seguir una política que además de financiar pueda normar y sancionar, creando los medios necesarios para cuidar la calidad y que el mercado pueda ofertar lo que realmente demanda la sociedad.

DERECHO A UNA VIVIENDA DIGNA Y DECOROSA

“No basta la simple existencia de un derecho social para que este se respete o materialice” (Ruiz Moreno, 2006 citado por Coulomb, 2012).

De acuerdo a Coulomb (2012) el derecho a una vivienda digna y decorosa incorporado en el artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el 3 de febrero de 1983, no está del todo claro pues no especifica si se reconoce un derecho, o solo se establece un objetivo en materia de políticas habitacionales; ese artículo menciona que “Toda familia tiene derecho a disfrutar de una

vivienda digna y decorosa...”, pero al igual que en el artículo 1° de la Ley de Vivienda (2006), este reconocimiento no considera hogares no familiares (unipersonales o de corresidentes) lo que genera un obstáculo si se considera que cada vez son más numerosos los hogares de este tipo.

En el año 2010 el Centro de Investigación y Documentación de la Casa (CIDOC) y la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF) presentan el estudio Estado Actual de la Vivienda en México 2010 en el que se menciona “que una de las características inherentes a los derechos humanos es su universalidad, es decir, que éstos corresponden a todas las personas, sin distinción alguna” (CIDOC y SHF, 2010).

El concepto que actualmente se tiene de la vivienda como una mercancía y como un producto industrial gesta nuevos retos ya que se genera una gran incoherencia puesto que las personas de más bajos ingresos, que a la vez son las que más requieren apoyos para obtener una vivienda, son quienes enfrentan los mayores obstáculos para conseguirlo (García Peralta, 2010), incumpliendo lo que establece el artículo 3° de los Derechos Económicos Sociales y Culturales (DESC) en el que se establecen los principios de equidad, inclusión social y universalidad para que “toda persona (...) pueda ejercer su derecho constitucional a la vivienda”, y conforme con lo que señala el relator para la vivienda de la ONU, tiene el objetivo principal de dar prioridad a la población que presenta mayor pobreza y vulnerabilidad (Khotari, 2003 citado por Coulomb, 2012).

Como hace notar García Peralta (2010), el número de hogares que en el país presentan problemas o nulas oportunidades a la hora de querer acceder a una vivienda, dentro de lo que actualmente se ofrece en el mercado, asciende al 70%; el 20% simplemente no puede acceder a ella; el 50% de los hogares con ingresos que van desde 2 a 6.5 veces el salario mínimo general (SMG), tendría la posibilidad de comprar una vivienda mínima, pero en el mercado no existe oferta para este sector; y solo el 30% de los hogares los cuales tienen ingresos de 6.5 y más de 20 SMG, tienen la posibilidad de acceder a una vivienda de interés social y media.

Aun cuando el Estado ha aplicado subsidios cuyo monto es limitado, estos en alguna medida han ayudado a atenuar el problema, más sin embargo, algunos criterios que se aplican favorecen principalmente a los constructores privados de vivienda así como a los consumidores que cuentan con empleos permanentes, seguro social y acceso a los fondos sociales de vivienda; todo esto ha ocasionado que las personas que más requieren los apoyos se enfrenten a serios obstáculos para poder acceder a ellos (García Peralta, 2010). Con la creación de la CONAVI el Estado trata de revertir esta situación y cumplir con los objetivos trazados en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, en donde se determina que “un México Incluyente tendrá como objetivo proveer un entorno adecuado para el desarrollo de una vida digna” (Plan Nacional de Desarrollo, 2013).

Un elemento importante a considerar es el territorio; de acuerdo con CIDOC y SHF (2010), uno de los elementos indispensables para el crecimiento ordenado de las ciudades es el suelo, y el valor de este depende de varios factores entre los que destacan, su cercanía al área urbana, así como la infraestructura y servicios existentes, de tal manera que entre más cercano a la ciudad se encuentre el predio aumentara considerablemente su valor y más aún si este se encuentra dentro de ella.

México, al seguir un eje político regido por el neoliberalismo y estar inmerso dentro del fenómeno de la globalización, se ha sujetado a las distintas tendencias que diversos organismos internacionales recomiendan en materia de vivienda social, tal es el caso del Banco Mundial cuyo organismo recomendó al Estado mexicano, la venta de su reserva territorial en el mercado, lo que dio lugar a que las empresas desarrolladoras privadas pudieran adquirir millones de metros cuadrados de tierras de origen ejidal en las principales ciudades; todo esto amparándose en las modificaciones al artículo 27 constitucional (García Peralta, 2010).

De acuerdo al contenido de las reformas al artículo 27 constitucional, del 6 de enero de 1992, se modifica radicalmente el texto de la fracción VII de este artículo, dando la oportunidad para que ejidatarios y comuneros puedan realizar contratos sobre sus tierras con entidades privadas o públicas, así mismo, “el ejidatario al adquirir el dominio sobre su parcela, deja de gozar de la naturaleza jurídica de ejido, su derecho dejará de ser inalienable, imprescriptible e inembargable y entrará en comercio” (Leyva García, 1992).

Las modificaciones hechas al artículo 27 facilitaron la incorporación de suelo ejidal al desarrollo urbano, suelo que, al ser adquirido a muy bajo costo por grandes agentes, se convirtió en desarrollos habitacionales en la periferia de las ciudades, estos desarrollos “ocupan grandes reservas territoriales que, en muchos casos, carecen de una planeación urbana integral y que se limitan a desarrollar productos con base a esquemas financieros y de demanda” generando mayores costos en la dotación de servicios o incluso la falta de los mismos, mayores gastos en la construcción de infraestructura, así como mayores costos de transporte para sus habitantes (Sánchez Corral, 2012).

Otro aspecto importante a tomar en cuenta de acuerdo al CIDOC y SHF (2010) es el ordenamiento territorial, al existir un acelerado crecimiento en los últimos 10 años, se han generado efectos secundarios no deseados como la falta de adecuados ordenamientos territoriales así como la acción cada vez más creciente de especuladores debido a la desvinculación por parte de los distintos órdenes de gobierno, lo que ha provocado distorsiones en el mercado y un alza en los precios del suelo.

Coulomb (2012) menciona que desde hace tiempo la planeación urbana tiende a sugerir la necesidad, sin que esto haya causado algún efecto real, de que los métodos actualmente empleados para la urbanización, la cual está dirigida a la periferia de las ciudades (peri urbanización), deben ser modificados hacia procesos en los cuales se pueda beneficiar de las zonas ya urbanizadas. Este mismo autor plantea que el éxito de esta política está en superar las limitaciones que actualmente ofrecen los mecanismos de ordenamiento territorial, así como la desvinculación de estos con las políticas y programas de vivienda, otro factor importante que considera, son los sistemas de producción de vivienda que en la actualidad hacen un uso extensivo del suelo de la periferia de las ciudades (peri urbano), lo que ocasiona, en concordancia con Sánchez Corral (2012), un aumento de los costos financieros, sociales y medioambientales.

Por otra parte, el abandono dado por los Organismos Nacionales de Vivienda (ONAVIS) a su papel de promotores, ha generado que la producción de vivienda que financian, se centre en los desarrolladores privados que dan prioridad a sus estrategias de mercado, las cuales se rigen por la rentabilidad económica de sus operaciones, esto sin tomar en cuenta la relación de los conjuntos de vivienda con respecto a la localización de las zonas de servicios como salud, educación, recreación, así como la factibilidad de transporte colectivo (Coulomb, 2012).

Por tal motivo y de acuerdo al CIDOC y SHF (2010) “resulta prioritario impulsar una política pública de vivienda sustentable que considere por lo menos tres componentes: el ordenamiento territorial, la planeación urbana y la edificación de vivienda sustentable”.

Con la creación de la CONAVI se pretende que los sectores públicos, sociales y de vivienda realicen acciones para un desarrollo urbano en conjunto a un buen ordenamiento territorial, buscando un desarrollo sustentable, esto en cumplimiento del Plan Nacional de Desarrollo Urbano 2009-2012, cuyo objetivo principal fue “impulsar a las ciudades y regiones productivas que estén bien articuladas” (Sánchez Corral, 2012).

Lo que se podría considerar el factor más importante a la hora de determinar si un derecho es cubierto es la satisfacción de los usuarios; de acuerdo con Sánchez Corral (2012) durante la década de los 80’s y 90’s, las acciones del Estado en materia de vivienda tuvieron una nueva orientación, producto de la reestructuración económica nacional y la global, restringida hacia la promoción y financiamiento habitacional, con la idea de dar un mayor estímulo a la participación social y privada para la construcción de vivienda.

Esta situación generó los mecanismos para que las empresas privadas tuvieran la posibilidad de ganancias financieras nacional e internacionalmente, mediante recursos derivados del salario indirecto de los trabajadores, por tal motivo la vivienda se convirtió en un negocio, lo que influyó de manera negativa en la calidad de las mismas y en el impacto urbano, debido a la desaparición por parte de organismos como el INFONAVIT de la supervisión en cuanto a la calidad de la vivienda (García Peralta, 2010).

Abundan ya las evaluaciones que ponen en evidencia las graves carencias de los conjuntos habitacionales periféricos en términos de calidad de los materiales, superficie habitable, y disponibilidad de servicios urbanos, como agua potable, drenaje y hasta electricidad (Esquivel, 2006 citado por Coulomb, 2010).

El INFONAVIT desarrolla en conjunto con la CONAVI, y la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) la Evaluación Cualitativa de la Vivienda y su Entorno (ECUVE), la cual identifica y califica los elementos de calidad de vida y sustentabilidad vinculados con la vivienda, este es un indicador que evalúa cada vivienda y su entorno de manera individual considerando 13 elementos principales a partir de una lista de casi 200 indicadores resultado de información obtenida por entrevistas, grupos de enfoque y encuestas a nivel nacional en donde se tomó en cuenta las opiniones de los derechohabientes y acreditados, así como expertos y responsables de la política pública en materia de vivienda (INFONAVIT, sin año).

La máxima calificación se puede lograr si las viviendas obtienen una evaluación máxima en cada atributo. Aun cuando cierto número puede cumplir con estas condiciones, no se puede creer que todas lo puedan hacer. Es por esto que una vivienda con una calificación de 100 puntos se puede considerar de buena calidad y cualquier puntuación superior a esta, significaría una calidad con un nivel excelente (INFONAVIT, sin año). En la Figura 1 se muestran los criterios de calificación de la vivienda considerados por el INFONAVIT, y su valor porcentual.



Figura 1. Elementos del ECUVE. Fuente: modificada en el diseño de INFONAVT (sin año)

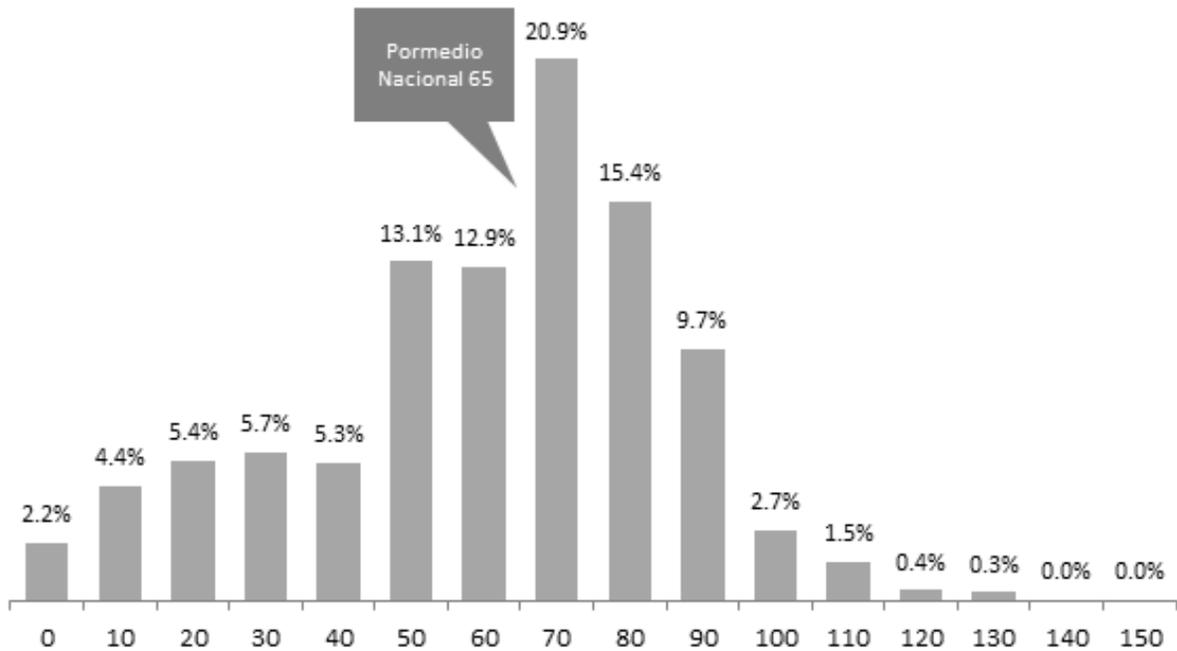


Figura 2. Resultado nacional ECUVE en viviendas nuevas formalizadas a septiembre de 2010. Fuente: modificada en el diseño de INFONAVIT (sin año)

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ECUVE 2010 y sobre una máxima medible de 150 puntos, las viviendas nuevas formalizadas, financiadas por el INFONAVIT se ubican en un promedio de 65 puntos, menos del 50% del puntaje máximo que se puede obtener, así mismo, podemos observar (Figura 2) que alrededor de este existe una importante variación, lo que representa una alta diversidad en cuanto a la calidad (INFONAVIT, sin año).

La SHF en conjunto con la Dirección de Estudios Económicos de la Vivienda (DESCV) crea el Índice de Satisfacción Residencial (ISR) (Figura 3), el cual tiene una base cuantitativa utilizando una distribución normal de los resultados ponderados, cuyas calificaciones van de 5 a 10; la más baja y la más alta respectivamente; además cuenta con modificadores “+” y “-”, que muestran una posición más o menos favorable dentro de la calificación (SHF, 2014).



Figura 3. Marco conceptual del ISR. Fuente: modificada en el diseño de la SHF (2014)

El ISR trata de “conocer el nivel de satisfacción de la población que habita en conjuntos habitacionales, en cuanto a la vivienda y la calidad de vida de su entorno” (SHF, 2014).

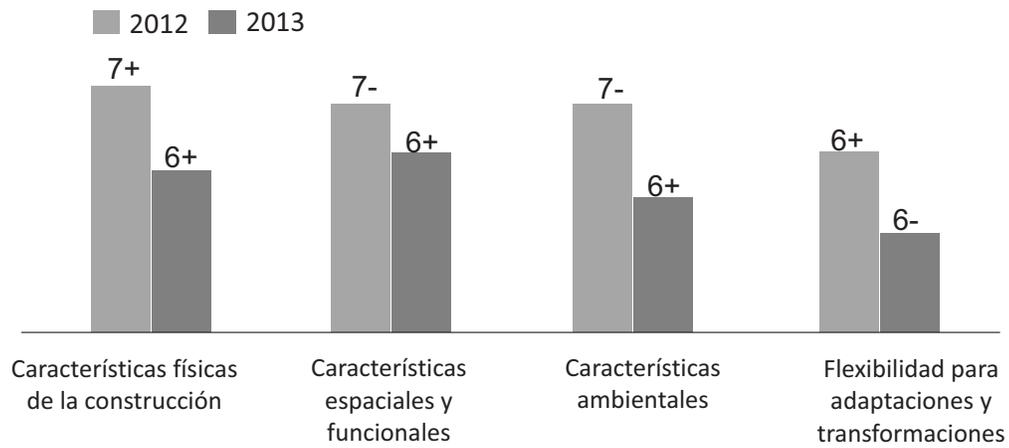


Figura 4. Resultados ISV. Fuente: modificada en el diseño de SHF (2014)

El Índice de Satisfacción con la Vivienda (ISV) se ubicó en 6+, es decir, poco satisfactorio (Figura 4). En el 2013, los entrevistados tenían, en promedio, menos de 2 años de residencia en la vivienda (SHF, 2014).

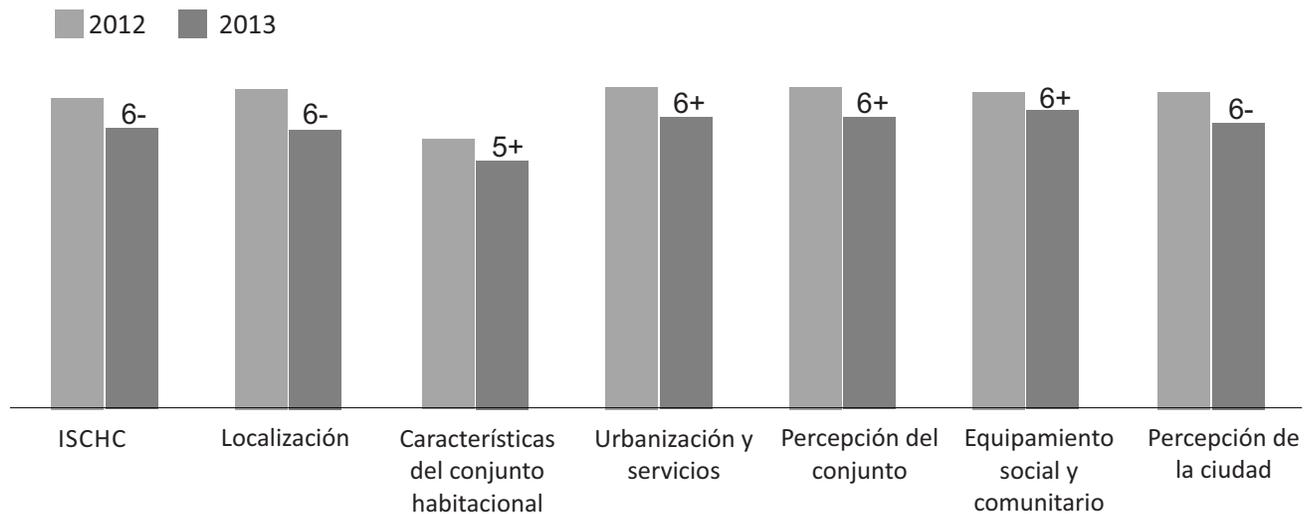


Figura 5. Resultados ISCHC. Fuente: modificada en el diseño de SHF (2014)

Como se puede observar (Figura 5), para 2013 el ISCHC se ubicó en 6-, lo que es interpretado como poco satisfactorio, reflejando una baja con respecto al año 2012 que se ubicó en 7+; los aspectos menos favorecidos fueron la localización del conjunto, la urbanización y los servicios disponibles (SHF, 2014).

El INFONAVIT también ha desarrollado el Índice de Calidad de Vida Vinculada con la Vivienda (ICVV) que es la “valoración subjetiva de elementos objetivos que permiten la vida digna y sustentable de las personas en sociedad, su desarrollo pleno y felicidad, considerando su contexto y expectativas” (INFONAVIT, sin año). Lo que se pretende medir es el comportamiento de la calidad de vida a partir de la adquisición de una vivienda, considerando factores como la vivienda, el entorno, la comunidad y las personas (CIDOC y SHF, 2010).

La definición y ponderación de los atributos del ICVV fueron determinadas por un grupo interdisciplinario integrado por personal del INFONAVIT, derechohabientes, así como representantes de distintos organismos de gobierno, instituciones educativas y

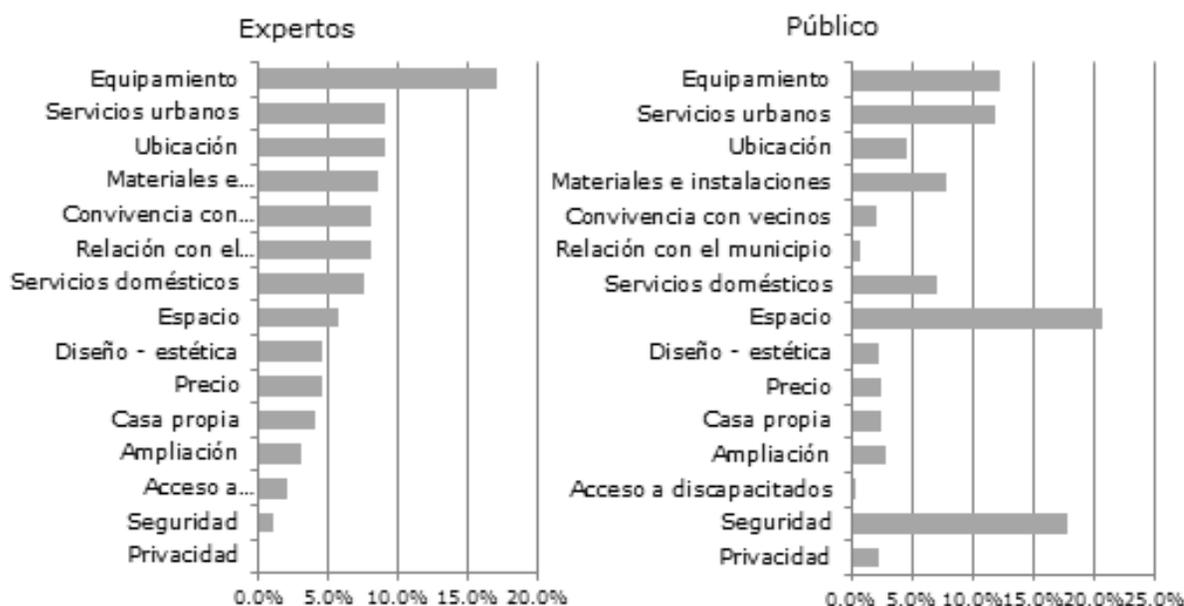


Figura 6. Opinión sobre atributos de la calidad de vida vinculada a la vivienda.

Fuente: modificada en el diseño de CIDOC Y SHF (2010)

Como se puede observar en la Figura 6, la visión de los expertos en materia de vivienda difiere de la opinión de los usuarios finales, por un lado los expertos dan mayor relevancia a los aspectos urbanos y a la ubicación, mientras que los usuarios se centran en el espacio, la seguridad y los materiales.

CONSIDERACIONES FINALES

En sus inicios, los organismos creados por el Estado, encargados de dictar las políticas en materia de vivienda, tenían una intervención directa tanto en el financiamiento como en la construcción de esta, lo cual les permitía pugnar el uso de criterios cualitativos, determinando proyectos integrales que consideraban tanto la vivienda de manera particular como el entorno (territorio y servicios); sin embargo, siempre han tenido un papel eminentemente financiero y a partir de los años 80's abandonaron su papel como promotores, lo que ha ocasionado un descuido de los aspectos sociales y ambientales, generando, a su vez, que un derecho universal, como lo es el acceso a una vivienda digna y decorosa, no sea satisfecho de manera plena.

La desvinculación entre Estado y los factores sociales, ha dado como resultado que la percepción que tienen los encargados de dictar los lineamientos a seguir en materia de vivienda difiera mucho con respecto a la visión de los usuarios finales, mostrando que el producto final es poco satisfactorio, lo cual repercute directamente en su calidad de vida. Es necesario que el Estado, que en años recientes ha pugnado por seguir nuevas directrices enfocadas a un desarrollo sustentable, genere los mecanismos que de manera directa y real promuevan un manejo adecuado de los recursos naturales, tomando en cuenta que uno de los ambientes en los que se desarrolla el ser humano (la ciudad) es el causante de la gran mayoría de la problemática ambiental. El Estado al tomar un papel eminentemente financiero, delegó la responsabilidad de vigilar la calidad de los desarrollos habitacionales a los actores privados, que guiados por prácticas ineficientes y que consideran a la vivienda básicamente como un instrumento para la acumulación de capital financiero, ocasionó un inadecuado manejo de los recursos naturales necesarios para el buen funcionamiento de los desarrollos habitacionales,

lo que se ha traducido en una degradación del ambiente natural degenerando en una mala calidad de vida en la población. En la actualidad es importante entender que para la satisfacción plena del derecho a la vivienda, deben tomarse en cuenta criterios sustentables reales que permitan la inclusión de todos los sectores de la población independientemente de su condición familiar y económica.

Como escribió Ortega y Gasset (1914) "Yo soy yo y mi circunstancia, y si no la salvo a ella, no me salvo yo", si se hace referencia al entorno del hombre y al mundo que le rodea; entonces, la supervivencia del ser humano depende de las acciones que se emprendan en el presente inmediato que deben ir dirigidos hacia un modelo de desarrollo sustentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CIDOC y SHF (Centro de Investigación y Documentación de la Casa y Sociedad Hipotecaria Federal). 2010. Estado actual de la vivienda en México 2010. Editorial Sestante, S.A de C.V. México.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. 2014. Fecha de consulta: 3 de abril de 2014. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/htm/1.htm>
- Coulomb, R. 2012. El derecho a la vivienda en México: el desafío de la universalidad y la inclusión social. Derechos sociales y desarrollo incluyente. Colección "Análisis estratégico para el desarrollo". Juan Pablo Editores. México.
- De Pablo Serna, L. 2000. La política de vivienda en México. Crónica Legislativa 13: 8-12
- García Peralta, B. 2010. Vivienda social en México (1940-1999): actores públicos, económicos y sociales. Cuadernos de Vivienda y Urbanismo 3: 34-49.
- INFONAVIT (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores). Sin año. Fecha de consulta: 19 de marzo de 2014. Disponible en: <http://infonavitpublica.org.mx/2012/?q=node/316>
- Leyva García, H. 1992. Reforma al artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (del 6 de enero de 1992). Revista de la Facultad de Derecho de México 42: 285-302.
- Ortega y Gasset, J. 1914. Meditaciones del Quijote. Residencia de Estudiantes. Madrid.
- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. 2013. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2014. Disponible en: <file:///C:/Users/Alejandro%20Reyes/Downloads/PND.pdf>
- Sánchez Corral, J. 2010. Vivienda Social: Factores que influyen en la producción de vivienda en México. JSa, México.
- Sánchez Corral, J. 2012. La vivienda social en México: pasado-presente-futuro? JSa, México.
- Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano, Comisión Nacional de Vivienda (SEDATU, CONAVI). 2013. Política Nacional Urbana y de Vivienda. Expo CIHAC (Centro Impulsor de la Construcción y Habitación). México.
- SHF (Sociedad Hipotecaria Federal). 2014. Encuesta de satisfacción residencial 2013. Dirección de Estudios Económicos de la Vivienda. México.

LA BIOFILTRACIÓN: UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Dolores Beatriz Sosa Hernández, Juan Manuel Viguera Cortés, Elizabeth Jacqueline Holguín Calderón

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, México, 34220. Tel/Fax: (618)8142091
Correo electrónico: bet_2186@hotmail.com

RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales requiere ser atendido con procesos que puedan adaptarse a las condiciones técnicas, económicas y sociales de distintos sectores, sobre todo los que no cuentan con sistemas de drenaje y tratamiento de sus efluentes. Ante la falta de recursos lo más común es descargar los residuos al suelo o a cuerpos receptores sin recibir ningún tratamiento, debido a los costos que conllevan los tratamientos convencionales para su construcción y mantenimiento. La biofiltración es una alternativa viable y adaptable para cubrir las necesidades de tratamiento de estos sectores sociales, ya que es un sistema eficiente que requiere bajos costos de inversión, no genera lodos residuales y además permite reutilizar el agua tratada, trayendo beneficios económicos, sociales y medioambientales. En el presente trabajo se muestra un panorama general del proceso de biofiltración, sus orígenes, modificación en los soportes de crecimiento de biopelícula, aplicaciones en el tratamiento de contaminantes, así como los requerimientos técnicos para establecer el proceso. Finalmente se muestran algunos trabajos que se han realizado y las eficiencias de remoción de contaminantes obtenidas.

PALABRAS CLAVE: Medio filtrante, biopelícula, eficiencia de remoción

ABSTRACT

The wastewater treatment requires to be attended with processes that can be adapted to the technical, economic and social conditions in different sectors, especially those that do not have drainage and effluent treatment. In the absence of the most common resources, wastes are downloaded to the ground or receiving bodies without being treated, due to the costs involved in conventional treatments for their construction and maintenance. Biofiltration is a viable and economic alternative for water treatment and it is an efficient system, which requires low investment costs, no waste sludge and also can reuse the treated water, bringing economic, social, and environmental benefits. In this work, an overview of the biofiltration process, its origins, types of filter media and applications in wastewater treatment, and their technical requirements is done. Some results and examples of efficient contaminant removals are present.

KEY WORDS: Filter media, biofilm, removal efficiency

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el incremento de la población genera grandes volúmenes de agua y su inadecuado tratamiento ha provocado enfermedades y contaminación ambiental (Zhao *et al.*, 2010), debido a la presencia de materia orgánica en exceso y organismos patógenos cuando son descargados a los cuerpos receptores originados por descargas urbanas, agrícolas e industriales, siendo un grave problema en varias partes del mundo, principalmente en las comunidades rurales y pequeñas micro industrias que no cuentan con tratamiento para sus efluentes. Por tal motivo el control, la reducción y el tratamiento de dichas descargas es la prioridad del desarrollo sustentable (Buelna *et al.*, 2011).

La necesidad de personal capacitado y los elevados costos de operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales limitan su aplicación en diversos sectores de la población. Se tienen desventajas de gestión para poder contar con sistemas de tratamiento debido a la distancia, escasez económica y tamaño de la población o microindustria (Viguera *et al.*, 2013). En México, varias plantas de tratamiento de lodos activados dejaron de utilizarse debido a sus altos costos de operación (Cervantes, 2010). Ante esa situación, en las dos últimas décadas, se ha venido desarrollando e innovando el proceso de biofiltración con el objetivo de ofrecer una alternativa a la necesidad de saneamiento de estos sectores, ya que es un sistema que requiere poca intervención técnica, además de ser una tecnología limpia y de bajo costo, fácilmente adaptable y altamente eficiente en la remoción de contaminantes físicos y químicos (Kim y Sorial, 2007; Jeong *et al.*, 2008).

En relación a esta problemática, en este trabajo se pretende presentar los conceptos generales del proceso de biofiltración, sus características y requerimientos, así como mostrar los trabajos previos que se han realizado y sirva de base para sugerir nuevas ideas en trabajos futuros.

GENERALIDADES

El agua se considera un recurso no renovable debido a su cantidad limitada (Arango, 2004); sin embargo es indispensable para la salud pública, los ecosistemas, la biodiversidad, la producción de alimentos, la industria, la energía y el desarrollo económico de las naciones, por ello se le considera un elemento estratégico de seguridad nacional así como de estabilidad social y política (PNH, 2014-2018). El riego consume 63 350 millones de m³/año (77% del total extraído), el uso urbano 14%, las industrias y termoeléctricas 9%, por lo tanto es de vital importancia su aprovechamiento a través de la recolección, almacenamiento y tratamiento (Arango, 2004).

Aunque el tratamiento de aguas residuales ha sido preocupación de la humanidad desde muchos años atrás, la aplicación de los procesos de biofiltración para tal fin, se remontan al siglo XVII cuando se empezaron a usar sistemas rústicos para el control de la contaminación y de los riesgos a la salud pública (Torres *et al.*, 2003).

Si bien la biofiltración es una técnica muy antigua y utilizada, en la actualidad se está implementando e innovando la aplicación con nuevos materiales, que mejoran su eficiencia frente a otras opciones de tratamiento. Es un proceso biológico utilizado para el tratamiento de compuestos orgánicos e inorgánicos y su objetivo es la separación de las partículas y microorganismos presentes en el agua. Esta tecnología se caracteriza por su sencillez, así como por la no necesidad de adicionar nutrientes, coagulantes, floculantes u otro aditivo, solo requiere que el agua a tratar llegue con características tales que permita la existencia de organismos vivos, entre ellas un pH entre 4.5 y 8 (SINIA, sin año).

MEDIO FILTRANTE

La biofiltración utiliza procesos físicos y químicos como consecuencia de bajas tasas de filtración, estableciendo un equilibrio entre la tasa de deposición de contaminantes y el crecimiento de las poblaciones de microorganismos (Garzón, 2004; Viguera *et al.*, 2013) que promueve la formación de una biopelícula inmovilizada sobre la superficie del medio filtrante responsable de remover y retener los agentes patógenos como coliformes fecales y huevos de helminto, entre otros (Chávez *et al.*, 2004). Incluye también la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) reduciendo la turbidez y favoreciendo la penetración de la luz dentro del agua tratada (Sánchez *et al.*, 2007). El medio filtrante ocupa generalmente entre el 50 y 70% de la altura total del biofiltro y sus principales finalidades son (Torres *et al.*, 2003):

:

- Facilitar el contacto entre el agua y los sólidos biológicos contenidos en el biofiltro.
- Facilitar un flujo uniforme en el biofiltro.
- Permitir la acumulación de una gran cantidad de biomasa.
- Actuar como una barrera física, evitando que los sólidos sean sacados del sistema de tratamiento.
- Actuar como separador de sólidos y gases.

La selección del medio filtrante es de suma importancia debido a que de este depende la calidad final que tenga el efluente a tratar. Algunos de los requisitos a cumplir son los siguientes (Pinto y Chernicharo, 1996, citado por Torres *et al.*, 2003):

- Debe ser estructuralmente resistente, debido a que es importante que soporte su propio peso y el de la biopelícula adherida a la superficie.
- Ser biológica y químicamente inerte, para evitar que ocurra una reacción entre el medio y los microorganismos.
- Ser suficientemente liviano, que permita la construcción de filtros más altos para reducir áreas de tratamiento.
- Poseer superficie específica y porosidad elevada, que permita la adherencia de microorganismos y reduzca la posibilidad de acumulación de sedimentos o colmatación.
- Que permita la rápida proliferación de microorganismos para que disminuya el tiempo de arranque del biofiltro.
- Tener precio reducido, para que el proceso sea económicamente viable.
- Tener una buena capacidad de retención de agua; los microorganismos requieren de una importante cantidad de agua para crecer. La humedad óptima del material debe ser entre 40 y 60%. Un bajo contenido reduce el espesor de la biopelícula disminuyendo la actividad microbiológica y por consiguiente la eficiencia del biofiltro. Un alto contenido de humedad puede crear una saturación, provocando zonas anaerobias o incrementar la caída de presión (INE, 2007).

Los tipos de medio filtrante se pueden clasificar en dos grupos: medios minerales o convencionales y medios sintéticos; los medios minerales se han utilizado durante mucho tiempo como materiales de empaque de filtros percoladores en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Algunos de estos medios son arena, antracita, carbón activado, calcita, grava y roca de escoria volcánica (tezontle); también se han utilizado materiales más baratos, como los escombros o pedacera de ladrillos pero se desmoronan con el tiempo, impidiendo el paso del agua a tratar. Estos medios son efectivos en procesos de baja tasa o de pulimiento.

Los medios filtrantes sintéticos se denominan comúnmente medios de alta tasa, debido a la carga orgánica que soportan, la ventaja más importante es que tienen grandes espacios de huecos, en general mayores del 90% y pesan aproximadamente la décima parte de lo que pesan los medios minerales. Esta propiedad en el peso, permite utilizar lechos mucho más profundos, donde las capas inferiores del empaque son capaces de resistir el peso de la biopelícula adherida al medio, permitiendo aplicar grandes cargas orgánicas

sin riesgo de obstruir el lecho, por el excesivo crecimiento de la película microbiana (Sistemas Alternos de Tratamiento de Aguas Residuales, sin año).

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BIOFILTRACIÓN

Los sistemas de biofiltración se pueden clasificar (Arango, 2004) por:

·Gravedad o presión: la filtración del agua residual por gravedad es el proceso en el cual se hace pasar el agua por el filtro, por acción de la gravedad y fluye de manera forzada por efecto de la presión hidráulica en el medio filtrante.

·Velocidad de filtración: rápida, lenta o variable. La filtración lenta es aquella que se da a velocidades entre 0.1 y 0.2 m/h, mientras que la velocidad rápida se da entre 5 y 20 m/h.

En el diseño de un sistema de biofiltración se consideran varios parámetros como son; las características del efluente a tratar, la selección del material filtrante y su contenido de humedad, así como los microorganismos que actuarán en el proceso (INE, 2007). Este sistema se compone de tres fases (Sekoulov *et al.*, 2009):

·Una fase sólida: medio filtrante que ejerza la función de desarrollar una población bacteriana y permita la retención de sólidos mediante filtración.

·Fase líquida: agua a tratar.

·Fase gaseosa: en el caso de biofiltros aerobios (aire).

Previo al arranque del sistema, se lleva a cabo la etapa de acondicionamiento y esta se debe hacer a bajas tasas para permitir la adaptación del sistema. En esta etapa se inicia con un medio filtrante limpio, el crecimiento microbiano comienza con la formación de la biopelícula en el momento en que hay sustrato disponible y bajo condiciones adecuadas de temperatura, humedad y/o aire, principalmente, por lo que se necesitará de un lapso de tiempo para alcanzar el desarrollo de la biopelícula sobre el medio. Al principio, la eficiencia es baja, de hecho se incrementa la concentración de algunos contaminantes como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) a los que normalmente contiene el agua residual (Vigueras, 2012), pero aumenta a medida que crece y se desarrolla la biopelícula.

Cuando existen condiciones favorables y se dispone de los nutrientes para el desarrollo de los microorganismos, la biopelícula se hace más gruesa hasta que es suficientemente pesada y se separa del medio por su propio peso y eventualmente el flujo del agua que escurre entre el medio o empuja la arrastra fuera del sistema (Mihelcic y Zimmerman, 2012). De ahí la importancia de aplicar cargas hidráulicas superficiales óptimas que eviten la separación de la biopelícula (Cohen, 2001).

Las aguas residuales que alimentan el sistema de biofiltros, pasan a través del medio filtrante y son tratadas por cuatro mecanismos que actúan de manera simultánea; 1) filtración lenta y pasiva 2) absorción, adsorción e intercambio iónico 3) biodegradación 4) desinfección, el control de la carga permite el crecimiento de microorganismos y la degradación pasiva de los contaminantes sin que se generen lodos residuales (Buelna *et al.*, 2011). La materia orgánica es oxidada total o parcialmente (INE, 2007) y transformada a compuestos no peligrosos como dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O), nitratos (NO₃⁻), amonio (NH₄⁺) y nitrógeno (N₂) (Gaudy y Gaudy, 1988). Los mecanismos pueden cambiar a lo largo del proceso de biofiltración, debido a que si en un inicio se dio la adsorción por haber lugares disponibles para las partículas, luego el medio se satura y las condiciones cambian (Noyola *et al.*, 2000). Es importante darle mantenimiento al sistema para tener consistentemente altas eficiencias de remoción, y debe operarse por debajo de su capacidad de eliminación máxima (Chávez *et al.*, 2004).

El oxígeno se disuelve en la superficie de la capa del líquido en movimiento y es transferido a través de la superficie de la biopelícula. El oxígeno y la carga orgánica se propagan hacia dentro de la biopelícula para ser degradados por los microorganismos adheridos al medio. Los sólidos suspendidos y coloidales que contiene el agua residual se aglomeran y adsorben también en la biopelícula (Cohen, 2001). Como se lleva a una cabo una oxidación bioquímica, es importante medir Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) para verificar la eficiencia del sistema (Noyola *et al.*, 2000).

APLICACIONES DE LA BIOFILTRACIÓN

En los últimos años la biofiltración se ha venido desarrollando y se ha probado la eficiencia de distintos medios filtrantes, tal es el caso reportado por Buelna *et al.* (2001), que trataron aguas residuales de una fábrica de alimentos para animales, obtuvieron remociones de 96% de DBO, 90% nitrógeno total Kjeldahl (N-NTK), 99% de SST, utilizando residuos de poda de tabachin (*Caesalpinia pulcherrima*) y Jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*). Dubé *et al.* (2002) trataron aguas residuales de un rastro agrícola con eficiencias promedio del 99% para DBO y SST, 85% de N-NTK. Otro estudio fue desarrollado por Buelna *et al.* (2005), en el cual obtuvieron remociones de 99% para DBO y SST, 91% de N-NTK, 69% de fósforo. Además Torres *et al.* (2003) probaron fibra de cáscara de coco, anillos de guadua (*Guadua angustifolia*) y lecho mixto compuesto por residuos de tejas partidas de barro y cáscara de coco para tratar aguas residuales de una industria, obteniendo eficiencias de remoción de DQO y SST de 70 y 90% respectivamente, con anillos de guadua 65 y 85% respectivamente y el lecho mixto 60 y 75% respectivamente. Chávez *et al.* (2004) utilizaron bagazo de caña y piedra pomex para remover sulfuro de hidrógeno (H₂S) en un efluente gaseoso, obteniendo eficiencias mayores al 99%.

Correa y Sierra (2004) utilizaron como medio filtrante esferas de acrílico obteniendo remoción de 96% para DQO, entre 80 y 90% para fósforo total, y entre 65 y 70% para nitrógeno total. Por su parte Garzón (2004) utilizó turba y trozos de madera para tratar tres tipos de agua; agua de granja de puerco obteniendo altas eficiencias de remoción, 96% de la DQO, 99 % de la DBO, 99% de los SST ; agua con colorante naranja ácido 24 (AO24), obteniendo eficiencias de remoción de 99% del color y de 90% de la DQO, y agua de una industria petroquímica con elevada concentración de 1,2 dicloroetano (DCE) y alta conductividad, que tuvo eficiencias diferentes que dependieron de la composición inicial del agua residual, la cual se caracterizó por ser muy variable. Se obtuvieron remociones entre 56% y 90% de la DQO, de compuestos orgánicos volátiles (COVs) mayor a 99%, en la conductividad no hubo efecto significativo, removiéndose solamente cerca del 3%.

Garzón y Buelna (2011) probaron residuos de poda de tabachin (*Caesalpinia pulcherrima*) y Jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), para tratar aguas residuales de una secundaria, obteniendo remoción de 97% de DBO, 71% DQO, 93% N-NTK, 95% de SST, 4 unidades logarítmicas de coliformes fecales, 100% huevos de helminto y 65% del nitrógeno total. Batista *et al.* (2011) utilizaron composta, aserrín y bagazo de caña de azúcar, removiendo 60, 80 and 66% de DQO y 65, 71 and 80% de DBO, respectivamente. Después, Batista *et al.* (2012) hicieron otra evaluación con los mismos materiales y obtuvieron una reducción de conductividad eléctrica arriba de 53%. Batista *et al.* (2013) obtuvieron remociones del 82% de sólidos en suspensión y 46% de los sólidos totales.

Más recientemente, Viguera *et al.* (2013) utilizaron fibra de agave, obteniendo eficiencia de remoción de coliformes fecales mayor al 99.56%, huevos de helminto mayor del 98%, 90% de DBO, 62% de DQO y 91% de SST, y la conductividad eléctrica aceptable por la normatividad en el tratamiento de aguas residuales municipales.

CONSIDERACIONES FINALES

El proceso de biofiltración aplicado al tratamiento de aguas residuales resulta ser una alternativa viable y adaptable en distintos sectores sociales cuando se utilizan materiales orgánicos como medio filtrante de la biopelícula, tomando en cuenta parámetros óptimos operativos para obtener altas eficiencias de remoción y que resulte favorable en su disposición, costo, operación y duración de los biofiltros. Las variaciones que se le puedan hacer al proceso de biofiltración son un tema poco explorado a nivel mundial y por lo tanto novedoso. Ésta tecnología permite darle un tratamiento adecuado a las aguas residuales para que puedan ser reutilizadas en el riego o descargadas en cuerpos receptores sin afectarlos, cumpliendo con la normatividad ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arango, R. 2004. La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua. Revista Lasallista de Investigación 1: 61-66.
- Batista, R., A. Soares, D. Santos, J. Bezerra, A. Oliveira. 2013. Removal of suspended and total solids in biofilters operating with primary domestic sewage for reuse in agriculture. Revista Ceres 60: 7-15.
- Batista, R., H. Barreto, S. Alves, W. Santos, F. Freire. 2012. Remoção de nitrato e condutividade elétrica em biofiltros operando com esgoto doméstico primário. Science and Technology 5: 59-69.
- Batista, R., M. Sartori, A. Soares, F. Moura, M. Costa. 2011. Potencial da remoção de poluentes bioquímicos em biofiltros operando com esgoto doméstico. Revista Ambiente e Água 6: 3.
- Buelna, G., M. Garzón, G. Moeller. 2011. Los biofiltros de empaque orgánico: una alternativa simple, robusta y eficiente para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. Ide@s CONCYTEG 6: 540-555.
- Buelna, G., N. Turgeon, R. Dubé. 2005. Deodorization of Pig Manure By Organic Bed Biofiltration. Conference on biotechniques for air pollution control. La Coruña. Spain. Octubre.
- Buelna, G., R. Dubé, M. Tremblay. 2001. Utilisation du BIOSORMD pour le traitement des effluents d'origine sanitaire: présentation de deux cas types. 3^e Colloque Annuel sur l' Environnement de l' Ordre des Ingénieurs de Québec. Canada.
- Cervantes, F. 2010. Tratamiento anaerobio de las aguas residuales en México. Ide@s Concyteg 5: 554-559.
- Chávez, C., Z. Mora, J. Cabra, Y. Carmona, S. Revah, G. Gnecco. 2004. Biofiltración de ácido sulfhídrico (H₂S), utilizando bagazo de caña de azúcar y piedra pómez como material de soporte. Ingeniería y Competitividad 5: 7-15.
- Cohen, Y. 2001. Biofiltration—the treatment of fluids by microorganisms immobilized into the filter bedding material: a review. Bioresource Technology 77: 257-274.
- Correa M., J. Sierra. 2004. Remoción integrada de materia orgánica, fósforo y nitrógeno en un sistema de filtros (biofiltros) en serie anaerobio/anóxico/aerobio en condiciones dinámicas. Revista Facultad de Ingeniería 31: 5-22.
- Dubé, R., N. Turgeon, G. Buelna, Y. Bernard, G. Bellemare, H. Benmoussa. 2002. Utilisation du procédé BIOSOR pour le traitement des effluents d'entreprises agroalimentaires: presentation de deux cas types. Salon des technologies environnementales. Réseau environnement. Québec. Canada.
- Garzón, M. 2004. La biofiltración sobre cama de turba, un tratamiento eficiente para diferentes tipos de agua residual industrial. XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. San Juan, Puerto Rico.
- Garzón, M., G. Buelna. 2011. Treatment of wastewater from a school in a decentralized filtration system by percolation over organic packing media. Water Science and Technology: 1169-1177.

- Gaudy, A., E. Gaudy. 1988. Elements of Bioenvironmental Engineering. Engineering Press, USA.
- INE (Instituto Nacional de Ecología). 2007. Consultada el 14 de abril de 2014.
Extraído de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/396/biofiltra.html>
- Jeong, E., M. Hirai, M. Shoda. 2008. Removal of o-xylene using biofilter inoculated with Rhodococcus sp. BTO62. Hazardous Material Journal 152: 140-147.
- Kim, D., G. Sorial. 2007. Role of biological activity and biomass distribution in air biofilter performance. Chemosphere 66: 1758-1764.
- Mihelcic J., J., Zimmerman. 2012. Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño. Alfaomega, México.
- Noyola A., E. Vega, J. Ramos, C. Calderon. 2000. Alternativas de Tratamientos de Aguas Residuales. IMTA México.
- PNH (Programa Nacional Hídrico). 2014-2018. Consultada el 12 de abril de 2014. Extraído de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5339732&fecha=08/04/2014
- Sánchez, R., A. Soares, A. de Matos, G. Sedyama, O. DeSouza, A. Mounteer. 2007. Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. Transactions of the Asabe 50: 65-71.
- Sekoulov, I., A. Rüdiger, M. Barz. 2009. Biofiltración innovadora para el tratamiento de aguas residuales producidas por poblaciones e industrias. TerraViva Tec S.L.
- SINIA. Sin año. Tecnología de biofiltros. Consultada el 14 de abril de 2014. Extraído de http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_07.pdf.
- Sistemas Alternos de Tratamiento de Aguas Residuales. Sin año. Ingeniería de tratamiento de aguas residuales. Consultada el 10 de marzo del 2014. Extraído de <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/sistemasalternos6.pdf>
- Torres, P., J. Rodríguez, I. Uribe. 2003. Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte. Scientia et Technica 23: 75-80.
- Vigueras, J. M. 2012. Innovación Tecnológica para Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas con Biofiltros Orgánicos. Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Vigueras, J., I. Villanueva, M. Garzón, J. Návar, I. Chaires, C. Hernández. 2013. Performance of a biofilter system with agave fiber filter media for municipal wastewater treatment. Water Science and Technology 68: 599-607.
- Zhao, L., Y. Wang, J. Yang, M. Xing, X. Li, D. Yi, D. Deng. 2010. Earthworm-microorganism interactions: A strategy to stabilize domestic wastewater sludge. Water Research 44: 2572-2582.

LODOS RESIDUALES: MÉTODOS DE TRATAMIENTO, ESTABILIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO

Elizabeth Jacqueline Holguín Calderón, Mayra Isabel Morales Rodríguez, María Guadalupe Vicencio de la Rosa, María del Socorro Morales de Casas

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, México, 34220.
Correo electrónico: ykcaj256@hotmail.com

RESUMEN

En el presente trabajo se da una visión general de la problemática originada por el aumento en la generación de lodos residuales provenientes de los procesos de depuración de aguas residuales urbanas, considerados como un residuo de manejo especial, cuyo mal manejo genera problemas de contaminación y de salud pública, por lo que requieren un proceso de estabilización de acuerdo a sus características para llevar a cabo su disposición de forma segura. Algunas alternativas de aprovechamiento son presentadas.

PALABRAS CLAVE: Lodos residuales, estabilización, aprovechamiento, compostaje, vermicompostaje

ABSTRACT

The present paper gives an overview of the problematic caused by the increase in the generation of sewage sludge, which comes from the treatment of urban waste water, considered as a special handling waste. The mismanagement of this process creates pollution and public health problems. Therefore, a stabilization process according to its characteristics its urgently required in order to perform their disposal safely. Some proposals for alternative uses are present.

KEY WORDS: Sewage sludge, stabilization, exploitation, composting, vermicomposting

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la mayoría de las poblaciones cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales, que tienen como objetivo remover los contaminantes del agua para evitar daños al ambiente y poderla usar en otras actividades; sin embargo durante su tratamiento se forman subproductos como los lodos residuales, difíciles de tratar, porque en ellos que se acumulan los contaminantes que no se destruyeron durante el proceso de tratamiento del agua, con el incremento de las plantas de tratamiento se han generado problemas de almacenamiento y aprovechamiento de los lodos, éstos son una nueva carga de contaminación que se une a la gran cantidad de residuos sólidos que ya se producen en la actualidad, esto ha conducido a la búsqueda de alternativas de uso para este residuo (Moreno *et al.*, 1986; Almendro-Candel *et al.*, 2003).

De acuerdo a lo anterior el objetivo de este trabajo fue conocer algunas características de los lodos, la disposición que se les da en la actualidad y dar algunas alternativas de aprovechamiento.

GENERALIDADES

En diciembre de 2011, México contaba con una cobertura de saneamiento del 46.5% de las aguas residuales urbanas con 2,289 plantas de tratamiento, se espera que para el 2015 se pueda alcanzar el 69.4% de la cobertura (CONAGUA, 2011).

Para llevar a cabo el tratamiento de los efluentes existen numerosas tecnologías que pueden ser utilizadas, las cuales dependen de factores como tamaño, calidad del agua deseada y de los costos. En general el tratamiento se lleva en 4 etapas: pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, y desinfección, en algunos casos tratamiento de lodos (Limón-Macías, 2013).

El subproducto de mayor importancia en el tratamiento de aguas residuales, debido a su volumen y por el tratamiento posterior que requieren, son los lodos (Limón-Macías, 2013), éstos provienen principalmente del tratamiento secundario de aguas residuales, denominado biológico, que puede ser aerobio o anaerobio (Castells, 2012; Limón-Macías, 2013).

Los tratamientos aerobios son los más habituales, en México los más usados son las lagunas de oxidación; sin embargo, a nivel mundial, el sistema más utilizado es el de lodos activados (Limón-Macías, 2013), que se basan en la asimilación de materia orgánica con ayuda de microorganismos en presencia de oxígeno, estos tienen un alto rendimiento de depuración de aguas; sin embargo generan una gran cantidad de lodos (Castells, 2012).

Los lodos residuales son también conocidos como biosólidos, que según la Water Environment Federation (WEF, sin año) y la NOM-004-SEMARNAT-2002 son ricos en material orgánico y nutrientes, y al ser sometidos a procesos de estabilización, pueden ser

susceptibles de aprovechamiento (Costa *et al.*, 1991), pero para ello es necesario tomar en cuenta sus características, las cuales están condicionadas al origen de las aguas residuales, el proceso de tratamiento y la época del año (Mahamud *et al.*, 1996; Terry *et al.*, 1979; Carbonell *et al.*, 2009). Dichas características determinan el tratamiento posterior del biosólido y su gestión final de acuerdo a su calidad (Mahamud *et al.*, 1996).

En México no se tiene un dato oficial sobre la cantidad de lodos generados (Remis y Espinoza, 2011); sin embargo, se estima que en el 2010 se generaban alrededor de 640 mil toneladas al año (CONAGUA, 2011), que según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, son considerados de manejo especial.

Los lodos en general presentan ciertas características que definen su peligrosidad de acuerdo a la normatividad de cada país, en Estados Unidos se encarga la EPA (Environmental Protection Agency), en el caso de México lo dictamina la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) basándose en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-052-SEMARNAT-2005 y NOM-004-SEMARNAT-2002, y se determina principalmente por su composición microbiológica y de metales pesados, ya que los lodos que presenten cantidades de ciertos compuestos por encima de los límites establecidos por la normatividad requieren de un manejo especial o bien de un proceso posterior para su disposición (Mahamud *et al.*, 1996).

PROBLEMÁTICA EN EL MANEJO Y DISPOSICIÓN

La problemática que se asocia a los lodos aparece cuando estos dejan de ser un producto y se convierten en un residuo (Mahamud *et al.*, 1996) que requiere ser estabilizado antes de su disposición.

Sin embargo, el problema con respecto al manejo de lodos radica principalmente en que no son considerados como un tema de importancia dentro de las políticas públicas en cuanto a manejo de residuos, por tanto no hay un control adecuado del residuo, lo que lo convierte en un problema de contaminación y de salud pública (UN-HABITAT, 2008).

Es importante que los lodos, al ser considerados un residuo peligroso, sean sometidos a un análisis para determinar si son corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables y/o biológico-infeccioso (CRETIB) y de esta forma poder determinar su manejo y disposición adecuada (García, 2006).

Históricamente se ha utilizado el vertido no controlado (Hara y Mino 2008; Bridle y Skrypski-Mantele, 2000), en algunos casos los lodos eran arrojados al mar causando grandes estragos en el ambiente, como la destrucción de la biodiversidad marítima (Frost y Campbell, 1986), sin embargo a partir de 1999 la Comunidad Europea, directriz 271/1991/CE, prohíbe el vertido al mar de los fangos de depuradora (Albareda, 2003). También se ha utilizado el vertido en suelo, se estima que en México alrededor del 64% de los lodos generados son vertidos en tiraderos a cielo abierto, generando problemas de contaminación ambiental y salud pública (UN-HABITAT, 2008; Remis y Espinoza, 2011).

Otro método de disposición de lodos es por medio de la incineración, utilizándolos como combustible para la producción de energía, pero esto supone diversos problemas ambientales debido a la emisión de gases nocivos a la atmósfera (Frost y Campbell, 1986), principalmente dioxinas y furanos (Werther y Ogada, 1999). Además el sistema de eliminación por incineración es el más costoso y provoca problemas sociales.

Sin embargo en la mayoría de los países, los lodos residuales son principalmente dispuestos de forma controlada en rellenos sanitarios, aunque esto provoca problemas de espacio, sobre todo en las ciudades donde se generan grandes cantidades del residuo (Frost y Campbell, 1986).

ESTABILIZACIÓN DE LODOS

La necesidad de la estabilización o tratamiento de lodos depende de la disposición o reutilización que se pretenda darles. Los lodos se procesan con tres propósitos fundamentales, que son la eliminación de olores, reducción del potencial de putrefacción y reducción del contenido de microorganismos patógenos (Crites *et al.*, 2000). La disposición y el aprovechamiento final de los lodos residuales implican un reto económico y de ingeniería, ya que el volumen que se genera requiere de inversión en infraestructura y desarrollo de tecnologías que reduzcan su volumen y los estabilicen a fin de reducir o eliminar sus propiedades contaminantes.

Es por ello que para realizar correctamente el tratamiento de estabilización y eliminación del lodo es fundamental conocer sus características (Fytili y Zabaniotou, 2008), tales como la cantidad, calidad, condiciones particulares del sitio y los costos que se requieren para su manejo (García, 2006).

Existen diferentes tratamientos cuyo objetivo principal es reducir el volumen de los lodos generados y estabilizarlos transformándolos en productos inocuos, es decir, un producto que pierde sus propiedades contaminantes y que pueda ser reutilizado o aprovechado (Remis y Espinoza, 2011) sin riesgos a la salud o el medio ambiente.

Los tratamientos para la reducción de volumen son la deshidratación y la incineración. La deshidratación es un procedimiento físico en el que se reduce el contenido de humedad, y se utilizan diversos procedimientos y equipos, los principales son los lechos de secado y la deshidratación mecánica (Crites *et al.*, 2000), en este tipo de tratamiento se reduce aproximadamente un 20% del volumen (García, 2006). El proceso de incineración se lleva a cabo mediante la descomposición de los residuos en un ambiente rico en oxígeno y a altas temperaturas (Henry y Heinke, 1999), se lleva a cabo una combustión de la materia orgánica presente, y con ello se consigue un producto residual de menor masa, en este tratamiento se reduce hasta un 80% de la humedad, ya que elimina compuestos orgánicos tóxicos y destruye los microorganismos patógenos, el problema principal es que genera gases de efecto invernadero (GEI), provocando contaminación y altos costos de operación (García, 2006).

Los procesos de estabilización son el tratamiento químico, la digestión anaerobia y digestión aerobia. En el tratamiento químico se realiza principalmente una acción bactericida, esto promueve el bloqueo temporal de fermentaciones ácidas que producen mal olor, son de bajo costo y el método más utilizado es la estabilización con cal (García, 2006), esto con el fin de elevar su pH hasta 12, lo que eliminará los microorganismos presentes y por tanto estabilizará la materia orgánica, el problema de este tratamiento radica en que al agregar otro compuesto, aumenta la masa de la mezcla, por tanto es mayor la cantidad de lodo a disponer (Henry y Heinke, 1999). La digestión anaerobia se realiza en ausencia de oxígeno, generando gas metano en el proceso y disminuyendo la cantidad de materia orgánica por lo que se pierde un gran porcentaje de los compuestos contaminantes presentes en los lodos (Mahamud *et al.*, 1996). La digestión aerobia se utiliza para estabilizar lodos, ya que es de bajo costo, más fácil de llevar a cabo, y genera un producto final estable, sin olor similar al humus (Henry y Heinke, 1999), este tratamiento consiste en un proceso de aireación prolongada para provocar el desarrollo de microorganismos aerobios (García, 2006), los cuales se encargan de degradar la materia orgánica presente (Mahamud *et al.*, 1996).

USOS Y APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES

Según la United Nations Human Settlements Program (UN-HABITAT, 2008) los países desarrollados son los que invierten en la infraestructura necesaria para reducir y estabilizar los lodos residuales, estos cuentan con un control sobre la cantidad y la calidad del residuo, y con estadísticas sobre su disposición final o su aprovechamiento. En el caso de los países en vías de desarrollo no se considera a los lodos residuales como un residuo a tratar, por lo que la inversión en infraestructura es relativamente baja o nula. En la Figura 1 se observa el uso y disposición que se le da a los lodos en algunos países, incluyendo México.

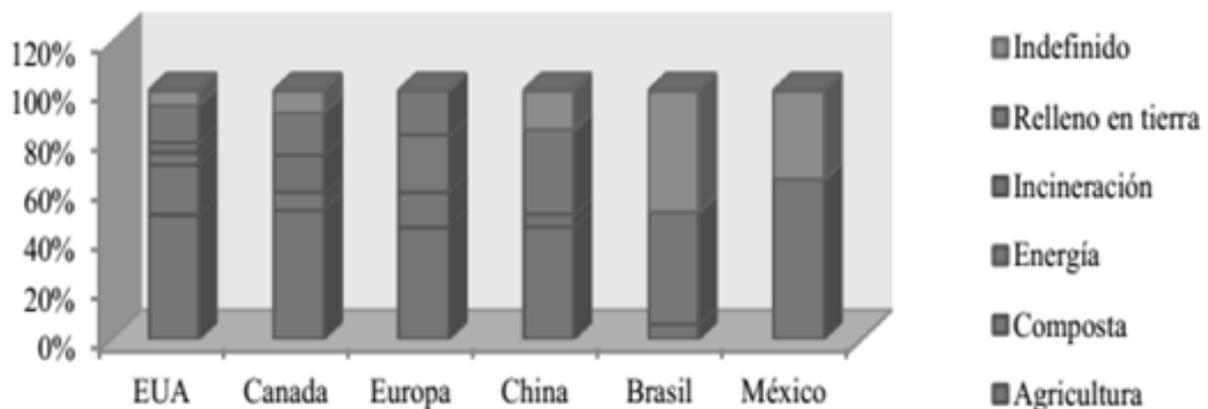


Figura 1. Reuso y disposición de lodos residuales en México y otros países (Remis y Espinosa, 2011)

En los últimos años, se le ha dado mucha importancia a los lodos como un residuo orgánico, y ha despertado el interés para ser aplicado en el suelo, por ser una opción económicamente viable que ofrece beneficios agronómicos ya que añade elementos fertilizantes al suelo como nitrógeno y fósforo (Pascual *et al.*, 1999) es por ello que uno de sus usos potenciales, es el uso agrícola, ya que tienen un alto contenido de materia orgánica, así como alto contenido de micronutrientes y macronutrientes (Lue-Hing *et al.*, 1994).

Los lodos residuales también tienen un uso potencial como fertilizantes forestales (Henry *et al.*, 1994; Roldán y Albaladejo, 1994); debido a su alto contenido en materia orgánica, pueden contribuir a la recuperación de tierras, ya que permiten que los suelos tengan una mayor cantidad de vegetación y se reestablezcan, sobre todo en zonas semiáridas, ya que pueden generar un incremento en la vegetación y una disminución en los niveles de erosión (Fresquez *et al.*, 1991; Evans *et al.*, 1995).

Es importante tomar en cuenta que así como la fertilización con lodos puede ser beneficiosa, también puede ser perjudicial dependiendo de los niveles de concentración de los microelementos no esenciales (Hg, Cd, Pb, Cr, etc.) y otros esenciales (Fe, Cu, Zn, Mn) que pueden ser tóxicos si sobrepasan los niveles de concentración máxima permitida (Felipó *et al.*, 1982).

La incorporación de lodos de residuales en suelos agrícolas requiere de una detallada caracterización analítica del material y del medio receptor con el fin de calcular la dosis de aplicación idónea y hacer un uso eficiente del subproducto en la agricultura, cumpliendo los requisitos sanitarios y ambientales (Ramírez *et al.*, 2008; Fernández *et al.*, 2009).

Según estadísticas de la UN-HABITAT (2008), la Unión Europea destina un 45% de sus lodos generados a la agricultura, Estados Unidos utiliza el 49% de sus biosólidos en agricultura, silvicultura y mejoramiento de suelos, Canadá el 52 %, China el 45% y América latina solo el 5.6%.

Se utilizan diversos métodos para estabilizar los lodos antes de disponerlos en el suelo: el compostaje y el vermicompostaje. El compostaje es un proceso de estabilización biológica, que se lleva a cabo en presencia de oxígeno, en condiciones de humedad y temperatura específicas, reduce el contenido de materia orgánica, microorganismos patógenos y algunos contaminantes presentes en los lodos (Manahan, 1990). El 14 % de lodos generados en la Unión Europea son estabilizados por medio de este método (UN-HABITAT, 2008), en el caso de México, no se ha trabajado mucho en la estabilización de lodos por medio de compostaje; sin embargo, en los últimos años se han llevado a cabo estudios para su aprovechamiento, resultando ser una alternativa exitosa, en la estabilización microbiológica, la eliminación de olor, y obtención de compost de buena calidad nutricional (Íñiguez *et al.*, 2006; Salcedo-Pérez *et al.*, 2007; Vicencio-de La Rosa *et al.*, 2011; Wrobel, 2013).

La vermiestabilización es otro uso que se le está dando en la actualidad a los lodos, en este tratamiento las lombrices llevan a cabo un proceso de digestión, pero sin afectar la participación de los microorganismos, de esta manera la materia orgánica contenida en los lodos residuales es fragmentada, descompuesta y estabilizada (Vera-Reza *et al.*, 2006), la lombriz estabiliza los valores de pH, ayuda a la aireación de la mezcla y favorece la población microbiana. La lombricultura es una tecnología de bajo costo, fácil de desarrollar, limpia y al alcance de cualquier familia o productor del ámbito agro-industrial que desee darle un valor agregado a un residuo, para convertirlo en abono en forma de humus y las lombrices como fuente de proteína. A pesar de que en México no es un método convencional, se han realizado algunos estudios que utilizan el vermicompostaje para la estabilización de lodos residuales (Vera-Reza, 2006; Vicencio-de La Rosa *et al.*, 2011; Águila *et al.*, 2011;).

Otro de los usos principales que se les da a los lodos es para la generación de energía, algunos países destinan cierto porcentaje de los lodos residuales generados para la recuperación energética, está se utiliza principalmente para abastecer los requerimientos eléctricos de las plantas de tratamiento de lodos. La Unión Europea utiliza aproximadamente el 23% de sus lodos para la producción de energía térmica, en Canadá el 22 % de los lodos son incinerados y en algunos casos el vapor generado es utilizado para la recuperación de energía (UN-HABITAT, 2008).

En México, la valoración energética de los lodos se da principalmente con la obtención de biogás, que se produce por las bacterias durante la digestión o fermentación de la materia orgánica bajo un proceso anaerobio, su producción depende de diversos factores como la temperatura, el tiempo de retención, las bacterias que lo producen, su relación C/N, el pH, contenido de sólidos y sustancias tóxicas; el biogás, es considerado un combustible confiable si el contenido de metano es más del 50 %, según el biogás está compuesto de 55-70% de metano, del 30-45% de dióxido de carbono y trazas de otros gases, 1% de ácido sulfhídrico y 2% hidrógeno (Deublein y Steinhauer, 2011). Algunos estudios en la Unión Europea han arrojado buenos resultados en producción de biogás, con un contenido de metano de 63% con un proceso de co-digestión mesofílica (Martín-González *et al.*, 2010).

Los lodos también han sido utilizados en la construcción, en la fabricación de cerámicas (Vidal *et al.*, 2010), en la producción de cementos a partir de mezclas de lodos digeridos con caliza (Tay y Show, 1997), elaboración de ladrillos a partir de mezclas de arcilla y lodos (Alleman *et al.*, 1990), también se están llevando a cabo estudios para la obtención de proteínas y nutrientes que puedan ser utilizados en la alimentación agrícola (Burgos, 1990).

CONSIDERACIONES FINALES

Los lodos residuales no tienen que ser un problema de contaminación y de salud pública, siempre y cuando se haga una gestión adecuada de los lodos, para que esto sea posible, es necesario crear políticas públicas responsables que ayuden al mejoramiento en el manejo y disposición de los lodos, así mismo es necesario que se promuevan tecnologías de aprovechamiento seguras, amigables con el ambiente y económicamente viables, y con ello evitar muchos de los problemas de contaminación de suelo, agua y aire, que existen hoy en día. También es importante llevar un control sobre el cumplimiento de la normatividad y en caso de que no se respete, que se apliquen las sanciones necesarias. En los últimos años se le ha dado mucha importancia a los lodos como un residuo orgánico, para su utilización en la agricultura, y son diversos los países que día con día buscan nuevas alternativas para disponerlos de forma segura en los cultivos, sobre todo los países industrializados que destinan grandes cantidades de su producción de lodos para uso agronómico. El compostaje y el vermicompostaje son los tratamientos que han sido más utilizados para el aprovechamiento de lodos, presentan grandes ventajas, ya que ayudan en la disminución de material orgánico, de microorganismos patógenos, y los costos de producción son relativamente bajos, además se obtiene un producto de alta calidad comercializable para su uso en agricultura, en el caso de la vermiestabilización se obtiene un producto con un mayor valor económico, debido a que la lombriz puede comercializarse como fuente de proteína.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águila, J. P. D., J. Lugo de la Fuente, R. Vaca Paulín. 2011. Vermicomposting as a process to stabilize organic waste and sewage sludge as an application for soil. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 949-963.
- Albareda, P. F. 2003. Durabilidad de Hormigones con Adición de Lodos Secos de Depuradora de Aguas Residuales. Tesina. Universitat Politècnica de Catalunya, España. Fecha de consulta: 15/abril/2014. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/3387>
- Alleman, J. E., E. H. Bryan, T. A. Stumm, W. W. Marlow, R. C. Hocevar. 1990. Sludge-amended brick production: applicability for metal-laden residues. *Water Science & Technology* 22: 309-317.
- Almendro-Candel, M. B., J. Navarro-Pedreño, M. M. Jordán-Vidal, I. Gómez-Lucas. 2003. Movilidad y biodisponibilidad del fósforo en un Antrosol del sureste español (Alicante) enmendado con lodo de depuradora. *Edafología* 10: 7-14.
- Bridle, T., S. Skrypski-Mantele. 2000. Assessment of sludge reuse options: a life-cycle approach. *Water Science and Technology* 41: 131-135.
- Burgos, M. 1990. Compostaje de Lodos Residuales: Aplicación Agronómica y Criterios de Madurez. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, España.
- Carbonell, G., J. Pro, N. Gómez, M. M. Babín, C. Fernández, E. Alonso, J. V. Tarazona. 2009. Sewage sludge applied to agricultural soil: ecotoxicological effects on representative soil organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72: 1309-1319.
- Castells, X. E. 2012. Reciclaje de Residuos Industriales: Residuos Sólidos Urbanos y Fangos de Depuradora. Ediciones Díaz de Santos, España.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2011. Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Fecha de consulta: 15/abril/2014, Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-INVENTRIO%202011%20FINAL.pdf>
- Costa, F., C. García, T. Hernández, A. Polo. 1991. Utilización Agrícola de los Lodos de Depuradora, Compostaje y Algunos Aspectos de su Incidencia en el Medio Ambiente. CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Crites, R., G. Tchobanoglous, M. Camargo, L. P. Pardo, G. Mejía. 2000. Sistemas de manejo de aguas residuales: para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 3. McGraw-Hill, Colombia.
- Deublein, D., A. Steinhäuser. 2011. Biogas from Waste and Renewable Resources: an Introduction. Editorial Wiley-VCH.
- Evans, R. G., B. N. Girgin, J. F. Chenoweth, M. W. Kroeger. 1995. Surge irrigation with residues to reduce soil erosion. *Agricultural Water Management* 27: 283-297.
- Felipó, M. T., M. A. Garaud, M. D. Pascual, J. Cardus. 1982. Reutilización de aguas y lodos residuales procedentes de depuradoras municipales a través del suelo: II Parte. Lodo residual. *Anales de Edafología y Agrobiología* 41: 2055-2068.
- Fernández, J. M., C. Plaza, J. C. García-Gil, A. Polo. 2009. Biochemical properties and barley yield in a semiarid Mediterranean soil amended with two kinds of sewage sludge. *Applied Soil Ecology* 42: 18-24.
- Fresquez, P. R., R. Aguilar, R. E. Francis, E. F. Aldon. 1991. Heavy metal uptake by blue grama growing in a degraded semiarid soil amended with sewage sludge. *Water, Air, and Soil Pollution* 57: 903-912.
- Frost, R. C., H. W. Campbell. 1986. Alternative uses of sewage sludge. In: *Processing and Use of Organic Sludge and Liquid Agricultural Wastes*. Springer, Netherlands, pp. 94-109.
- Fytli, D., A. Zabaniotou. 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12: 116-140.
- García, O. N. 2006. Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia* 1: 51-58.
- Hara, K., T. Mino. 2008. Environmental assessment of sewage sludge recycling options and treatment processes in Tokyo. *Waste Management* 28: 2645-2652.
- Henry, C. L., D. W. Cole, T. M. Hinckley, R. B. Harrison, H. C. 1994. The use of municipal and pulp and paper sludges to increase production in forestry. *Journal of Sustainable Forestry* 1: 41-55.
- Henry, J. G., G. W. Heinke. 1999. *Ingeniería Ambiental*. Pearson Educación. Prentice Hall.
- Íñiguez, G., J. Parra, P. A. Velasco. 2006. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 22: 83-93.
- Limón-Macías, J. G. 2013. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿Problema o Recurso? Fecha de consulta: 15/04/2014, http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf
- Lue-Hing, C., R. I. Pietz, T. C. Granato, J. Gschwind, D.R. Zenz. 1994. Overview of the past 25 years: operator's perspective. *Sewage Sludge: Land Utilization and the Environment*: 7-14.
- Mahamud, M., Gutierrez, A., Sastre, H. 1996. Biosólidos generados en la depuración de aguas I: Planteamiento del problema. *Ingeniería del Agua* 3: 47-62.

- Manahan, S. E. 1990. Hazardous Waste Chemistry, Toxicology, and Treatment. CRC Press.
- Martín-González, L., L. F. Colturato, X. Font, T. Vicent. 2010. Anaerobic co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste with FOG waste from a sewage treatment plant: recovering a wasted methane potential and enhancing the biogas yield. *Waste Management* 30: 1854-1859.
- Moreno, J. I., M.T. Hernández, F. Costa. 1986. Caracterización y fluctuación de parámetros físicos y fisicoquímicos en lodos de depuradoras. *Anales de Edafología y Agrobiología* 45: 697-708.
- Norma Oficial Mexicana. 2002. NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección Ambiental. Lodos y Biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. *Diario Oficial de la Federación* 15.
- Pascual, J. A., C. García, T. Hernandez. 1999. Comparison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality. *Bioresource Technology* 68: 255-264.
- Ramírez, W. A., X. Domene, O. Ortiz, J. M. Alcaniz. 2008. Toxic effects of digested, composted and thermally-dried sewage sludge on three plants. *Bioresource Technology* 99: 7168-7175.
- Remis, R. R., L. G. M. Espinosa. 2011. El potencial de generación de energía eléctrica empleando biosólidos como fuente de materia prima: El caso de la ciudad de Ensenada, Baja California. *Memorias del IV Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Recuperación de Energía a Partir de Residuos*. México, D. F. Del 5 al 7 de octubre, pp. 343-34.
- Roldán, A., J. Albaladejo. 1994. Effect of mycorrhizal inoculation and soil restoration on the growth of *Pinus halepensis* seedlings in a semiarid soil. *Biology and Fertility of Soils* 18: 143-149.
- Salcedo-Pérez, E., A. Vázquez-Alarcón, L. Krishnamurthy, F. Zamora-Natera, E. Hernández-Álvarez, R. Rodríguez Macias. 2007. Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *Interciencia* 32: 115-120.
- Tay, J.H., K.Y. Show. 1997. Resource recovery of sludge as a building and construction material—a future trend in sludge management. *Water Science and Technology* 36: 259-266.
- Terry, R. E., D. W Nelson, L. E. Sommers. 1979. Decomposition of anaerobically digested sewage sludge as affected by soil environmental conditions. *Journal of Environmental Quality* 8: 342-347.
- UN-HABITAT (United Nations Human Settlements Program). 2008. Greater Moncton Sewerage Commission. *Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge, and Biosolids Management: Moving Forward the Sustainable and Welcome Uses of a Global Resource*.
- Vidal, M. M. J., F. P. Fabregat, T. S. Montolio, S. M. Costa. 2010. Valoración del residuo lodo de depuradora como materia prima cerámica. *Memorias del III Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos y II Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólidos*. Brasil. Fecha de consulta: 18/04/2014. Disponible en: <http://www.redisa.uji.es/artSim2010/Gestao/Valoraci%C3%B3n%20del%20residuo%20lodo%20de%20depuradora%20como%20materia%20prima%20cer%C3%A1mica.pdf>
- WEF (Water Environment Federation). Sin año. Fecha de consulta: 18/04/2014, Disponible en: <http://www.wef.org/Biosolids/Default.aspx?id=750>.
- Werther, J., T. Ogada. 1999. Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science* 25: 55-116.
- Wrobel, K., R. Navarro, L. A. Godínez, M. Teutli-León, F. Rodríguez. 2013 Evaluación del proceso de compostaje de lodos estabilizados provenientes de la planta de tratamiento de San Miguel de Allende, en el Centro de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 89-97.

ESTRATEGIAS PARA LA EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES

María del Socorro Morales de Casas, Elizabeth Jacqueline Holguín Calderón

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, 34220.
Correo electrónico: modcams@hotmail.com

RESUMEN

Luego de la publicación del informe Brundtland en 1987 el término sustentabilidad ha adquirido gran importancia en el manejo de recursos naturales, y aun cuando existen múltiples definiciones de dicho concepto, todas están enfocadas hacia la satisfacción de necesidades actuales sin comprometer o mermar los recursos para generaciones futuras. Esto ha impulsado a actores de diversos ámbitos a desarrollar estrategias para evaluar la viabilidad de los sistemas de manejo de recursos, entre ellas se encuentran la elaboración de indicadores, metodologías y marcos de evaluación. Esta revisión pretende mostrar las características generales de cada estrategia.

PALABRAS CLAVE: Sustentabilidad, indicadores, marcos de evaluación

ABSTRACT

After the publication of the Brundtland report in 1987 the term sustainability has become important in the management of natural resources and even when multiple definitions of this concept exist, all are geared towards meeting current needs without compromising or diminishing resources for future generations. This has prompted actors from different fields to develop strategies to assess the viability of the resource management systems, among them are development of indicators, methodologies and assessment frameworks. This review aims to show the characteristics of each strategy.

KEY WORDS: Sustainability, indicators, evaluation frameworks

INTRODUCCIÓN

La presente revisión está enfocada al análisis de las estrategias desarrolladas en los últimos 20 años para evaluar la sustentabilidad en el manejo de recursos naturales. Pues es importante conocer el estado y la eficiencia de los sistemas socioambientales y en su caso proponer y conducir acciones orientadas hacia un manejo más sustentable de los recursos en cuestión. No se busca saber cuál estrategia de evaluación es mejor, sino conocer a grandes rasgos cada una de ellas y observar su modo de aplicación.

El término sustentabilidad ha evolucionado con el paso del tiempo, hasta llegar al concepto moderno que conocemos hoy en día, basado en la premisa de crear sistemas socioecológicos que cumplan con las tres dimensiones del desarrollo sustentable: la económica, la ambiental y la social (Calvente, 2007). Sin embargo, fue hasta la publicación del informe Brundtland "Nuestro futuro común" donde se propone que puede darse un crecimiento económico basado en la expansión y el uso de recursos naturales (ONU, 2014), que ha adquirido gran importancia en cuanto al manejo de recursos naturales en diversas actividades productivas como pueden ser: la agricultura, la silvicultura y minería entre otras.

No obstante al ser la sustentabilidad un concepto complejo, no puede definirse tomando por separado los pilares del desarrollo sustentable, sino más bien como un sistema integrado que explique las interrelaciones entre lo social, ambiental y económico (Astier y González, 2008). Y aun cuando el término ha sido aceptado carece de operatividad ya que resulta difícil pasar de los aspectos filosóficos a la toma de decisiones en cada sistema (Sarandon Santiago, 2009).

SUSTENTABILIDAD

Desde que se dio a conocer la palabra sustentabilidad ha existido un debate al tratar de definirla, ya que es empleada en diferentes contextos desde discursos políticos hasta cuestiones agroecológicas. Se entiende por sustentabilidad la capacidad de asegurar, durante cierto periodo de tiempo los niveles de suficiencia, estabilidad y autonomía alcanzados, donde no se deterioren los recursos naturales, renovables y no renovables, que hagan imposible el sostenimiento de las condiciones deseables del sistema a largo plazo afectando la seguridad de futuras generaciones (FAO, sin año a). Altieri (2000) define la sustentabilidad como "la medida de la habilidad de un agroecosistema para mantener la producción a través del tiempo, en la presencia de repetidas restricciones ecológicas y presiones socioeconómicas". Sustentabilidad también se define como "concepto que resume los esfuerzos para lograr el desarrollo, productividad y utilidad social a largo plazo" (Rigby, 2001).

En 1980 la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza incluyó este concepto, enfocándolo en la protección y preservación de los recursos vivos, sin embargo algunos años después con la creación de la Comisión Mundial del Medio Ambiente, se detectaron problemas ambientales que incluían no solo a los recursos vivos y que debían ser afrontados desde lo regional hasta lo nacional, para este momento ya existían múltiples definiciones de lo que se consideraba sustentable (Macías Cuellar, 2006).

En 1989, John Dixon y Louis Fallon reconocieron tres enfoques de sustentabilidad. El primero hacía referencia al aspecto biofísico de recurso único, el segundo enfoque también era biofísico pero hacia la conjunción de varios recursos, es decir visto como un ecosistema y finalmente el tercer enfoque incluía el aspecto biofísico, ambiental y social (Dixon, 1989). Siendo este último, el más empleado recientemente. Sin embargo, hay quienes incluyen un cuarto elemento a la sustentabilidad, el factor político o institucional y se refiere a “la participación directa de las personas en la toma de decisiones, en la definición de los futuros colectivos y posibles, así como actividades de gestión de los bienes públicos” (Achkar,2005).

“En los últimos 10 años la sustentabilidad se ha establecido como un eje fundamental para el diseño y evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales, desarrollo de nuevas tecnologías, e incluso de políticas” (Astier, 2008).

EVALUACIONES DE SUSTENTABILIDAD

Puesto que los sistemas productivos sustentables buscan ofrecer oportunidades ambientales, económicas y sociales a generaciones presentes y futuras, es necesario modificar el antiguo paradigma de maximizar el rendimiento solo por el hecho de aprovechar los recursos. Y debe mostrar la pauta para equilibrar la productividad y conjuntarla con la equidad social, la viabilidad económica y la conservación de los recursos naturales. Por este motivo es deseable que cualquier acción que se lleve a cabo para evaluar la sustentabilidad, considere como un todo la relación entre la estabilidad productiva y económica, con el entorno sociocultural y ambiental (Astier y Maser, 2000).

Actualmente se tiene la necesidad de desarrollar estrategias que permitan evaluar el comportamiento y la dinámica de los sistemas de manejo de recursos (SMR), con la finalidad de comprender su funcionamiento para inducir acciones que permitan un mejor uso de los recursos que se están evaluando y por lo tanto la transformación gradual de los SMR. Astier y González (2008), categorizó estas estrategias en 3 grupos: indicadores, metodologías y marcos de evaluación.

Indicadores

Los indicadores se pueden definir como medidas en el tiempo, que por medio de variables ofrecen información sobre la tendencia del sistema que se planea estudiar. Los indicadores de sustentabilidad pueden estar formados por una variable o por un grupo de variables que están relacionadas entre sí (Antequera, 2014). El objetivo es proveer una base numérica que permita conocer el impacto generado por distintas actividades sobre el medio ambiente, al ser monitoreados en un periodo de tiempo, estos deben ser capaces de mostrar el progreso del sistema estudiado (Rodríguez, 2002).

La mayoría de los expertos concuerdan en que son por lo menos tres criterios que deben seguirse para el desarrollo de indicadores:

- Importancia política: Para asegurar que los indicadores están dirigidos a temas prioritarios para un país y por medio de la información del indicador para corregir el problema.

- Predecibilidad: Para permitir tener una perspectiva que pueda promover la planificación y la toma de decisiones sobre temas antes de que los problemas sean muy severos, es decir acciones preventivas.

- Mensurabilidad: Para permitir las mediciones a los planificadores y a los analistas y evaluar cómo se derivó el indicador, tanto cualitativa como cuantitativamente y decidir la forma en que puede ser mejor aplicado y en la toma de decisiones (FAO, sin año a).

En la Tabla 1 se muestran algunos indicadores desarrollados por el Comité Científico sobre Protección del Ambiente (SCOPE) (FAO, sin año b), los cuales incluyen las tres dimensiones de la sustentabilidad.

Tabla 1. Matriz de SCOPE de sustentabilidad (FAO, sin año b)

Ambiental	Social	Económico
Índice de los recursos	Índice del desempleo	Crecimiento económico (PIB)
Índice de reservas	Índice de pobreza	Tasa de ahorro
Índice de soporte de la vida	Índice de protección	Balanza de pagos
Índice de impacto	Índice de capital humano	Deuda nacional

Algunos autores consideran que los indicadores están enfocados principalmente a las áreas económico y ambiental y solo un poco al ámbito social, que carecen de una base teórica sólida al momento de seleccionar indicadores específicos y tienen dificultades para discriminar los indicadores relevantes, además algunos han sido diseñados para ser aplicados a escala nacional o macroregional, por lo que resultan inoperantes en el contexto local, es decir, estos no pueden ser adaptados ni aplicados (Taylor, 1993).

METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN BASADAS EN LA DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE SUSTENTABILIDAD

Esta estrategia sintetiza la información de los indicadores en un índice o valor numérico, sin embargo al igual que los indicadores, no ofrece una base sólida para la derivación de indicadores, la selección es más bien arbitraria y la retroalimentación no es lo suficientemente amplia, al ser reducido todo el análisis a valores numéricos (Morse, 2005).

Existe una gran cantidad de índices desarrollados con el paso del tiempo, por ejemplo Harrington en 1992, propuso el índice llamado “productividad total de factores” y este se obtiene partiendo de la relación entre las entradas y salidas ambientales y económicas, en corto y largo plazo; sin embargo, no considera importantes aspectos de tipo social y cultural. Otra de sus limitantes, es al momento de interpretar las externalidades ambientales y asignarles un valor numérico (Maser *et al.*, 2000). Siguiendo esa misma tendencia, Taylor (1993) plantea el índice de sustentabilidad por productor, en función de las estrategias que lleva a cabo cada productor y que pueden afectar en cierta medida la sustentabilidad. Sin embargo no mide la sustentabilidad en sí, más bien la capacidad de adaptación que tienen los productores de adoptar nuevas estrategias, cuando tienen un mismo problema.

A grandes rasgos las metodologías para derivar índices tiene el objetivo de generar valores numéricos, partiendo de información obtenida de variables y reduciéndola a un concepto o valor numérico único.

MARCOS DE EVALUACIÓN

Los marcos de evaluación de sustentabilidad (MES) son propuestas metodológicas flexibles que otorgan la posibilidad de llevar a cabo la evaluación por medio de una serie de pasos o etapas partiendo de un grupo de atributos generales, que muestran la pauta para derivar los criterios e indicadores para la evaluación, pueden aplicarse a distintos sistemas de manejo y adaptarse a diferentes escalas. Son una herramienta que facilitan la tarea de manejar el concepto de sustentabilidad, para pasar de lo teórico del concepto a su aplicación práctica (Von Wirén-Lehr, 2001).

Los principios de cada marco son predefinidos, mientras que los indicadores son específicos y se derivan en función del contexto particular de que se trate. Entre las ventajas que ofrecen los MES se encuentran: “Ofrecer un marco analítico para el estudio y la comparación de sistemas de manejo alternativos sobre una base multidimensional. Permiten priorizar y seleccionar un conjunto de indicadores para el monitoreo de un sistema de manejo. Permiten guiar procesos de planificación y toma de decisiones” (Galván-Miyoshi *et al.*, 2008).

En los últimos 20 años se ha generado un número considerable de marcos de evaluación en los cuales se observan características básicas, con las que cumple la mayoría de los MES: Enfoque, áreas de evaluación, tipo de evaluación, tipo de escala, derivación de indicadores, integración de indicadores, evaluadores y experiencias en estudios de caso (Arnes Prieto, 2011). La Tabla 2 muestra los MES con las características antes mencionadas, para cada caso en particular.

Enfoque

Se pueden observar dos tipos de enfoque en los MES, orientados a objetivos y sistémicos. Los orientados a objetivos se refieren a aspectos generales con los que debe cumplir el sistema de manejo, a su vez los MES sistémicos hacen uso de propiedades o atributos y analizan las relaciones existentes entre ellos.

Áreas de evaluación

Hace referencia al pilar de sustentabilidad en la que se enfocará el estudio, como puede observarse en el cuadro anterior existen MES enfocados solamente a uno o dos aspectos, sin embargo hay que recordar que la sustentabilidad está conformada por las tres áreas (económico, social y ambiental) y para que la evaluación sea realmente completa, es necesario tratar de explicar las interrelaciones de todo el sistema.

Tipo de evaluación

Es importante saber el tipo de evaluación que se va a realizar, algunos MES hacen la evaluación ex ante es decir antes de que implementen medidas alternativas al sistema de manejo. Sin embargo también el tipo de evaluación puede ser ex post, estos son utilizados para realizar un diagnóstico cuando las prácticas alternativas ya han sido aplicadas y así ver la eficiencia de ellas.

Escala de evaluación

Una de las virtudes de los MES es que pueden adaptarse a la escala que se desea evaluar. En este apartado se contemplan tres dimensiones: dimensión espacial, organizacional y temporal, donde la primera se refiere al espacio físico a observar, la segunda trata de las interrelaciones de la comunidad con las instituciones a nivel regional y nacional. Finalmente la temporal corresponde al intervalo de tiempo durante el cual se llevara a cabo la evaluación.

Derivación de indicadores

Es la manera en que se determinara que indicadores son apropiados para realizar la evaluación, se conocen dos maneras de obtener este conjunto:

- De arriba hacia abajo (Top-down): Estos indicadores se obtienen por medio de la consulta de los expertos sobre los problemas que ellos consideran relevantes.
- De abajo hacia arriba (Bottom-up): Se obtienen partiendo de la caracterización del sistema de manejo con la finalidad de detectar los puntos críticos.
- Mixto .

Integración de indicadores

Los indicadores se pueden integrar por medio de índices, representaciones gráficas o modelos, dependiendo del MES empleado, es importante seleccionar el método para integrarlos, ya que se corre el riesgo de dejar la información solo como un valor numérico. Al parecer los modelos son más útiles al momento de explicar los procesos dentro del sistema de manejo. Mientras más factores se incluyan en la evaluación más precisa y completa será.

Evaluadores

Algunos MES en esta etapa incluyen solamente a expertos, sin embargo existe poca retroalimentación, otros en cambio incluyen tanto a expertos como a las personas que están trabajando directamente en el sistema de manejo y se tiene más oportunidad de retroalimentar el análisis, para ello se requiere el empleo de estrategias participativas.

Experiencias en estudios de caso

La aplicabilidad de un MES depende de la flexibilidad para adaptarse a distintos sistemas de manejo y capacidades técnicas. Además algunos están diseñados para un sistema en particular por lo que replicarlos en otro contexto resultaría poco eficiente (Astier y González, 2008).

Luego de observar las características anteriores, es importante al momento de realizar una evaluación y elegir un MES considerar que cumpla con las dimensiones de sustentabilidad con la finalidad de que la evaluación integre y muestre en realidad la relación entre estas dimensiones.

CONSIDERACIONES FINALES

Conforme a la literatura revisada sobre las evaluaciones de sustentabilidad, resulta interesante la cantidad de esfuerzos que se han realizado con el fin de hacer operativo este concepto. Sin embargo de las estrategias antes mencionadas, los marcos de evaluación parecen ser los más completos ya que tratan de entender la dinámica del sistema de manejo. Una breve revisión de los MES: Marco de Evaluación del Manejo Sustentable de Tierras (FESLM) por sus siglas en inglés y el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), ofrece una visión general de cada uno. El FESLM, es un marco enfocado a objetivos y pretende evaluar los efectos que pueda causar cualquier actividad sobre el sistema de manejo, las áreas de evaluación son la económica y ambiental, sin embargo el área social no es muy relevante, lo que puede generar un sesgo en la evaluación, además al momento de definir los indicadores, estos son derivados por los evaluadores externos, lo que representa una limitante y que impide incluir problemas que pudieran ser de mayor importancia para las personas que interactúan directamente dentro del sistema de manejo, finalmente es un marco muy específico en cuanto a la escala, por este motivo la aplicación es más restringida. En contraste el MESMIS, es un marco sistémico que hace uso de atributos, criterios e indicadores y busca las relaciones existentes entre ellos, este marco se enfoca en las tres áreas de la sustentabilidad y la derivación de indicadores se realiza de manera participativa entre los evaluadores externos y los actores sociales del sistema de manejo, además es flexible al tiempo de determinar la escala. Por lo anterior y de acuerdo al libro de Omar Masera "Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS" y comparando las características de los demás MES, resulta una opción que cumple con las características deseadas de los MES, parece ser la mejor opción al evaluar sistemas de manejo de recursos naturales, además de tener una amplia experiencia en estudios de caso.

Tabla 2. Características básicas de los marcos de evaluación de la sustentabilidad (MES)

Marco	Enfoque	Énfasis en las áreas de evaluación	Tipo de evaluación	Tipo de escala	Derivación de Indicadores	Integración	¿Quién evalúa?	Experiencia en estudios de caso
FESLM	Orientado a objetivos	Ambiental Económico	ex-post	Espacial (Parcela-región)	Bottom-up	No se incorpora explícitamente pero es fácil de implementar	Consultor externo Actores locales	Alta
Presión-Estado-Respuesta	Sistémico	Ambiental	ex-post	Institucional (Comunidades-nación)	Bottom-up	Índice agregado	Consultor externo	Alta, poca sistematización
IICA	Sistémico	Ambiental Económico	ex-post	Institucional	Top-down	No integra	Consultor externo	Baja
Stoekie y colaboradores	Orientado a objetivos	Ambiental	ex-post	Espacial (Parcela agrícola)	Bottom-up	Índice agregado	Consultor externo	Baja
PICABUE	Orientado a objetivos	Social	ex-post	Institucional (Comunidad-nación)	Top-down	No integra	Consultor externo Actores sociales	Baja
MARPS	Orientado a objetivos	Ambiental	ex-post	Institucional (Comunidad-nación)	Top-down	Índice agregado	Consultor externo Actores locales	Media, poca sistematización
Lewandowski y colaboradores	Orientado a objetivos	Ambiental	ex-post	Espacial (Parcela agrícola)	Top-down	Índice agregado	Consultor externo	Baja
CIFOR	Orientado a objetivos	Ambiental Económico	ex-post	Espacial (Cientos a miles de ha)	Top-down Bottom-up	No integra	Consultor externo Actores locales	Alta, con sistematización
MESMIS	Sistémico	Ambiental Económico Social	ex-post ex-ante	Institucional	Bottom-up	Gráfica Modelos	Consultor externo Diversos sectores	Muy alta, con sistematización
Evaluación de satisfactores	Sistémico	Ambiental Económico Social	ex-post	Institucional	Bottom-up	Gráfica	Consultor externo Diversos sectores	Media, con sistematización
Manejo de resiliencia	Sistémico	Ambiental Económico Social	ex-ante	Institucional	Bottom-up	Modelos	Consultor externo Diversos sectores	Baja
SEAN	Sistémico	Ambiental Económico	ex-ante	Espacial	Top-down	No integra	Consultor externo	Baja
AMESH	Sistémico	Ambiental Económico Social	ex-ante	Institucional	Bottom-up	Modelos	Consultor externo Diversos sectores	Baja

Fuente (Astier y González, 2008)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achkar, M. 2005. Indicadores de sustentabilidad. Ordenamiento ambiental del territorio. Facultad de Ciencias, Laboratorio de Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental del Territorio, Montevideo.
- Altieri, M. A. 2000. Agroecología: Principios y Estrategias para Diseñar una Agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria. Fecha de consulta 15 de abril de 2014. Recuperado de <http://agroecologiacanaria.blogspot.mx/p/pagina-nueva.html>
- Antequera, J. Y. 2014. Portal sostenibilidad. Fecha de consulta 15 de abril de 2014. Recuperado de http://portalsostenibilidad.upc.edu/detall_01.php?numapartat=6&id=75
- Arnes Prieto, E. 2011. Desarrollo de la metodología de evaluación de sostenibilidad de los campesinos de montaña en San José de Cusmapa (Nicaragua). Fecha de consulta 10 de abril de 2014. Recuperado de http://oa.upm.es/9036/1/TFM._Esperanza_Arn%C3%A9s..pdf
- Astier, M., C. González. 2008. Formulación de indicadores socioambientales para evaluaciones de sustentabilidad de sistemas de manejo complejos. En: Evaluación de Sustentabilidad. Un Enfoque Dinámico y Multidimensional (Coords: Astier, M., O. R. Maserá, Y. Galván-Miyoshi). SEAE-CIGA-ECOSUR-CIEco-UNAM-Mundiprensa-Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. España, pp. 73-94.
- Astier, M., O. Maserá. 2000. Presentación. En: Evaluación de Sustentabilidad. Un Enfoque Dinámico y Multidimensional (Coords: Astier, M., O. R. Maserá, Y. Galván-Miyoshi). SEAE-CIGA-ECOSUR-CIEco-UNAM-Mundiprensa-Fundación Instituto de Agricultura ecológica y Sustentable. España, pp. 9-10.

- Calvente, A. M. 2007. El concepto moderno de sustentabilidad. UAIS. Fecha de consulta 12 de abril de 2014. Recuperado de <http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/sde/uais-sds-100-002%20-%20sustentabilidad.pdf>
- Dixon, J. Y. 1989. The concept of sustainability: origins extensions and usefulness for policy. *Society and Natural Resources* 2: 73-84.
- FAO. Sin año a. de Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. Fecha de consulta 12 de abril de 2014. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/Ah833s06.htm>
- FAO. Sin año b. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fecha de consulta 13 de abril de 2014, recuperado de <http://www.fao.org/DoCREP/004/W4745S/w4745s16.htm>
- Galván-Miyoshi, Y., O. Masera, S. López-Ridaura. 2008. Las evaluaciones de sustentabilidad En: Evaluación de Sustentabilidad. Un Enfoque Dinámico y Multidimensional (Coords: Astier, M., O. R. Masera, Y. Galván-Miyoshi). SEAE-CIGA-ECOSUR-CIEco-UNAM-Mundiprensa-Fundación Instituto de Agricultura ecológica y Sustentable. España, pp. 41-58.
- Macías Cuellar, H. O. 2006. Los estudios de sustentabilidad. *Ciencias* 81: 20-31.
- Masera, O., M. Astier, S. López-Ridaura, Y. Galván-Miyoshi, T. Ortiz-Ávila, L. E. García-Barrios, R. García-Barrios, C. González, E. Speelman. 2000. El proyecto de evaluación de sustentabilidad MESMIS. En: Evaluación de Sustentabilidad. Un Enfoque Dinámico y Multidimensional (Coords: Astier, M., O. R. Masera, Y. Galván-Miyoshi). SEAE-CIGA-ECOSUR-CIEco-UNAM-Mundiprensa-Fundación Instituto de Agricultura ecológica y Sustentable. España, pp. 13-24.
- Morse, S. 2005. Making Dirty Nations Look Clean? The Nation State and the Problem of Selecting. *Geoforum* 36: 625-640.
- Rodríguez, S., C. 2002. Diseño de indicadores de sustentabilidad por cuencas hidrográficas. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC. Fecha de consulta 7 de abril de 2014. Recuperado de http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/ind_sust.pdf
- ONU. 2014. UN Documents. Fecha de consulta 7 de abril de 2014. Recuperado de <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm>
- Rigby, D. Y. 2001. Organic farming and the sustainability of agricultural systems. *Agricultural Systems* 68: 21-40.
- Sarandón Santiago, J. C. C. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología* 4: 19-28.
- Taylor, D. E. 1993. Creating a farmer sustainability index: a Malaysian case study. *American Journal of Alternative Agriculture* 8: 75-84.
- Von Wirén-Lehr, S. 2001. Sustainability in agriculture: an evaluation of principal goal oriented concepts to close the gap between theory and practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 84: 115-129.



HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS: UNA REVISIÓN

José Israel Martínez Rivera, Miguel Ángel Soto Cárdenas, Alejandro Fabián Orona Meza,
Pavel Francisco Espino Chairez, Ignacio Fierro Villanueva.

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional
Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, México, 34220
Tel/Fax: 618 8142091
Correo electrónico: lapaz_isra@hotmail.com

RESUMEN

El presente trabajo aborda el tema de la contaminación atmosférica enfocada en los contaminantes denominados Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos dando una visión general de cómo éstos afectan la salud humana, algunos métodos usados para su detección y monitoreo, así como legislación referente a ellos en México.

PALABRAS CLAVE: HAPS, biomarcadores, partículas

ABSTRACT.

The present work deals with the issue of air pollution focused on pollutants called Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by giving an overview of how these affect human health, some methods used for their detection and monitoring, as well as the legislation relating to them in Mexico.

KEY WORDS: PAHs, biomarkers, particles

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica se da cuando se altera la concentración o constitución de su composición, cambiando sus propiedades tanto físicas como químicas, teniendo como consecuencia efectos adversos en el hombre, los animales, la vegetación y los materiales (Enger y Smith, 2006).

De acuerdo a Manahan (2007), la contaminación se puede clasificar con base en su alcance, en:

- Contaminación del aire en interiores: un ejemplo son las cocinas que usan leña o madera y tiene poca ventilación.
- Contaminación local: causada por las emisiones a la atmosfera de una ciudad determinada.
- Contaminación regional: se da en una escala de algunos kilómetros cuadrados.
- Contaminación global: es donde los efectos de esta contaminación tienen consecuencias a nivel global, la destrucción de la

capa de ozono es un ejemplo de ella.

Según la World Health Organization Regional Office for Europe Copenhagen (2000) los contaminantes atmosféricos se clasifican de la siguiente manera, se incluyen algunos ejemplos:

- Contaminantes orgánicos del aire
 - 1.Acetonitrilo
 - 2.Benceno
 - 3.Hidrocarburo aromáticos policíclicos
 - 4.Monóxido de carbono
- Contaminantes inorgánicos del aire
 - 1.Arsénico
 - 2.Asbestos
 - 3.Cadmio
 - 4.Mercurio
- Contaminantes clásicos del aire
 - 1.Dióxido de nitrógeno
 - 2.Material particulado
 - 3.Ozono
- Contaminantes de interiores del aire
 - 1.Humo de tabaco del ambiente
 - 2.Radón
 - 3.Fibra de vidrio

Dentro de los contaminantes clasificados como orgánicos encontramos los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) que son de especial preocupación para la salud humana, debido a que son persistentes y omnipresentes en el ambiente y tienen propiedades carcinogénicas (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 1995).

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPS)

Los HAPs son químicos orgánicos que consisten en dos o más anillos de benceno fusionados (Barra *et al.*, 2006). Estos surgen como productos secundarios durante los procesos de pirólisis. Químicamente pueden describirse como sólidos cristalinos de color blanco-amarillento, tienen una solubilidad en agua casi nula, pero son fácilmente disueltos en petróleos y grasas (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente-Gobierno de España, 2012).

La gran mayoría de los HAPs con bajas presiones de vapor forman o son adsorbidos en partículas del orden de micrómetros de diámetro. Dependiendo de la situación los HAPs pueden ser foto descompuestos por efecto de la radiación solar. Los HAPs pueden reaccionar en la atmósfera con otros elementos o contaminantes tales como el ozono, óxidos de nitrógeno y dióxido de sulfuro, formando compuestos como los di nitro-HAPs (World Health Organization Regional Office for Europe Copenhagen, 2000).

FUENTES DE HAPS

Los HAPs se forman por la combustión incompleta de materia orgánica, esto incluye el petróleo y sus derivados, principalmente las gasolinas. Debido a esto, son fuentes de estos compuestos, los barcos, automóviles, aviones, termoeléctricas, incineradoras, calefacciones, incendios forestales, volcanes, humo del tabaco, alimentos ahumados tales como barbacoa o parrilladas. Dependiendo de las condiciones en que ocurra la combustión será la cantidad de compuestos que se generen. Entre más humo negro genere la combustión, mayor cantidad de estos hidrocarburos se tendrán (Vives *et al.*, 2001). Una vez liberados se unen a partículas en el aire y se esparcen por todo el medio ambiente. Más del 80% de los HAPs son encontrados en las PM_{2.5} (partículas menores de 2.5 μ) (Human Biomonitoring Commission of the German Federal Environmental Agency, 2005).

Dentro del material particulado, las partículas suspendidas de un diámetro menor o igual a 10 μ m (PM₁₀) pueden ser consideradas "respirables", esto de acuerdo con su capacidad de adentrarse en las vías respiratorias. Entre más pequeñas sean estas partículas más profundo llegan en el árbol respiratorio donde se depositan en los alveolos para posteriormente ser transportadas a otros órganos (Pope *et al.*, 2002).

HAPS EN EL CUERPO HUMANO

Como ya se mencionó los HAPs se condensan o absorben a material particulado muy fino y es aquí cuando pueden ingresar al cuerpo vía inhalatoria. Distintas agencias de salud y protección al medio ambiente han evaluado el daño a la salud que está asociado a la exposición a HAPs (Castano-Vinyals *et al.*, 2004), las más importantes son:

- Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (International Agency for Research on Cancer)
- Agencia de Protección al Ambiente (Environmental Protection Agency)
- Programa Nacional de Toxicología (National Toxicological Program)
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro Enfermedades (Agency for Toxic Substances and Disease Registry).

Una vez que los HAPs ingresan al cuerpo a través de los pulmones, pueden penetrar hasta las células del epitelio bronquial donde el metabolismo toma lugar. Para cada compuesto se requiere una respectiva activación metabólica y conversión en el correspondiente metabolito carcinogénico que es responsable de la alquilación del ADN y de la iniciación del mecanismo asociado a las reacciones que derivan en cáncer (Central Pollution Control Board "Parivesh Bhawan", 2003).

Según Calderón-Segura *et al.* (2004) diversos estudios seguían demostrando que este tipo de compuestos pueden interactuar con las cadenas de ADN provocando errores en la mitosis e incluso muerte celular. Numerosos estudios han indicado que el incremento a la exposición a partículas atmosféricas puede provocar un aumento en la morbilidad y la mortalidad del hombre (Katsouyanni *et al.*, 1996).

MONITOREO AMBIENTAL DE HAPS

No existe equipo que directamente brinde lecturas de HAPs en el ambiente, debido a esto, para un monitoreo ambiental se deben analizar muestras de material particulado que debe ser hecha por algún equipo especializado. En México existe la norma NOM-025-SEMARNART-1993 que establece como método de referencia el uso de muestreadores de alto flujo de aire, cuyo principio es hacer pasar aire a través de un filtro y retener material particulado, estos equipos puede variar su diseño de uno a otro para diferentes tamaños de partículas. Una vez que se obtiene el filtro con material particulado se puede usar para determinar la cantidad de HAPs en ellos.

MONITOREO BIOLÓGICO

Para poder determinar la exposición de personas a los HAPs, se usa el monitoreo biológico directo, tomando como base los biomarcadores o marcadores biológicos. Un marcador biológico es una característica que es susceptible de medirse objetivamente y puede evaluarse como indicador de procesos patogénicos, biológicamente normales o de respuestas a alguna intervención esto de acuerdo con la FDA. Según la academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, los marcadores biológicos se pueden clasificar en:

Biomarcador de Exposición: Sustancia, metabolito o el producto de reacciones entre una entidad ajena al organismo y alguna parte del organismo de destino, que se contabiliza en el organismo en cuestión.

Biomarcador de Efectos: Modificación bioquímica, fisiológica o que sea medible dentro del organismo y que conforme a su grado de magnitud, puede ser considerada como un trastorno a la salud o enfermedad.

Biomarcador de Susceptibilidad: Indica la limitación de la capacidad de un organismo para reaccionar ante una exposición a una sustancia xenobiotica (Chort, 2006).

Existen tres biomarcadores muy usados para determinar la exposición hacia HAPs, que son:

1- Hidroxipireno: fue identificado por primera vez como metabolito del pireno en orina de cerdos (Keimig *et al.*, 1983). Después, Jongeneelen *et al.* (1985) fueron pioneros en su uso como biomarcador de la exposición hacia HAPs midiéndolo igualmente en orina. Desde entonces se ha mantenido como un óptimo referente para la exposición a este tipo de compuestos (Jacob y Seidel, 2002). Una de sus virtudes es que puede ser encontrado incluso en personas aparentemente no expuestas, que presentan niveles muy bajos (Strickland y Kang, 1999).

2- Aductos de ADN-HAPs: Son bases de ADN modificadas con HAPs en su estructura y por tanto potencialmente peligrosas (Repetto y Repetto, 2009). Pueden medirse en la sangre y tejidos tanto de animales como de humanos, indicando exposición hacia HAPs o mezclas de estos (Chou *et al.*, 1993).

3- Evaluación de la mutación de linfocitos de la sangre periférica: esta evaluación busca aberraciones cromosomales e intercambios en la cromatina de linfocitos de la sangre, si se encuentran este tipo de mutaciones, se infiere exposición hacia HAPs (United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1995).

Estos tres métodos indican exposición hacia una mezcla de HAPs, siendo la medición del radical -OH el más usado por su sencillez, cuando la colección de sangre es inaceptable (Strickland y Kang, 1999).

LEGISLACIÓN DE HAPS ATMOSFÉRICOS EN MÉXICO

En México no existe una legislación para este tipo de compuestos; sin embargo, debido a que las partículas suspendidas tienden a contenerlos, se pueden considerar las siguientes como un tipo de legislación:

1- La normatividad de esos compuestos y sus límites permisibles fue establecida el 23 de diciembre del 1994 con la NOM-025-SSA1-1993 publicada en el diario oficial de la federación; fue modificada y sustituida el 26 de septiembre del 2005 por la NOM-025-SSA1-2005 publicada en el Diario Oficial de la Federación. Esta última establece los límites que se mencionan a continuación:

Partículas Suspendidas Totales (PST):

·210 µg/m³ promedio de 24 horas.

Partículas menores a 10 micrómetros (PM):

·120 µg/m³ promedio de 24 horas.

·50 µg/m³ promedio anual.

Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5})

·65 µg/m³ promedio de 24 horas.

·15 µg/m³ promedio anual.

Son esos los límites que en que deben de mantenerse esos contaminantes; sin embargo, las condiciones de cada población son únicas, por ello los límites establecidos siguen siendo fuente de controversia.

CONSIDERACIONES FINALES

Los diferentes contaminantes que existen en el ambiente son fuente de enfermedades, entre ellos los HAPs son de especial atención dados sus efectos a largo plazo. El uso de monitoreos ambientales y biológicos sirve para determinar si la salud de la población está en riesgo o no, es por ello que el desarrollo de nuevas formas de monitoreo es de mucho interés. Ante las condiciones actuales es imperante que se desarrollen más investigaciones con el objetivo de asegurar la salud integral de las personas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 1995. *Reseña toxicológica de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)*. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos, Servicio de Salud Pública. Atlanta, GA.
- Barra, R., P. Popp, R. Quiroz, H. C. Treutler, A. Araneda, C. Bauer, R. Urrutia. 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons fluxes during the past 50 years observed in dated sediment cores from Andean mountain lakes in central south Chile. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 63: 52-60.
- Castano-Vinyals, G., A. D' Errico, N. Malats, M. Kogevinas. 2004. Biomarkers of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons from environmental air pollution. *Occupational & Environmental Medicine* 61: e12.
- Calderón-Segura, M. E., S. Gómez-Arroyo, R. Villalobos-Petrini, F. M Butterworth, O. Amador-Muñoz. 2004. The effects of seasonal weather on the genotoxicity, cytokinetic properties, cytotoxicity and organochemical content of extracts of airborne particulates in Mexico City. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 558: 7-17.
- Central Pollution Control Board "Parivesh Bhawan". 2003. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Air and Their Effects on Human Health*. Chandu Press. New Delhi.
- Chort, S. 2006. *Marcadores Biologicos. Referencias y Perspectivas*. <http://www.eps-salud.com.ar/marcadores-biologicos.htm>. Consultado julio 2013.
- Chou, M. W., J. Kong, K. T. Chung, R. W. Hart. 1993. Effect of caloric restriction on the metabolic activation of xenobiotics. *Mutation Research* 295: 223-235.
- Enger, E. D., B. F. Smith. 2006. *Environmental Science: A Study of Interrelationships*. McGraw-Hill. New York.
- Human Biomonitoring Commission of the German Federal Environmental Agency. 2005. 1-hydroxypyrene in urine as an indicator of interna exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)-reference value for 1-hydroxypyrene in urine. *Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz* 48: 1194-1206.
- Jacob, J., A. Seidel. 2002. Biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in human urine. *Journal of Chromatography B* 778: 31-47.
- Jongeneelen, F. J., R. B. Anzion, C. M. Leijdekkers, R. P. Bos, P. T. Henderson. 1985. 1-hydroxypyrene in human urine after exposure to coal tar and a coal tar derived product. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 57: 47-55.
- Katsouyanni, K., J. Schwartz, C. Spix, G. Touloumi, D. Zmirou, A. Zanobetti, B. Wojtyniak, J. M. Vonk, A. Tobias, A. Pönkä, S. Medina, L. Bachárová, H. R. Anderson. 1996. Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol. *Journal of Epidemiology and Community Health* 50: 12-18.
- Keimig, S. D., K. W. Kirby, D. P. Morgan, J. E. Keiser, T. D. Hubert. 1983. Identification of 1-hydroxypyrene as a major metabolite of pyrene in pig urine. *Xenobiotica* 13: 415-420.
- Manahan, S. E. 2007. *Introducción a la Química Ambiental*. Reverte. México, D.F.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente-Gobierno de España. 2012. *Hidrocarburos Aromaticos Policiclicos*. <http://www.prtr-es.es/Hidrocarburos-Aromaticos-Policiclicos-705112007.html>. Consultado en junio 2013.
- Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993. *Criterios para evaluar la calidad del aire "Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM10 y partículas menores de 2.5 micrómetros PM2.5 de la calidad del aire ambiente"*. Diario Oficial de la Federación. Consultado 18 de agosto de 1994.
- Pope, I. C., R. T. Burnett, M. J. Thun, E. E. Calle, D. Krewski, K. Ito, G. D. Thurston. 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medicinal Association* 287: 1132-1141.
- Repetto J., K. M. G. Repetto. 2009. *Toxicología Fundamental*. Díaz de Santos. Madrid.
- Strickland, P., D. H. Kang. 1999. Urinary 1-hydroxypyrene and other PAH metabolites as biomarkers of exposure to environmental PAH in air particulate matter. *Toxicology Letters* 108: 191-199.
- United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1995. *Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons*. U. S. Department of Health and Human Services. Atlanta, GA.
- Vives, I., J. O. Grimalt, R. Guitart. 2001. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos y la salud humana. *Apuntes de Ciencia y Tecnología* 3: 45-51.
- World Health Organization Regional Office for Europe Copenhagen. 2000. *Air Quality Guidelines for Europe*. WHO Regional Publications. European Series 91. Copenhagen.

MÉTODO DE LIMPIEZA CLEAN IN PLACE (CIP), PARTE IMPORTANTE DE LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (P+L) EN UNA INDUSTRIA LÁCTEA

Mayra Isabel Morales Rodríguez, Dolores Beatriz Sosa Hernández, María Elena Pérez López

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional.
 Calle Sigma No. 119. Fracc. 20 de Noviembre II. C.P. 34220. Durango, Dgo. Tel. /Fax: (618) 8142091.
 Correo electrónico: isa_sl5250605otmail.com

RESUMEN

En la industria, la condición de sostenibilidad implica el uso de tecnologías más limpias que minimicen los desperdicios y diseños ambientales de productos que permitan su reproceso; este concepto es conocido como producción más limpia (P+L). La industria láctea es una de las mayores generadoras de aguas residuales, principalmente durante las operaciones de limpieza, operación prioritaria en atención si lo que se desea es seguir una línea de P+L. De este modo, y como una herramienta básica de la P+L, se cuenta con el sistema CIP (limpieza en el sitio, por sus siglas en inglés Clean in Place). Este método fue desarrollado en los 50's como alternativa a la limpieza manual, inicialmente en la industria láctea; consiste en hacer circular soluciones químicas (usualmente NaOH, HNO₃ y sales de amonio cuaternario) y agua por medios mecánicos sobre superficies internas a limpiar. Suele ser recomendable debido a que reduce tiempos de limpieza, costos energéticos, mano de obra; además que aumenta la seguridad del encargado al no requerir que éste ingrese al equipo. Su implementación requiere una inversión inicial significativa; sin embargo, ésta se recupera en el mediano plazo debido a los ahorros que conlleva el desarrollo de este sistema (89% aproximadamente). Es así que este sistema de limpieza representa un eslabón importante en la línea de P+L para cualquier industria, generándole principalmente beneficios económicos, ambientales y operativos. Este estudio presenta una revisión de las generalidades del sistema de limpieza CIP, incluyendo ventajas y desventajas en su implementación.

PALABRAS CLAVE: Producción más limpia, limpieza, sistema Clean In Place, industria láctea

ABSTRACT

In industry, the sustainability condition involves the use of cleaner technologies that minimize waste and environmental designs products that allow their reprocessing; this concept is known as cleaner production (CP). The dairy industry is one of the largest generators of waste water, mainly during cleaning operation, operation priority attention if what is wanted is to follow a line of C + P. Thus, as a basic tool for the C + P, it has the CIP (cleaning in place).

This method was developed in the 50's as an alternative to manual cleaning, initially in the dairy industry; it consists of circulating chemical solutions (usually NaOH, HNO₃ and quaternary ammonium salts) and water by mechanical means on internal surfaces to clean. It is often recommended because it reduces cleaning time, energy costs, labor; also increases security for who is in charge by not requiring he enters the computer. Its implementation requires a significant initial investment; however, it is recovered in the medium term due to the savings associated with the development of this system (about 89 %). Thus, this cleaning system represents an important link in the line P+L for any industry; generating mainly economic, environmental and operational benefits. This study presents an overview of the general system of CIP, including advantages and disadvantages in implementation.

KEY WORDS: Cleaner production, clean, clean In Place system, dairy industry

INTRODUCCIÓN

El impacto que las industrias tienen sobre el ambiente y los recursos naturales ha sido considerable, no sólo como resultado del crecimiento de la producción, sino también gracias a que dicho crecimiento se concentró en sectores de alto impacto ambiental. Algunos impactos ambientales representativos son: el elevado consumo de materias primas, las necesidades de energía para su transformación o transporte, la generación de residuos sólidos, gaseosos y/o líquidos, así como impactos visuales. Si bien estas actividades industriales contribuyen a la generación de riqueza del país, evidentemente originan un deterioro, a menudo irreversible, del medio natural afectando recursos como suelo, aire, agua, energía, entre otros (Instituto Nacional de Ecología, 1997).

La producción más limpia (P+L) es uno de los medios por los cuales se ha buscado proteger al ambiente; se define como la "aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada aplicada a procesos, productos y servicios para mejorar la eco-eficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el ambiente" (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 1994); está enfocada a prevenir emisiones nocivas desde la fuente de generación dentro de un proceso productivo. Su objetivo es aumentar la productividad y la calidad del producto, así como mejorar los procesos productivos y de servicio, generando una disminución de costos mediante la adecuada utilización de materia prima, agua y energía (Herrera Reyes *et al*, 2001)

El agua consumida depende del tamaño de la empresa, los procesos de producción existentes, el tipo de equipo, la facilidad para limpiarlos, el tipo de producción y las prácticas de manufactura del personal. Debido al alto consumo de agua para estas actividades, la empresa debe buscar la optimización en su uso, obteniendo beneficios como la generación de ahorros y minimización del impacto ambiental al implementar acciones de P+L (Austin, 1998).

Dentro de la industria láctea, el agua es utilizada principalmente para operaciones de limpieza de equipo, instrumentos y áreas de trabajo, con el objetivo de mantener las condiciones higiénicas de los mismos y del producto, lo cual hace a ésta industria una de las mayores generadoras de aguas residuales (Bylund, 2003).

En toda industria, las operaciones de limpieza de equipos e instalaciones deben ser minuciosas y frecuentes, debiendo asegurar los niveles de higiene mínimos exigibles (Cáceres, 2012) y la minimización del riesgo de contaminación de los productos. Particularmente en la industria láctea, la limpieza es muy difícil, ya que la suciedad se debe a la suma de lípidos, glúcidos, proteínas, incrustaciones minerales y microorganismos, por lo cual su efectividad se logra por medio de procesos de limpieza y desinfección mecanizados y automatizados (Cheftel *et al.*, 1992).

En la industria láctea, el agua que se usa en la limpieza puede llegar a ser el 50 - 90% del consumo total de éste recurso. Optimizar el uso del agua y de los químicos de limpieza puede significar una reducción de los costos sin comprometer la eficiencia de la limpieza. Para asegurar que el consumo de agua está siendo optimizado durante la operación de limpieza, es preciso contar con sistemas ahorradores (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 1994). De este modo, y como una herramienta básica de la P+L, se cuenta como opción el sistema de limpieza CIP (limpieza en el sitio, por sus siglas en inglés Clean In Place), el cual es ampliamente utilizado dentro de la industria alimentaria (Álvarez *et al.*, 2009). Este sistema consiste básicamente en la inyección a presión o aspersion de las superficies a limpiar de soluciones de limpieza (Romney, 1990); más específicamente, consiste en hacer circular soluciones químicas y enjuagues de agua por medios mecánicos dentro y sobre las superficies a limpiar durante esta operación (Álvarez *et al.*, 2009).

LOS INICIOS DEL SISTEMA DE LIMPIEZA CIP

Varias décadas atrás el concepto del sistema CIP era aún desconocido. En todas las industrias se realizaba manualmente la limpieza del equipo, y este método fue universalmente aceptado como la mejor manera de conseguir estándares aceptables en esquemas de limpieza (Romney, 1990). Sin embargo, se reportaron algunas desventajas para la limpieza manual, tales como:

- Tiempo de limpieza excesivo.
- Estándares del esquema de limpieza alcanzados bajos y no confiables.
- Altos costos energético y químico, así como de mano de obra.
- Desarrollo limitado de nuevos procesos e ideas, debido a la necesidad de la limpieza manual.

En la década de los 50's, la industria láctea fue la pionera del concepto de sistema de limpieza CIP, un nombre usado para expresar más que nada que las tuberías no tendrían más la necesidad de ser desarmadas para su limpieza. La industria láctea inició con la limpieza por asperjado de los silos de leche. Esto fue adoptado en todas las industrias donde la desinfección se tornaba importante. De este modo, el CIP fue desarrollado inicialmente como un proceso manual para lograr una limpieza efectiva en las superficies de las plantas industriales. Aunque inicialmente se desarrolló para limpieza en plantas manufactureras de alimentos, como respuesta a la necesidad de contar con una limpieza de sus equipos de producción frecuente, rápida y consistente; actualmente es ampliamente utilizado en la limpieza de todo tipo de equipo de la industria alimentaria y farmacéutica (Robinson, 1999).

Hoy día el CIP es usado globalmente como un estándar de limpieza (Álvarez *et al.*, 2009; Belmar-Beiny y Frey, 1993). Los métodos automatizados utilizados en un sistema CIP son una parte esencial de la higiene en procesos a gran escala, los cuales requieren ciclos de limpieza efectivos en forma y tiempo (Robinson, 1999). Algunos equipos que pueden ser fácilmente limpiados por el sistema CIP son las máquinas procesadoras de sólidos, por ejemplo las usadas en las fermentaciones en estado sólido; secadores de aspersion, centrifugas, evaporadores, columnas de cromatografía, módulos de filtración por membrana, tinas doble O en el caso de la industria láctea (Romney, 1990).

SISTEMA CIP

En los procesos de producción alimentarios y farmacéuticos es vital contar con un estándar satisfactorio de higiene, y para esto la limpieza es un componente esencial. Ese tipo de industrias utilizan para esta operación el sistema CIP, para lo cual no se requiere el desarmado del equipo durante la limpieza interna (Hui *et al.*, 2002).

Un sistema CIP consiste en un conjunto de tuberías para la distribución y recirculación de agentes de limpieza, tanques y almacenes para las soluciones de limpieza, intercambiadores de calor, cabezas de aspersion, dispositivos de administración de flujo (bombas de suministro y reflujó, válvulas, sensores y medidores, dispositivos de grabación) y una unidad de control programable, así como algunos otros implementos (Goldberg, 1997). Puede ser semi-automático o completamente automático; el grado de automatización depende del número de piezas del equipo y maquinaria así como de la disponibilidad del diseño de la planta para adaptarse a este sistema de limpieza (Hui *et al.*, 2002).

Durante la operación del sistema CIP, varios líquidos de limpieza y sanitizantes son puestos en contacto con las partes a limpiar. La limpieza puede ser realizada ya sea mediante sustancias alcalinas, o de algunos agentes de limpieza que pueden recircularse para reducir el consumo de agua, químicos y energía (Robinson, 1999).

AGENTES QUÍMICOS NECESARIOS EN EL SISTEMA CIP

Un buen funcionamiento del CIP depende sustancialmente de la acción de agentes químicos sobre la suciedad; por lo tanto, una apropiada selección de agentes de limpieza es esencial. La suciedad compuesta principalmente por carbohidratos y proteínas es fácilmente removida por acción de una sustancia alcalina. Las grasas y aceites son insolubles en agua y podrían proteger otro tipo de suciedad de naturaleza distinta. Las grasas son fundidas por acción de calor y efectivamente solubilizadas por álcalis. El polifosfato emulsifica grasas y aceites, y por tanto incrementa la velocidad de la digestión alcalina. Los depósitos de minerales son producidos cuando el agua dura es calentada. De una manera similar, el calcio contenido forma incrustaciones cuando la leche es calentada por ejemplo. Tales incrustaciones resultan ser alcalinas pero son disueltas y retiradas por acción de una sustancia ácida (Robinson, 1999).

Los limpiadores alcalinos son útiles especialmente en la digestión de los componentes orgánicos. El hidróxido de sodio es el limpiador alcalino comúnmente usado; típicamente en concentraciones de 0.15 a 0.5% y a una temperatura de 75-80 °C (15-30 minutos), pero en superficies de intercambio de calor con incrustaciones de proteína por lo regular requieren tratarse con hidróxido de sodio en concentraciones del 1 al 5%. Debido a que el hidróxido de sodio es altamente corrosivo y difícil de enjuagar, silicatos y agentes humectantes son añadidos para evitar la corrosión y mejorar el enjuagado. Las sustancias alcalinas a utilizar podrían complementarse con hipoclorito de sodio (30-100 ppm) para mejorar significativamente la capacidad de remoción de residuos de proteína y grasa. Los daños al acero inoxidable normalmente están asociados con el uso de cloro, el cual es insignificante en el ambiente alcalino con las concentraciones de hipoclorito señaladas; sin embargo, a pH alcalino, el cloro no tiene efecto biocida. La cantidad de varios aditivos, por ejemplo el metasilicato de sodio inhibidor de la corrosión, tripolifosfato de sodio como agente encapsulante o suavizante, agentes humectantes, y otros, a utilizar en un cierto volumen de agua está determinada por la dureza del agua que ha de usarse para la limpieza (Tamime, 2009).

El ácido neutraliza los residuos de álcali y remueve incrustaciones de minerales tales como residuos de aguas duras, leche, cerveza y oxalato de calcio. Los limpiadores ácidos contienen una concentración de ácido alrededor de 0.5%. Las formulaciones pueden tener ácido fosfórico o ácido nítrico, sin embargo, debido a que los ácidos minerales son extremadamente corrosivos al acero, se utilizan ácidos orgánicos (por ejemplo láctico, glucónico, glicónico) como limpiadores prioritarios (Goldberg, 1997).

Algunos agentes humectantes (surfactantes) usados en las etapas de lavado (alcalina y ácida) del sistema CIP deben ser antiespumantes para que puedan ser incluidos en la formulación. Típicamente, una formulación de limpieza tiene aproximadamente 0.15% de agentes humectantes. Los agentes humectantes a utilizar en la limpieza dependerá de la naturaleza y compatibilidad de éstos (aniónicos, catiónicos o no iónicos). Los agentes no iónicos son especialmente usados debido a que son poco espumantes (Robinson, 1999).

Otra etapa del sistema CIP, implica la utilización de agentes sanitizantes. Para esto, una solución de sales de amonio cuaternario (QATs) es usualmente usada a concentraciones aproximadas a las 200 ppm. Los QATs son agentes humectantes catiónicos con buenas propiedades bactericidas, especialmente contra microorganismos Gram-positivos; son menos efectivos contra microbios Gram-negativos tales como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* Los QATs son incompatibles con algunos minerales y partículas de suciedad, por lo tanto son usados en etapas finales del tratamiento cuando toda la suciedad ha sido removida. Otro agente desinfectante muy útil son las biguanidas y el ácido peroxiacético. El ácido peroxiacético no debe ser usado en aguas que contengan cloro en exceso, o esto podría generar corrosión del equipo de acero inoxidable. Un lavado con sustancias sanitizantes es esencial dentro de la industria alimentaria, especialmente cuando los equipos utilizados cuentan con pocos dispositivos de aseado tales como válvulas de mariposa y bola, y otras máquinas que no están destinadas para un proceso estéril a fondo (Stanga, 2010).

SECUENCIA TÍPICA DE LIMPIEZA CIP

La operación de limpieza de maquinaria y equipo dentro de una industria, mediante el sistema CIP, inicia con un pre-enjuague de 5 o 6 minutos. Para eliminar bacterias, levaduras y células animales en reactores; con frecuencia unos 2 minutos de pre-enjuague son suficientes. Usualmente, el pre-enjuague se realiza a temperatura ambiente, o a menos de 45°C; debe ser de un solo paso sin recirculación; esto asegura que la suciedad removida no se recirculará más adelante a través del sistema CIP, y así se reduce la contaminación potencial cruzada. En las instalaciones de procesamiento de alimentos, es muy común reutilizar las aguas de lavado para realizar pre-enjuagues durante el desarrollo de siguientes ciclos de limpieza CIP, lo cual genera ahorro de tiempo y agua. El re-uso de agua de enjuagues intermedios y el enjuague final de limpiezas CIP previas, en ciclos de pre-enjuague de la siguiente limpieza CIP debe evitarse si se tienen problemas de contaminación cruzada (Robinson, 1999).

La etapa de recirculación con un álcali o detergente alcalino es la primera etapa de limpieza en el sistema CIP; durante ésta la suciedad es desprendida de las superficies a limpiar y pasa a ser suspendida o disuelta en la solución alcalina. Para la selección de la sustancia alcalina a utilizar es importante considerar la habilidad de ésta para prevenir que la suciedad suspendida o disuelta en la solución vuelva a depositarse en las superficies a limpiar. El tiempo de recirculación varía de 15 minutos a una hora; sin embargo a menudo estos tiempos pueden ser reducidos potencialmente con la ayuda de temperaturas más altas, concentraciones de detergente más altas, o con el uso de detergentes altamente específicos para la suciedad a retirar (Tamime, 2009).

Un posterior enjuague con agua a esta etapa de ataque alcalino, sirve para remover todos los residuos del álcali y suciedad desprendidos de la superficie pero que aún permanezcan suspendidos. Este enjuague intermedio a menudo se realiza con agua potable (Tamime, 2009).

La siguiente etapa del sistema CIP consiste en la recirculación de ácido en las superficies a limpiar, con el objetivo de reforzar la limpieza comenzada con el ataque alcalino a las superficies. Esto ocurre con frecuencia en equipos donde los niveles de residuos de suciedad e incrustaciones a retirar son más elevados, tal como en intercambiadores de calor y tinas usadas en la industria láctea. Esta etapa de lavado ácido, es opcional; ya que si se utilizó una sustancia alcalina potente, esta etapa resulta innecesaria en la mayoría de los casos (Rojas Arrieta, 2008).

Enseguida, un segundo enjuague se realiza con el objetivo de eliminar residuos de la sustancia ácida utilizada en la etapa anterior. Este segundo enjuague casi siempre se realiza con agua potable fría. La calidad de esta agua es crítica, especialmente si no se realizará una etapa posterior de desinfección. Algunas industrias donde no se realiza una etapa de desinfección en el ciclo de limpieza CIP, por lo regular se encargan de asegurar la calidad de su agua potable mediante su tratamiento con dióxido de cloro (Rojas Arrieta, 2008).

Durante el sistema CIP, la siguiente etapa consiste en el lavado con sanitizante; lo cual es muy útil en procesos de la industria alimentaria. El uso de sanitizantes podría sustituirse con el uso de agua caliente; sin embargo, esta opción podría no ser la más recomendable ya que a pesar que esto resulta ser muy efectivo, se requiere de una planta de alta energía térmica, misma que puede aumentar los costos de la implementación del sistema CIP, además de las repercusiones ambientales de generar aguas residuales con altas temperaturas (Peña Londoño, 2009).

Un enjuague final puede realizarse usando agua potable fría. Al igual que el enjuague previo, la calidad de esta agua es crítica, ya que esto puede implicar una contaminación del equipo posterior a la etapa de desinfección, así como productos dañados (Peña Londoño, 2009).

Una secuencia típica de limpieza CIP en las plantas industriales procesadoras de alimentos implica diferentes etapas, y se muestra en la Figura 1) (Harrington, 2001).

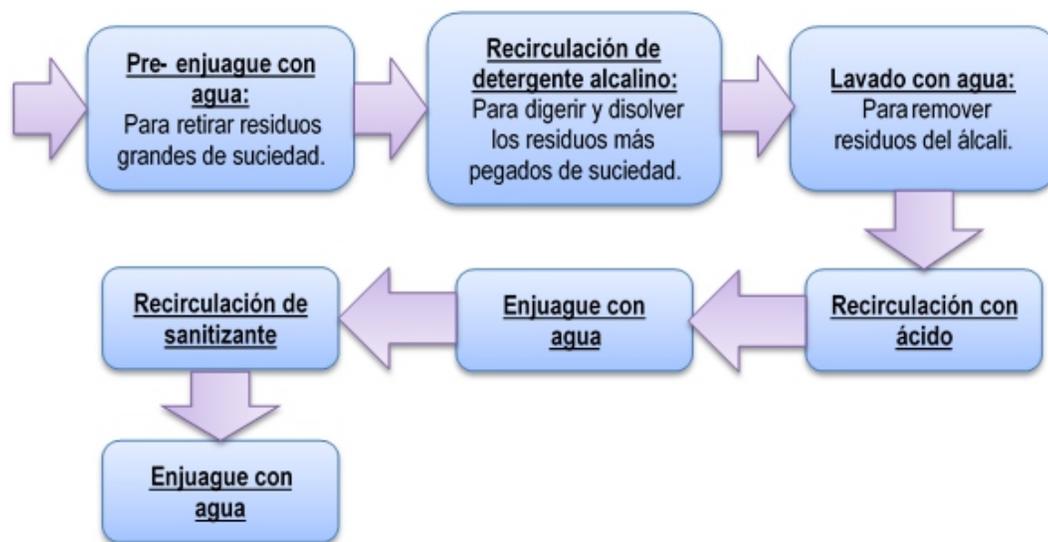


Figura 1. Secuencia de un sistema de limpieza CIP (Clean in Place) (Harrington, 2001)

VENTAJAS DEL SISTEMA CIP

La implementación de un sistema CIP trae consigo una serie de ventajas, entre las que se encuentran una producción económicamente viable, ya que se reduce el trabajo manual y los tiempos de lavado; y se beneficia la realización productiva del proceso de la planta (Robinson, 1999). Aunque un sistema CIP requiere una inversión inicial de capital significativa, éste es relativamente económico respecto a una limpieza manual en la mayoría de los procesos a gran escala; dicha inversión es recuperable en el mediano plazo por los ahorros antes mencionados en el desarrollo de este sistema y varía según la capacidad de la planta. Se tienen reportes de un ahorro promedio aproximado al 89% en cuanto a costos implicados por este sistema (Chacón, 2011).

La implementación de un sistema de limpieza CIP genera una reducción en el consumo de agua y agentes químicos limpiadores en comparación con la limpieza manual, especialmente si las sustancias químicas de limpieza y las aguas de enjuague son recicladas. Un diseño apropiado, validado y operado del sistema CIP asegura una limpieza consistente y efectiva. Debido a que no se requiere el desarmado de equipos durante la limpieza, el tiempo de inactividad es reducido y se cuenta con más tiempo disponible para el uso productivo de la maquinaria. La limpieza constante elimina contaminación en el producto y esto se asocia directamente con la aceptación o rechazo de lotes en producción. Otro aspecto importante, la tecnología del CIP mejora la seguridad del operador, ya que elimina o minimiza el contacto de éste con agentes de limpieza peligrosos, productos bioactivos y microorganismos potencialmente patógenos peligrosos, ya que éste no tiene ya la necesidad de entrar en el equipo para realizar tal operación (Robinson, 1999).

Ya que la implementación del sistema CIP genera ahorros en las sustancias de lavado (álcali y ácido principalmente), se reduce el impacto ambiental que estas sustancias generan al ser vertidas a las aguas residuales de la industria mediante la disminución considerable de su concentración usada en el proceso. Además en la actualidad existen métodos de recuperación de agentes de limpieza de las instalaciones CIP (álcalis y ácidos) mediante el uso de membranas por micro-, ultra- y nano- filtración (Henck, 1993).

DESVENTAJAS DEL SISTEMA CIP

Una desventaja del CIP es que puede llegar a ser costoso de manera inicial ya que implica una inversión inicial significativa, y potencialmente peligroso para la salud pública tras la posible supervivencia de microorganismos patógenos en la planta o en el producto (Austin y Bergeron, 1995; Carpentier y Cerf, 1993). Ante esto un sistema de limpieza de este tipo, como cualquier otro, requiere un seguimiento de la calidad microbiológica de la limpieza realizada para verificar que microorganismos peligrosos no hayan sobrevivido en los productos y maquinaria. Las fallas del proceso que pudiesen presentarse, no siempre pueden atribuirse a errores humanos o piezas defectuosas. Algunas veces estas pueden ser resultado de la acumulación de errores aleatorios dentro del sistema mismo (Fresner, 1998).

El sistema CIP solo es posible si el equipo de proceso ha sido específicamente diseñado para ser adaptado a este sistema, esto debido a que el diseño del equipo debe asegurar que todas las superficies que de algún modo están en contacto con el producto se encuentren en contacto con las soluciones de limpieza durante el desarrollo del sistema CIP. Así, sin importar el tipo de equipos, todos los componentes de la planta procesadora de alimentos o medicamentos debe ser adaptada en su diseño para su limpieza mediante este sistema (Robinson, 1999).

El uso de sustancias químicas en el desarrollo del sistema CIP (álcali y ácido), inevitablemente genera impacto ambiental al verter aguas residuales que los contengan, ya que modificarán las condiciones naturales del cuerpo receptor principalmente en función del pH (Schindler, 1993).

CONSIDERACIONES FINALES

Siendo la producción más limpia (P+L) uno de los medios por los cuales se ha buscado proteger el medio ambiente; y considerando que en la industria cada día se cuenta más con el uso de tecnologías más limpias para minimizar desperdicios y generación de residuos, entre ellos aguas residuales a verter; sería crucial en toda industria la implementación de un sistema CIP para la limpieza y desinfección a realizar en toda la planta. Estas operaciones son de primordial importancia, ya que su óptima realización permite asegurar en gran medida la calidad final del producto; además de que contribuye a la reducción de la generación de aguas residuales. Lo anterior es ampliamente aplicable a la industria láctea, como una de las mayores generadoras de aguas residuales principalmente por sus exhaustivas y frecuentes acciones de limpieza y desinfección.

El sistema CIP presenta una serie de ventajas frente a la limpieza manual dentro del sector industrial, tales como la reducción de tiempos de limpieza, reducción de costos energéticos, reducción en la mano de obra; mayor seguridad de encargados de la limpieza al eliminar el contacto directo con sustancias químicas peligrosas. Sin embargo, la implementación de este sistema genera impactos ambientales adheridos principalmente, al uso de estas sustancias químicas vertidas en las aguas residuales generadas. A pesar que estas cantidades son reducidas a comparación de la limpieza manual, debido a la optimización del método y el reciclado de las aguas, es importante considerar este aspecto.

Ya que en toda industria resulta importante guardar un equilibrio entre la seguridad del personal, la calidad del producto final, la ganancia económica de la organización, así como la presentación en aspectos ambientales de la misma organización, el método de limpieza CIP representa una opción ajustable a tales necesidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, N., G. Daufin, G. Cesan-Guiziou. 2009. Recommendations for rationalizing cleaning in place the dairy industry: case study of an ultra high temperatura heat exchanger. *Journal of Dairy Science* 93: 808-821.
- Austin, G. 1988. *Manual de Procesos Químicos en la Industria*. Mc Graw Hill. México.
- Austin, J., G. Bergeron. 1995. Development of bacterial biofilms in dairy processing lines. *Journal of Dairy Research* 62: 509-519.
- Belmar-Beiny, M., P. Fryer. 1993. Preliminary stages of fouling from whey protein solutions. *Journal of Dairy Research* 60: 467-483.
- Bylund, M. G. 2003. *Manual de Industrias Lácteas*. AMV Ediciones. España.
- Cáceres, M. D. 2012. Aspectos medio ambientales asociados a los procesos de la industria láctea. *Mundo Pecuario* 8: 16-32.
- Carpentier, B., O., Cerf. 1993. Biofilms and their consequences, with particular reference to hygiene in the food industry. *Journal of Applied Microbiology* 75: 499-511.
- Chacón, S. J. 2011. Estudio para el mejoramiento del sistema de limpieza de la línea de yogurt. Tesis de licenciatura no publicada. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de ingeniería química. Bucaramanga. Fecha de consulta: 18 de Abril 2014. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/139081.pdf>
- Cheftel, J. C., F. López, P. Desnuelle, H. Cheftel. 1992. *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos*. Editorial Acribia. España.
- Fresner, J. 1998. Cleaner production as a means for effective environmental management. *Journal of Cleaner Production* 6: 171-179.
- Goldberg, E. 1997. *Handbook of Downstream Processing*. Blackie Academic & Professional. London.

- Harrington, J. 2001. *Industrial Cleaning Technology*. Springer. Holanda.
- Henck, M. A. 1993. Recycling of caustic cleaning solutions using cross-flow filtration in the dairy industry. FAM, Federal Dairy Research Institute. Estados Unidos.
- Herrera Reyes, O. E., Herrera, O., Gutiérrez, M. A., Wellmann, J., Hernández, S. Z., Baeza, G. L. 2001. Manual de buenas prácticas operativas de producción más limpia para la industria láctea. Editorial Universidad de Costa Rica, San José. Facultad de Agronomía. Escuela de Zootecnia. Costa Rica. 14-29.
- Hui, Y. H., Bruinsma, L. B. Gorham, J. R. Nip, W. K. Tong, P. S. Ventresca. 2002. *Food Plant Sanitation*. Marcel Dekker. Estados Unidos.
- Instituto Nacional de Ecología. 2007. Sistema Integrado de Regulación Directa y Gestión Ambiental de la Industria (SIRG). Instituto Nacional de Ecología. México.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 1994. Manual de Auditoria y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales. Informe Técnico No. 7. ONU. Estados Unidos.
- Peña Londoño, E. 2009. Reforma y automatización del sistema CIP de carro tanques y silos de almacenamiento de leche. Tesis Doctoral no publicada. Universidad Nacional de Colombia. Fecha de consulta: 14 de Abril de 2014. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/939/>.
- Robinson, R. K. 1999. *Encyclopedia of Food Microbiology*. Editores C. A. Batt. Londres.
- Rojas Arrieta, E. 2008. Automatización de pasteurizador 30.000 L/H con sistema de lavado CIP ácido nítrico y soda cáustica Tesis Doctoral no publicada. Universidad Nacional de Colombia. Fecha de consulta: 14 de Abril de 2014. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/810/>.
- Romney, A. J. D. 1990. CIP: cleaning in place. Society of Dairy Technology. Huntingdon, Inglaterra.
- Schindler, M. 1993. Environmental influence of chemicals used in the dairy industry which can enter dairy wastewater. The International Dairy Federation 288: 17-31.
- Stanga, M. 2010. *Sanitation: Cleaning and Disinfection in the Food Industry*. John Wiley & Sons. Estados Unidos.
- Tamime, A. Y. 2009. *Cleaning-in-Place: Dairy, Food and Beverage Operations*. John Wiley & Sons. Estados Unidos.



EFFECTO EN EL ÁREA ESPECÍFICA Y TAMAÑO DE PORO AL MODIFICAR ARCILLAS CON TiO₂ PARA FORMAR UN COMPÓSITO

Felipe de Jesús Silerio Vázquez, José Rafael Irigoyen Campuzano, José Bernardo Proal Nájera, José Antonio Esparza Rocha

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Sigma 119, Fraccionamiento 20 de noviembre II, Durango, Dgo., 34200
Tel/Fax: 618 123 42 08
Correo electrónico: felipesiv@hotmail.com

RESUMEN

El presente trabajo revisa el efecto que causa, sobre la superficie específica y tamaño de poros, el hecho de mezclar arcillas con dióxido de titanio para formar un compósito. También se revisan experimentos sobre la preparación de tales compósitos y los métodos usados para caracterizar las propiedades de interés que fueron modificadas.

PALABRAS CLAVE: TiO₂, arcilla, tamaño de poro, superficie específica

ABSTRACT

This work reviews the effect caused on pore size and specific surface area by mixing the clay with titanium dioxide to form a composite. Experiments on the preparation of such composites and methods used to characterize the properties of interest that were modified were also reviewed.

KEY WORDS: TiO₂, clay, pore size, specific surface area

INTRODUCCIÓN

La contaminación orgánica que proviene de las actividades industriales es un problema ambiental actual y para dar tratamiento a tales contaminantes, durante los últimos años, se han investigado los procesos avanzados de oxidación, los cuales se basan principalmente en la capacidad de receptor de electrones de los iones hidroxilo (-OH). Debido a que estos métodos no presentan selectividad pueden ser usados para degradar una amplia variedad de contaminantes orgánicos (Ali y Hosein, 2012).

Entre los procesos avanzados de oxidación se encuentra la fotocatalisis heterogénea, la cual se basa en la irradiación de un semiconductor sólido con luz a una longitud de onda determinada. Una de las razones por las que este método es atractivo es el hecho de que ofrece la posibilidad de degradar contaminantes orgánicos de forma eficiente al utilizar la luz del sol, lo cual ofrece la posibilidad de disminuir inversiones al aprovechar una energía sin costo económico (Ménesi *et al.*, 2008).

El dióxido de titanio (TiO₂) es uno de los semiconductores sólidos más estudiados usados como fotocatalizadores, en especial en lo que se refiere a aplicaciones para remediación ambiental. Algunas de las razones por las que es un material muy atractivo son: su fotoestabilidad, además posee una alta reactividad, su precio es relativamente bajo y algo determinante; no es un material tóxico. Cuando las moléculas de TiO₂ son iluminadas por una fuente de luz ultravioleta ($\lambda=387$ nm), se llega a producir un par electrón (e⁻) – hueco (h⁺). Los grupos hidroxilo superficiales son oxidados por los h⁺, dando lugar a radicales hidroxilo (OH), los cuales son altamente reactivos y tienen efecto sobre la materia orgánica, degradándola a agua, iones de especies minerales y dióxido de carbono. Debido a que esta reacción se lleva a cabo sobre la superficie de las partículas de TiO₂, su eficiencia depende mucho del área superficial (Daniel *et al.*, 2007).

También la estructura tiene un efecto importante en la eficiencia del TiO₂ como fotocatalizador, por lo que se han realizado distintos estudios utilizando varios arreglos para el TiO₂, dando lugar a un compósito, tal como usar microcristales de TiO₂ polarizados en arcillas, nanocristales de TiO₂ dispersos en medios inorgánicos o en la superficie de carbón activado o no activado. Se ha sugerido que la estructura cristalina y la composición química de estos materiales usados en conjunción con el TiO₂ afectan la actividad del compósito, reportando que los compósitos son fotocatalizadores altamente efectivos para un amplio rango de reacciones catalíticas (Belessi *et al.*, 2007).

COMPÓSITO

Un compósito es un material que está formado por dos o más sustancias combinadas a escala macroscópica para dar lugar a un material nuevo. Como ejemplo podemos mencionar las aleaciones de los metales, en el cual distintas sustancias se encuentran combinadas y no es posible distinguir una de la otra a simple vista, por lo que los materiales constituyentes exhiben homogeneidad. La ventaja de usar compósitos es la suposición de que estos van a mostrar las mejores características de los componentes constituyentes e incluso mostrar algunas otras que ninguna de las sustancias originales posee (Jones, 1998).

Se ha investigado mucho sobre el TiO₂ en compósitos o soportado en diversos materiales, los cuales poseen mejores propiedades para aplicaciones prácticas que el TiO₂ por cuenta propia. Algunos materiales ampliamente usados para este propósito incluyen las zeolitas, silicatos estratificados y gel de sílice. Uno de los problemas que se presentan al usar compósitos es cuando se hace necesario un tratamiento térmico para su síntesis, debido a que ocasiona la aparición de TiO₂ en forma de anatasa, dando como resultado estructuras amorfas y partículas de tamaño pequeño, lo cual reduce la superficie específica, por lo que se hace entonces necesario buscar alternativas que puedan evitar tal disminución. Entre los compuestos orgánicos con los que se han probado los compósitos de TiO₂ se encuentran el fenol, así como también sus derivados clorados, ácido salicílico y otros derivados de ácidos carboxílicos, tintes y pesticidas (Kun *et al.*, 2006).

Cuando el fotocatalizador TiO₂ es mezclado con arcillas, obtenemos un compósito de TiO₂/silicato estratificado, el cual se mantiene unido por fuerzas electroestáticas. Se ha observado que combinar el TiO₂ con estas arcillas crea una diferencia significativa en la tasa de degradación catalítica, por lo que se considera adecuado utilizar estos compósitos en aplicaciones prácticas tal como lo es la purificación de agua. Cabe mencionar que el compósito TiO₂/montmorillonita mostró una actividad catalítica bastante alta en la degradación de fenol (Ménési *et al.*, 2008).

ARCILLA

El término arcilla hace referencia a los materiales cuya composición consiste en minerales de origen natural de partículas finas, principalmente de silicatos con menos de 2 micras de tamaño. Son de gran abundancia en la superficie de la Tierra y son un componente importante en la mayoría de las rocas sedimentarias. Las arcillas presentan propiedades fisicoquímicas conferidas debido a su pequeño tamaño de partícula y a su estructura cristalina, como lo son la capacidad de intercambio catiónico, propiedades plásticas a humedades específicas, capacidad catalítica y baja permeabilidad. Las arcillas poseen una morfología laminar debido al arreglo de sus moléculas en capas. Una de las capas presenta un arreglo tetraédrico donde el átomo dominante es el silicio (Si⁴⁺), el cual se encuentra rodeado de grupos oxígeno, y la otra tiene un arreglo octaédrico con un átomo de aluminio (Al³⁺) rodeado de átomos de oxígeno (O) o grupos -OH. Estas dos capas se alternan entre sí en su arreglo molecular (Guggenheim, 1997).

MONTMORILLONITA

La montmorillonita es un material opaco, generalmente se encuentra en color blanco aunque también es posible encontrarla en tonos rojizos, lo que indica presencia de óxido de hierro en su composición. Se constituye principalmente por sílice (50%) y alúmina (20%). Es posible encontrarla en forma cristalina en pequeños fragmentos o como agregados microcristalinos en forma laminar o globular (Anthony *et al.*, 1995).

Debido a su espacio entre capas de aproximadamente 0.9-1.2 nm y su capacidad de intercambio catiónico, la montmorillonita puede formar bastantes compósitos con diversos compuestos, así mismo ha sido usada como catalizador en numerosas reacciones orgánicas, ofreciendo ventajas sobre otras sustancias donantes de electrones, principalmente el hecho de que es de bajo impacto ambiental al no ser un material corrosivo o tóxico y también debido a que su precio es bajo, es posible reciclarla, muestra rendimientos altos y las reacciones en las que se utiliza se llevan a cabo en condiciones sencillas (Kaur y Kishore, 2012).

BENTONITA

La bentonita es una arcilla cuyo principal componente puede ser la montmorillonita, beidelita o saponita entre otras, sin embargo está alterada por materiales cristalinos ígneos tal como puede ser la ceniza volcánica. Es afectada fácilmente por procesos fisicoquímicos tal como los tratamientos hidrotérmicos, el calentamiento o el intercambio iónico, lo cual puede causar cambios considerables en diversas propiedades fisicoquímicas tal como lo es la dureza, la plasticidad, la cohesión, la compresibilidad, capacidad de intercambio catiónico, acidez superficial y actividad catalítica entre otras. Es empleada en numerosos procesos industriales como material para cerámica, sellador, blanqueador, adhesivo, cosmético, catalizador y soporte de catalizador y, debido a sus propiedades como su área superficial por unidad de peso o bien, por su superficie específica, su densidad, porosidad, distribución de poros y geometría. La bentonita es utilizada como adsorbente en diversos procesos químicos, principalmente procesos de separación (Önal, 2006).

Debido al arreglo laminar de las arcillas, éstas pueden llegar a presentar superficies específicas muy elevadas, alrededor de 800 m²/g (Murray y Quirk, 1990).

USO DE COMPÓSITO TiO₂ / MONTMORILLONITA

Kameshima *et al.* (2009), prepararon un compósito de TiO₂/montmorillonita, determinando la composición química de la montmorillonita por fluorescencia de rayos X, y encontraron una capacidad de intercambio catiónico (CICarc) de 1.15 meq / g. Para preparar el compósito, dispersaron montmorillonita en agua destilada (1% en masa), manteniéndola en agitación lenta. Para preparar la solución de TiO₂ añadieron por goteo ácido clorhídrico (HCl) 1 N a tetraisopropóxido de titanio hasta alcanzar una razón molar de cuatro átomos de titanio por cada ion hidronio, se agitó la mezcla de reacción por 3 horas más a temperatura ambiente. La solución de TiO₂ fue añadida por goteo a la dispersión de montmorillonita a varias temperaturas (de 20°C hasta 90°C) bajo agitación vigorosa, hasta alcanzar la

razón de $Ti/Cl_{Carc} = 40$, dejando en agitación por 3 horas más. Las muestras se sometieron a centrifugación y a enjuague para eliminar rastros de cloro, los sólidos obtenidos se dejaron secar a $60^{\circ}C$ por la noche. Adicionalmente se preparó una muestra sin añadir tetraisopropóxido de titanio para medir el efecto de la activación ácida.

Para caracterizar el compósito se llevó a cabo una difracción de rayos X, en la que fue posible ver un incremento del espacio entre las capas de la montmorillonita, lo que hace suponer que la solución coloidal de TiO_2 da lugar a la formación de estructuras desordenadas. Con el fin de determinar las propiedades de los poros se emplearon las isotermas de adsorción y desorción de nitrógeno a 77 K, encontrando que la superficie específica de todos los compósitos fue mucho mayor a la de montmorillonita sola ($6\text{ m}^2/\text{g}$), alcanzando el valor más alto para el compósito preparado a $75^{\circ}C$ ($251\text{ m}^2/\text{g}$). El tamaño de poro mostró tendencia similar al alcanzar el mayor tamaño (20 nm) en la muestra preparada a $80^{\circ}C$. También se observó un aumento de tamaño en las formaciones de anatasa del TiO_2 al aumentar la temperatura de la reacción.

Fatimah (2012), realizó sus experimentos con TiO_2 pilarizado en montmorillonita, para ello utilizó montmorillonita de origen natural la cual sometió a activación ácida mediante reflujo en una solución de ácido sulfúrico 0.1 N durante 6 horas, seguido de una neutralización, secado y molienda. Se procedió a poner la montmorillonita en suspensión en agua a 5% masa y se le añadió por goteo una mezcla de isopropóxido de titanio (el cual primero se dispersó en isopropanol bajo agitación rápida, después se le añadió HCl y se agitó por 4 horas), procediendo con agitación por 24 horas, filtración, neutralización con agua destilada, secado a $100^{\circ}C$ por una noche y calcinación a $450^{\circ}C$ por 6 horas. La proporción de masa de titanio en la preparación del compósito se calculó en 10%. Con el fin de evaluar la actividad fotocatalítica, se probó el compósito en la fotodegradación de azul de metileno y para caracterizar el compósito se llevaron a cabo diversos análisis. Una difracción de rayos X mostró que la presencia de TiO_2 en la montmorillonita no causó gran efecto en la estructura de la misma, sin embargo es posible dilucidar un aumento en la separación entre capas de la montmorillonita debido a la inserción del TiO_2 , y también por el hecho de que éste se presenta en las fases anatasa y rutilo. Se realizó un análisis por energía dispersiva de rayos X para identificar las especies químicas presentes en el compósito, encontrando una cantidad de titanio de 7.94%, inferior a la cantidad inicial del 10% con la que se preparó el compósito, lo cual se debe al proceso de preparación, pues se espera que se pierda algo de titanio en el lavado y en la calcinación. También se realizó un análisis de adsorción de gases, encontrando en el compósito una mayor superficie específica ($174.79\text{ m}^2/\text{g}$) y un mayor volumen de poro ($3.24 \times 10^{-1}\text{ cc/g}$) que en la montmorillonita sola ($45.11\text{ m}^2/\text{g}$ y $6.24 \times 10^{-3}\text{ cc/g}$ respectivamente). La fotodegradación de azul de metileno fue bastante rápida, lo cual se esperaba que sucediera debido al aumento de la superficie específica, mismo que fue comprobado al emplear el modelo de Langmuir-Hinshelwood, sugiriendo que la reacción depende del mecanismo de adsorción.

USO DE COMPÓSITO TiO_2 / BENTONITA

Ali y Hosein (2012), prepararon un compósito de TiO_2 /bentonita y evaluaron su actividad fotocatalítica en los efluentes de una refinera de petróleo. Para la preparación; primero se enjuagó la bentonita en agua destilada, se procedió con una centrifugación para remover las impurezas, dejando secar a $104^{\circ}C$ por 12 horas y añadiendo, después, HCl (8M 1:5 m/v), para posteriormente dejar en activación por 3 horas, en condiciones de una temperatura menor a $70^{\circ}C$. Se procedió a filtrar y lavar dos veces con agua destilada para remover rastros del ácido y se dejó secar a $104^{\circ}C$ por 12 horas. La arcilla se molió y tamizó utilizando una malla (270) y se mezcló con una solución de amoníaco (NH_3) al 20% (1:4 m/v), posteriormente se dejó en agitación por 12 horas a temperatura ambiente, se filtró, se lavó para remover NH_3 y se dejó secar durante 16 horas a $80^{\circ}C$. Para preparar titanio requerido, se mezcló por goteo una solución de tetraisopropóxido de titanio (25 mL) con una solución de agua bidestilada y alcohol isopropílico (500 mL, v/v 1:9) bajo agitación vigorosa, amortiguando la magnitud de $pH=2$ utilizando ácido nítrico y se dejó en agitación por 24 horas a $70^{\circ}C$. Para sintetizar el compósito, primero se preparó una solución de bentonita al 4% (500mL a agitación vigorosa) y se mezcló con la solución de titanio (50mL, a diferentes concentraciones), para, posteriormente, dejar en agitación a temperatura ambiente por 24 horas, procediendo a una filtración y luego a su enjuague para remover el exceso de TiO_2 , procediendo, finalmente, a su secado a $100^{\circ}C$ por 12 horas y a su calcinación a $400^{\circ}C$ por 2 horas más. Para probar la tasa de degradación se usó un efluente, conteniendo una demanda química de oxígeno inicial (DQO) de 700ppm y un pH entre 6.5 y 7, realizando experimentos con y sin luz ultravioleta (UV). Con el fin de caracterizar la composición química del compósito se utilizó espectrometría por dispersión de energías de rayos X, observando que es posible obtener una saturación de TiO_2 al alcanzar el 24% en masa, asimismo se detectó que cualquier excedente es removido con el enjuague. Para determinar la estructura se usó una difracción de rayos X, comparando la estructura del compósito con la del TiO_2 puro (anatasa), observando que es posible dilucidar la presencia de anatasa en el compósito y que no se presenta la misma cristalinidad que el TiO_2 puro. Con el fin de determinar la superficie específica se realizó un análisis de adsorción y desorción de gases, usando isotermas de nitrógeno a 77 K, encontrando que el valor en el compósito ($219\text{ m}^2/\text{g}$) es mayor que en el TiO_2 comercial ($152\text{ m}^2/\text{g}$). Al incrementarse el área superficial también se incrementa la superficie expuesta del fotocatalizador, lo que lleva a tener tasas más veloces de degradación de contaminantes. Para evaluar la actividad catalítica, se realizaron experimentos de degradación en el efluente descrito anteriormente, usando bentonita pura, TiO_2 puro y el compósito producido. Se obtuvieron tasas de degradación de 30%, 50% y 90% de los contaminantes, respectivamente, bajo la presencia de luz UV, sugiriendo que la degradación causada, en ausencia de luz UV, se debe al proceso de adsorción, así mismo se observó que el compósito mostró mayor actividad que el TiO_2 puro, debido a su mayor área superficial.

CONSIDERACIONES FINALES

Se revisaron algunos trabajos en los cuales se sintetizaron compósitos a partir de TiO₂ y arcilla. La modificación en el material genera un incremento en el tamaño de la superficie específica y en el tamaño de poro. Para comprobar tales propiedades se efectuaron análisis de adsorción y desorción de gases con la isoterma de nitrógeno a 77 °k y también se efectuaron análisis como difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X para caracterizar la estructura y composición química del compósito. Los compósitos se probaron en procesos fotocatalíticos de degradación de contaminantes y se observó una actividad catalítica mayor que en la aplicación del TiO₂ puro. Lo anterior sugiere que la actividad catalítica depende de la tasa de adsorción que ofrece el material, la cual aumenta debido al incremento de la superficie específica y al tamaño de poro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anthony, J. W., R. A. Bideaux, K. W. Bladh, M. C. Nichols. 1995. Handbook of mineralogy. Volume II Elements, Silica, Silicates. Mineral Data Publishing. Arizona.
- Ali, D., G. M. Hosein. 2012. Photocatalytic degradation of Kermanshah Refinery Wastewater Using Nano-TiO Supported on Bentonite. *World Applied Sciences Journal* 19: 874-879.
- Belessi, V., D. Lambropoulou, I. Konstantinou, A. Katsoulidis, P. Pomonis, D. Petridis, T. Albanis. 2007. Structure and photocatalytic performance of TiO₂/clay nanocomposites for the degradation of dimethachlor. *Applied Catalysis B: Environmental* 73: 292-299.
- Daniel, L. M., R. L. Frost, H. Y. Zhu. 2007. Synthesis and characterization of clay-supported titania photocatalysts. *Journal of Colloid and Interface Sciences* 316: 72-79.
- Fatimah, I. 2012. Composite of TiO₂-montmorillonite from Indonesia and Its photocatalytic properties in methylene blue and E. coli reduction. *Journal of Materials and Environmental Science* 3: 983-992.
- Guggenheim, S. 1997. Introduction to the properties of clay minerals. In: *Teaching Mineralogy* (Eds: Brady, J. B, D. W. Mogk, D. Perkins). Mineralogical Society of America. Washington, DC, pp. 371-388.
- Jones, R. M. 1998. *Mechanics of Composite Materials*. CRC Press.
- Kameshima, Y., Y. Tamura, A. Nakajima, K. Okada. 2009. Preparation and properties of TiO₂/montmorillonite composites. *Applied Clay Science* 45: 20-23.
- Kaur, N., D. Kishore. 2012. Montmorillonite: An efficient, heterogeneous and green catalyst for organic synthesis. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 4: 991-1015.
- Kun, R., K. Mogyorósi, I. Dékány. 2006. Synthesis and structural and photocatalytic properties of TiO₂/montmorillonite nanocomposites. *Applied Clay Science* 32: 99-110.
- Ménesi, J., L. Körösi, É. Bazsó, V. Zöllmer, A. Richardt, I. Dékány. 2008. Photocatalytic oxidation of organic pollutants on titania-clay composites. *Chemosphere* 70: 538-542.
- Murray, R. S., J. P. Quirk. 1990. Surface area of clays. *Langmuir* 6: 122-124.
- Önal, M. 2006. Physicochemical properties of bentonites: an overview. *Communications de la Faculte des Sciences de l'Universite d'Ankara Series B* 52: 7-21.

FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA: UNA BREVE INTRODUCCIÓN

José Rafael Irigoyen Campuzano, Felipe de Jesús Silerio Vázquez, José Bernardo Proal Nájera

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional.
Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, México.

Correo electrónico: r_irigoyenc@hotmail.com

RESUMEN

El presente trabajo describe de manera breve los principios elementales de la fotocatalisis heterogénea empleando semiconductores inorgánicos, aplicada a la descontaminación de aguas.

PALABRAS CLAVE: fotocatalisis heterogénea, TiO₂, mecanismo de reacción

ABSTRACT

The present work briefly describes the elementary principles of heterogeneous photocatalysis, using inorganic semiconductors, applied to water decontamination.

KEY WORDS: Heterogeneous photocatalysis, TiO₂, reaction mechanism

INTRODUCCIÓN

A pesar de que el término fotocatalisis está ampliamente extendido para diversos procesos en los que ocurre una reacción catalítica que involucra la absorción de luz por un catalizador o un sustrato, aún hay desacuerdo sobre una definición adecuada. Al respecto, en un reporte técnico de 1999, la Comisión sobre Fotoquímica de la División de Química Orgánica de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés) menciona la encomiable propuesta de R. G. Salomon, de que esa amplia definición que hay de la fotocatalisis sea dividida en dos diferentes clases (Serpone y Salinaro, 1999): (i) catálisis fotogenerada y (ii) fotólisis catalizada, la primera se refiere a procesos que implican estados no excitados del catalizador y del sustrato en el paso catalítico, que es termodinámicamente espontáneo, mientras que la segunda se refiere a que el catalizador y/o el sustrato están en estado excitado durante la etapa catalítica de la reacción. De aquí que dependiendo del mecanismo que se siga, la clasificación de Salomon se puede representar de acuerdo a la Tabla 1. Sin embargo, dada la complejidad de mecanismos y procesos, debemos apelar a la aplicación del término fotocatalisis, término menos descriptivo y recomendado (aunque insatisfactorio), para describir un proceso que es llevado a cabo mediante fotones, y es catalítico hasta establecer el número de recambio para el proceso dado y demostrar que, de hecho, el proceso es catalítico. Sin embargo, este último tiene sus limitantes (Serpone y Salinaro, 1999).

Tabla 1. Clasificación de Solomon de los procesos fotocatalíticos

FOTOCATÁLISIS	
Catalítica en fotones	No catalítica en fotones
<i>Catálisis fotogenerada</i>	<i>Fotólisis catalizada</i>
<ul style="list-style-type: none"> Reacciones catalíticas fotoinducidas (Reacciones catalíticas estequiométricas fotoinducidas)	<ul style="list-style-type: none"> Fotoquímica catalizada Fotorreacciones catalizadas Fotorreacciones sensibilizadas Reacciones fotosensibilizadas Catálisis fotoasistida (Catálisis estequiométrica fotogenerada) Fotorreacciones asistidas por una sustancia* (reacciones catalizadas)

*Sustancia se refiere a un complejo de metal de transición o a un semiconductor si se habla de fotocatalisis heterogénea.

La fotocatalisis se puede emplear con diferentes fines, como la síntesis (oxidaciones selectivas en condiciones suaves, deshidrogenaciones, oxidaciones totales en presencia de agua) o la descontaminación de agua (Hermann, 2005). En este último punto, se le considera como un proceso de oxidación avanzado (POA), puesto que durante la reacción se generan especies reactivas de oxígeno, entre ellas el radical hidroxilo. Este proceso se lleva a cabo por mediación de un fotocatalizador, que es aquella sustancia que produce, por absorción de luz, transformaciones químicas de las sustancias en el medio de reacción sin perder su estructura original, aún y cuando forme intermediarios durante la reacción. Los fotocatalizadores pueden ser inorgánicos u orgánicos, siendo los más comunes aquellos semiconductores inorgánicos como el TiO_2 , ZnO y el Fe_2O_3 (Marín *et al.*, 2012).

La fotocatalisis con semiconductores presenta a la fecha algunas deficiencias (radiación UV y la necesidad de que las aguas a tratar sean transparentes en esta región del espectro; lenta mineralización en casos donde los heteroátomos de los contaminantes están a un grado de oxidación muy bajo; y una mejor ingeniería para el proceso, aún en desarrollo); sin embargo, posee algunas ventajas de interés (Hermann, 2005):

- Estabilidad química del TiO_2 en medio acuoso y en un gran intervalo de pH ($0 \leq pH \leq 14$)
- Bajo costo del TiO_2
- Reactivos económicos para realizar las reacciones
- No se requieren otros aditivos, solo O_2 del aire
- Sistema aplicable a bajas concentraciones
- Gran capacidad de deposición de metales para su recuperación
- No hay inhibición de la reacción por iones presentes en el agua, o es muy baja
- Mineralización completa para muchos contaminantes orgánicos
- Se puede acoplar con otro método de tratamiento de agua (biológico, por ejemplo)

Si bien la fotocatalisis heterogénea ha alcanzado el nivel pre-industrial, aún no es capaz de tratar efluentes muy grandes. Si consideramos un fotorreactor de un tamaño razonable, este sería capaz de tratar de uno a algunos metros cúbicos de efluente por día.

BREVES FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA APLICADOS A SEMICONDUCTORES

La teoría de la fotocatalisis aplica las bases de la Electroquímica y de la Catálisis Heterogénea. Cuando se lleva un semiconductor al contacto con un electrolito, de tal manera que tenga lugar un equilibrio electroquímico, una parte de los portadores de cargas libres del cuerpo sólido se desplazarán hacia el límite de contacto con el electrolito. En el caso de un semiconductor como dióxido de titanio (TiO_2), las cargas que se desplazan hacia el límite de fase con el electrolito son los electrones, entonces el equilibrio se alcanza cuando el potencial electroquímico de los electrones en el semiconductor (E_F - nivel de Fermi) y el potencial de los sistemas de óxido-reducción (redox) en la solución son iguales.

$$E_F = E_{Redox} \quad (1)$$

El potencial electroquímico para la reacción: $Ox + ne^- \rightleftharpoons Redox$ se obtiene por la Ecuación de Nernst:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{C_{Ox}}{C_{Red}} \right) \quad (2)$$

En donde C_{Ox} y C_{Red} son las concentraciones de las formas oxidadas y reducidas de los sistemas redox, respectivamente; E^0 es el potencial estándar de los electrodos (semiconductor en este caso); R , T y F , son las respectivas constantes universal de los gases, temperatura experimental y constante de Faraday, y n es el número de cargas de los iones.

En la Figura 1a se muestra la ubicación relativa del potencial en el semiconductor y en el electrolito. Antes del contacto las bandas son planas.

A través de la salida del flujo de electrones se alcanza una carga positiva en su superficie, lo que provoca una curvatura en la banda de potencial (Figura 1b). Ese campo eléctrico se muestra como una zona vacía de carga.

Si se expone el sistema a una radiación de luz ($h\nu$) con apropiada longitud de onda, entonces ésta será absorbida por el semiconductor, por ejemplo TiO_2 , bajo este modelo, los electrones en la banda de valencia migrarán en la misma dirección de banda, generando un defecto electrónico (hueco) en la banda de valencia, de acuerdo a la reacción:



La distancia entre las bandas lleva el nombre de "apertura de banda". A través de la zona vacía de carga son divididos los portadores de carga y, para un semiconductor tipo TiO_2 , los electrones migran hacia el interior, localizándose los huecos en su superficie.

En la Figura 1c se muestra un quasinivel de Fermi para el hueco (E_{F,h^+}) y para los electrones (E_{F,e^-}), originado en los Niveles de Fermi (E_F) por el proceso de radiación ($h\nu$) hacia la superficie del cuerpo sólido (TiO_2).

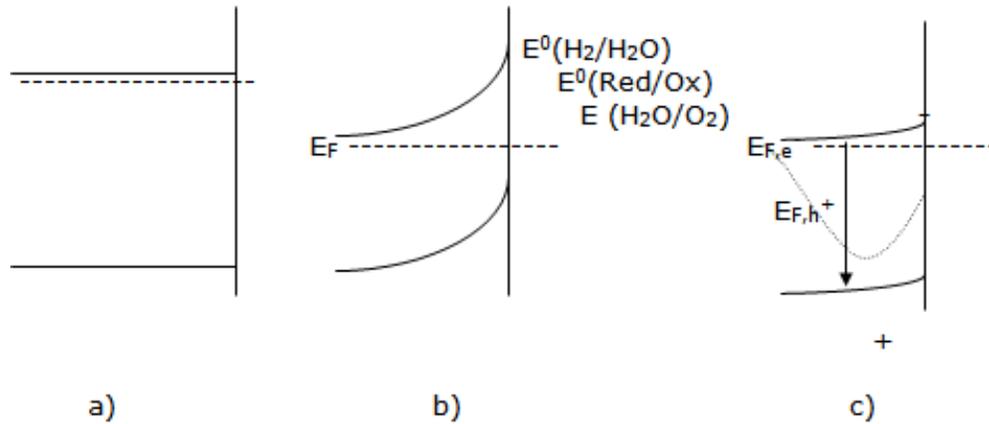


Figura 1. Contacto Semiconductor – Electrolito (como ejemplo de un semiconductor normal).

Para una celda electroquímica solar, los electrones formados durante el proceso de radiación son transportados por los portadores de carga sobre un circuito de corriente. Si tal circuito no existiera, entonces disminuye el potencial de la zona local de carga y por consiguiente, disminuye también la curvatura de la banda casi hasta cero (Figura 1c).

Algo importante de señalar es que los portadores de carga pueden disminuir, debido a las reacciones químicas que ocurren en el sistema, por ejemplo por oxidación/reducción del agua, ya que se tiende a alcanzar el correspondiente Potencial Redox-Sistema o bien, en el caso de que falte un potencial así (Lindner, 1997).

MECANISMO DE LA FOTOCATÁLISIS

La estrategia del uso de la fotocatalisis en el tratamiento de aguas residuales consiste en la generación de cargas libres sobre las partículas del semiconductor y la consiguiente transferencia de estas cargas hacia la materia orgánica, para su posterior descomposición. Lo anterior puede explicarse por el Modelo de las Bandas de Energía (Bergmann, 1992).

Los semiconductores poseen una Apertura de Banda, la cual caracteriza la energía de banda de cada sólido con respecto a otros, de ahí que cada semiconductor utilizado sea un material con propiedades específicas, debido a la posición energética de sus cantos de banda y por ende, al espesor de la apertura de su banda. La Figura 2, muestra la posición de los cantos de banda de algunos semiconductores bajo una magnitud de pH experimental igual a 1.

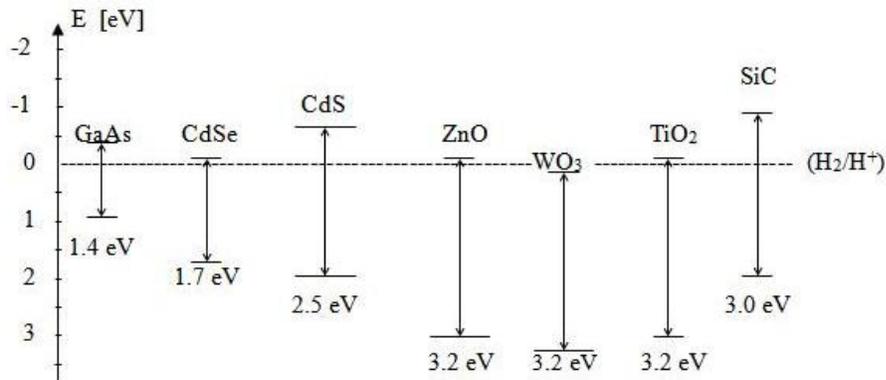


Figura 2. Posición energética de la apertura de banda en la superficie de algunos semiconductores en solución acuosa bajo magnitud de pH = 1.

Esta apertura se extiende en su parte superior hasta la Banda de Conducción (BC) y limita, en su parte inferior, con la Banda de Valencia (BV). Debido al abastecimiento de energía (óptica o térmica), los electrones en la Banda de Valencia pueden superar la apertura de banda característica y ser llevados a la banda energética superior BC, adquiriendo ésta una carga negativa por el flujo de electrones y por consiguiente, se genera un hoyo energético de carga positiva (h^+) en la banda BV, por cada electrón que de ella sale (Lindner *et al.*, 1997). Lo anterior se muestra a través del esquema de la Figura 3.

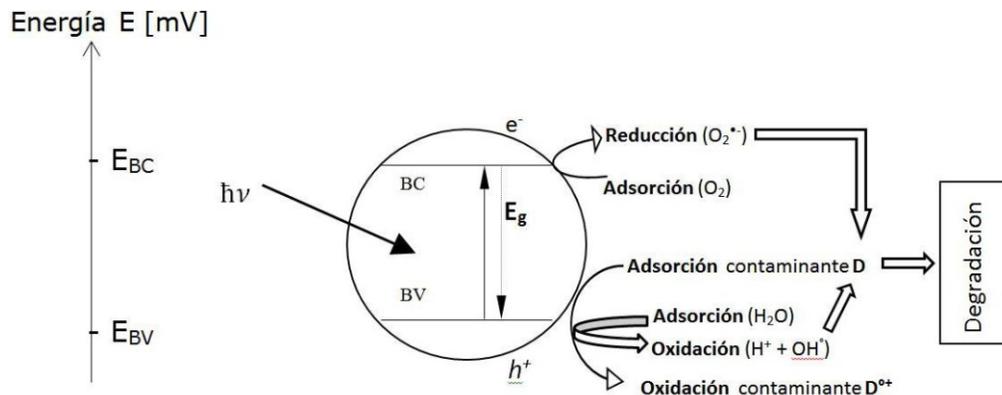


Figura 3. Esquema del desarrollo de las reacciones por fotocatalisis

La formación del par electrón–hueco se alcanza por la emisión de luz de alta energía o por la radiación de calor, de esta manera, la energía de los fotones absorbidos (E_p) debe corresponder, por lo menos, a la energía de la Apertura de Banda (E_g) del semiconductor respectivo, o sea, si conocemos la energía de la Apertura de Banda, entonces la máxima longitud de onda (λ) necesaria para la excitación de un electrón podrá calcularse por la relación siguiente:

$$E_g \leq E_p = h\nu = h(c/\lambda) \quad (4)$$

En donde h representa la constante del efecto cuántico de Planck, c representa la velocidad de la luz y ν la frecuencia de la radiación electromagnética (Hering *et al.*, 1989).

Las cargas fotogeneradas ocupan el potencial de la banda de conducción y de la banda de valencia y poseen, además, un movimiento libre en el interior de los semiconductores. Es por ello que éstas se encuentran en la posición de migrar hacia la superficie del catalizador y ahí se localizarán, hasta que el semiconductor entre en contacto con el agua residual, expuesta al tratamiento, momento en el cual las cargas pueden ser transportadas hacia moléculas e iones, en forma de una reacción redox, permaneciendo en su forma adsorbida.

La adsorción de las cargas estará protegida por las mismas partículas provenientes del agua residual, en particular por las moléculas orgánicas, a través de la afinidad electrostática entre sus grupos funcionales y los grupos eléctricamente cargados de la superficie del catalizador.

El fundamento termodinámico para ese intercambio de cargas radica en que los potenciales de oxidación de las partículas adsorbidas yacen en el interior de la apertura de banda del semiconductor y debido a ello, la molécula receptora R , oxígeno en este caso, será reducida a través del transporte de los electrones de la banda BC hacia ella, conforme a la reacción siguiente:



De la misma manera completan la reacción las otras moléculas (D) con la banda de valencia (BV), en ese caso y de acuerdo a la reacción (6), las moléculas transfieren un electrón al semiconductor.



Si al catalizador se le aplica una radiación de intensidad constante durante la descomposición de la materia orgánica, entonces las reacciones (5) y (6) se desarrollan con la misma velocidad para alcanzar la neutralidad de carga de las partículas del semiconductor y sobreviene, por ese motivo, la disminución de las concentraciones de carga en la superficie hacia las moléculas donadoras o receptoras apropiadas, no obstante la tendencia a la reducción de la velocidad de uno de estos dos procesos, con lo cual se acumulan las cargas no consumidas en el interior del semiconductor.

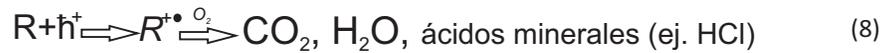
Lo anterior conduce a una “recombinación” de las cargas, anteriormente divididas, liberando calor en forma de radiación o de energía térmica, de acuerdo a la reacción siguiente:



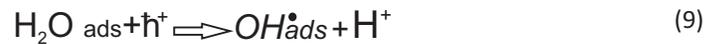
Al utilizar cantidades equivalentes de electrones de la banda BC y de huecos de la banda BV en el proceso de recombinación, la etapa más rápida en la transferencia de cargas será retardada, hasta que la neutralidad de las cargas de las partículas del catalizador sea nuevamente restablecida, lo que trae como consecuencia, la disminución de la actividad catalítica del semiconductor.

En lo que respecta a lo anterior, puede provocarse una disminución en el proceso de descomposición de la materia contaminante, debido a las llamadas “reacciones de terminación”, en donde participan las moléculas receptoras ya reducidas con los huecos de la banda de valencia o por la reacción de las moléculas donadoras ya oxidadas con los electrones de la banda de conducción, lo que conduce nuevamente a la formación de los compuestos correspondientes.

Como puede apreciarse en la figura 2, los huecos de la banda de valencia de los semiconductores se ordenan hacia un potencial de oxidación alto, alcanzando de esta manera una posición energética termodinámicamente estable (Suri *et al.*, 1993). Esta es la razón por la cual la mayoría de los compuestos orgánicos de difícil descomposición, como por ejemplo los derivados halogenados, se oxidan directamente y en el caso ideal, su transformación es completa hasta CO₂, agua y ácidos minerales, según la reacción (8).



En muchas ocasiones, la formación de radicales hidróxilo (OH) se debe a la reacción que tiene lugar entre las moléculas adsorbidas de agua con un hueco en la banda de valencia, propicio energéticamente a la interacción, o bien, debido a la reacción entre un hueco en esta banda con iones hidróxilo (OH⁻), de acuerdo a las reacciones siguientes:



Estos radicales (OH[•]_{ads}) son, sin embargo, productos intermedios de vida media muy corta y presentan potenciales de oxidación muy altos (+ 2.85 eV), razón por la cual reaccionan instantáneamente con muchos compuestos orgánicos y en el caso ideal, descomponen la materia contaminante en forma completa, de acuerdo con la siguiente reacción:



El mecanismo de la mineralización es muy complejo y hasta hoy, pudo ser aclarado convincentemente sólo para unas cuantas sustancias, de ahí que concluyamos que no se trata, de ninguna manera, de una propuesta generalizada (Schroeder, 1999).

Cuando los electrones fotoexcitados son atrapados por centros de Ti^{IV}, los reducen y forman Ti^{III} (ecuación 23a de la Tabla 1). En presencia de oxígeno, las moléculas de O₂ adsorbidas en la superficie del semiconductor sirven como "sustancias captoras de electrones", que oxidan al Ti^{III} para que de esa manera puedan formarse, en gran cantidad, radicales negativamente cargados (ecuación 23b de la Tabla 1) como el radical superóxido (Turchi y Ollis, 1990), así como también, una escasa proporción de radicales peróxido (O₂²⁻), de acuerdo con (12) y (13). Estos radicales pueden reaccionar de nueva cuenta, apoyando en forma adicional, a la degradación de la materia contaminante.



A manera de ejemplo, los radicales formados en las reacciones (12) y (13) pueden oxidar directamente la materia orgánica o incluso, ser adheridos a radicales catiónicos orgánicos, con lo cual se forman compuestos peróxido inestables, mismos que degradan hasta CO₂ y agua.

Es también probable una reacción de protonización de estos radicales, con la consiguiente formación de peróxido de hidrógeno



A través de esta última reacción se explica la transformación de los electrones, como medios de reducción, hacia la formación de efectivos agentes de oxidación, los radicales hidróxilo (OH[•]), los que de nueva cuenta dirigen la descomposición de la materia contaminante.

El anterior mecanismo de la fotocatalisis heterogénea en medio acuoso y en presencia de oxígeno lo podemos encontrar resumido en la Tabla 1 (Turchi y Ollis, 1990). Los autores de esta tabla consideran cuatro casos durante la reacción (reacciones 25 a 28): (I) La reacción ocurre mientras ambas especies están adsorbidas en el semiconductor, (II) un radical no unido reacciona con una molécula orgánica adsorbida (R₁), (III) un radical adsorbido reacciona con una molécula orgánica libre que llega a la superficie del semiconductor y finalmente, (IV) la reacción ocurre entre dos especies libres en el fase acuosa.

CONSIDERACIONES FINALES

La fotocatalisis nos puede ayudar en diferentes procesos. En el caso del tratamiento de aguas, ha resultado un proceso eficiente sobre materia orgánica y remoción de metales. A pesar de no considerarse a niveles industriales, tiene potencial de aplicación para un gran número de procesos más pequeños que pueden beneficiar a las comunidades, tal es el caso de la potabilización del agua en comunidades alejadas en países áridos, por ejemplo en África del norte: programa AQUACAT; y América Latina: programa europeo SOLWATER. Así mismo, puede ser aplicable en el tratamiento de los residuos de alguna institución, siempre y cuando el residuo a tratar cumpla con los mínimos requerimientos que ocupa el proceso. Para que esta tecnología limpia sea aún más útil, se debe seguir trabajando en salvar los puntos débiles que esta tecnología posee: la necesidad de absorber en el espectro UV y la deficiencia en ingeniería.

Tabla1. Esquema de las reacciones fotocatalíticas en medio acuoso y en presencia de oxígeno.

<i>Etapa</i>	<i>Reacción</i>	<i>Ecuación</i>
Excitación	$TiO_2 \xrightarrow{h\nu} e^- + h^+$	(16)
Adsorción	$O_2^{2-} + Ti^{IV} + H_2O \rightleftharpoons O_2H^- + Ti^{IV} - OH^-$	(17a)*
	$Ti^{IV} + H_2O \rightleftharpoons Ti^{IV} - H_2O$	(17b)
	Sitio en el $TiO_2 + R_1 \rightleftharpoons R_{1,ads}$	(18)
	$OH^* + Ti^{IV} \rightleftharpoons Ti^{IV} OH^*$	(19)
Recombinación	$e^- + h^+ \longrightarrow \Delta^0$	(20)
Trapping	$Ti^{IV} - OH^- + h^+ \rightleftharpoons Ti^{IV} OH^*$	(21a)
	$Ti^{IV} + H_2O \rightleftharpoons Ti^{IV} OH^* + H^+$	(21b)
	$R_{1,ads} + h^+ \rightleftharpoons R_{1,ads}^+$	(22)
	$Ti^{IV} + e^- \rightleftharpoons Ti^{III}$	(23a)
	$Ti^{III} + O_2 \rightleftharpoons Ti^{IV} - O_2^{\cdot-}$	(23b)
Ataque de OH^*		
Caso I	$Ti^{IV} OH^* + R_{1,ads} \longrightarrow R_{2,ads}$	(24)
Caso II	$OH^* + R_{1,ads} \longrightarrow R_{2,ads}$	(25)
Caso III	$Ti^{IV} OH^* + R_1 \longrightarrow R_2$	(26)
Caso IV	$OH^* + R_1 \longrightarrow R_2$	(27)
Reacciones de otros radicales	$e^- + Ti^{IV} - O_2^{2-} + 2(H^+) \rightleftharpoons Ti^{IV}(H_2O_2)$	(28)
	$Ti^{IV} - O_2^{2-} + (H^+) \rightleftharpoons Ti^{IV}(HO_2^{\cdot-})$	(29)
	$(H_2O_2) + (OH^*) \rightleftharpoons (HO_2^{\cdot-}) + (H_2O)$	(30)

Nota. Las especies en paréntesis pueden estar adsorbidas, o en la fase acuosa.
 *Involucra un oxígeno (O_2^{2-}) de la estructura cristalina del TiO_2 .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bergmann, S. 1992. Lehrbuch der Experimentalphysik. Walter de Gruyter. Berlin.
- Hering, E., R. Martin, M. Stohrer. 1989. Physik fuer Ingenieure (3 ed.). VDI-Verlag. Düsseldorf.
- Herrmann, J. M. 2005. Heterogeneous photocatalysis: state of art and present applications. Topics in Catalysis 34: 49-65.
- Lindner, M. 1997. Optimierung der Photokatalytischen Wasserreinigung mit Titandioxid: Festkoerper – und Oberflaechenstruktur des Photokatalysators. Genehmigte Dissertation zur erlangung de Grades Doktor der Naturwissenschaften. Universitaet Hannover.
- Lindner, M., D. W. Bahnemann, B. Hirthe, W. D. Griebler. 1997. Solar Water Detoxification: Novel TiO_2 Powders As Highly Active Photocatalysts. Journal of Solar Energy Engineering 119: 120-125.
- Marín, L., L. Santos, A. Arques, M. Miranda. 2012. Organic photocatalysis for the oxidation of pollutants and model compounds. Chemical Reviews 112: 1710-1750.
- Schroeder, H. 1999. Entwicklung eines Reaktors fuer die solare photokatalytische Wasserbehandlung. Genehmigte Dissertation. Technische Universitaet Clausthal. Deutschland.
- Serpone, N., A. Salinaro. 1999. Terminology, relative to photonic efficiencies and quantum yields in heterogeneous photocatalysis. Part I: suggested protocol. Pure and Applied Chemistry 71: 303-320.
- Suri, R. P., J. Liu, D. W. Hand, D. L. Crittenden, M. E. Mullins. 1993. Heterogeneous photocatalytic oxidation of hazardous organic contaminants in water. Water Environmental Research 65: 665-673.
- Turchi, C. S., D. F. Ollis. 1990. Photocatalytic degradation of organic water contaminants: Mechanisms involving hydroxyl raduca attack. Journal of Catalysis 122: 178.

OPINIÓN

ENFERMEDADES TRASMITIDAS POR PIOJOS, PULGAS Y GARRAPATAS

Maricela Esteban Méndez, Manuel Quintos Escalante, Alicia Herrera Benavides,
Petra Laura Calzada Contreras

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional
Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, México, 34220
Tel/Fax: 618 8142091
Correo electrónico: mquintos@hotmail.com

RESUMEN

Algunos insectos, como los piojos, las pulgas y garrapatas, transmiten diversas infecciones bacterianas, entre ellas tifus epidémico, tifus murino y fiebre manchada. El tifus es una de las plagas más devastadoras que ha sufrido la humanidad; constituye un grupo de enfermedades zoonóticas de distribución geográfica heterogénea, cuya severidad varía desde formas benignas y autolimitadas hasta infecciones fulminantes de elevada mortalidad.

PALABRAS CLAVE: Infecciones bacterianas, insectos, zoonosis

ABSTRACT

Some insects such as lice, fleas and ticks transmit various bacterial infections like epidemic typhus, murine typhus and spotted fever. Typhus is one of the most devastating pests that humanity has suffered; it constitutes a group of zoonotic diseases heterogeneous geographical distribution, whose severity varies from benign and self-limited to fulminant infections with high mortality.

KEY WORDS: Bacterial infections, insect, zoonoses

INTRODUCCIÓN

Las zoonosis constituyen un grupo de enfermedades de los animales que son transmitidas al hombre por contagio directo con el animal enfermo, a través de algún fluido corporal como orina o saliva, o mediante la presencia de algún intermediario como pueden ser los mosquitos u otros insectos

El hombre es un huésped accidental en el ciclo biológico de las bacterias en el que interviene diversos mamíferos (reservorios) y artrópodos que no sufren, en general, daño por la presencia de la bacteria y actúan como reservorios y/o vectores del microorganismo. Diversos mamíferos, esencialmente pequeños roedores, ganado y perros, contribuyen a perpetuar la infección y cerrar el ciclo biológico de la bacteria.

TIFUS EXANTEMICO O EPIDÉMICO

¿Que lo produce?

Es ocasionado por una bacteria denominada *Rickettsia*. En 1909 el médico Ricketts describió a los microorganismos causantes de la enfermedad, que luego llevarían el nombre de *Rickettsia* en su honor.

Distribución

Existen focos endémicos en regiones montañosas de México, América Central y Sur, Asia y África. Históricamente es una enfermedad relacionada con la guerra y el hambre. Se presenta en invierno y actualmente se encuentra en zonas infestadas de piojos, donde se vive en condiciones poco higiénicas. La proliferación de piojos se propicia en situaciones de catástrofe, hambruna, falta de higiene y hacinamiento, aumentando el riesgo de la enfermedad y favoreciendo la aparición de brotes como los sucedidos después de la guerra de Burundi en 1997, en Rusia en el mismo año y en Perú en 1998.

¿Cómo se transmite?

El piojo del cuerpo, *Pediculus humanus corporis*, se infecta al alimentarse con la sangre de un paciente con tifus agudo. Los piojos infectados secretan la bacteria en las heces, y por lo común, defecan en el momento de alimentarse. Las personas se infectan al frotar las heces o triturar el piojo sobre el sitio de la picadura o sobre otras abrasiones superficiales. Algunas infecciones han sido causadas por la inhalación de heces secas y pulverizadas de piojos infectantes.

Período de Incubación

El período de incubación es de una a dos semanas, con un promedio de 12 días. La enfermedad no se transmite directamente de una persona a otra. Los pacientes son infectantes para los piojos durante el período febril y posiblemente durante dos o tres días después de normalizada la temperatura. El piojo infectado expulsa bacterias con sus heces durante dos a seis días después de haber ingerido la sangre infectada, o antes si se le aplasta, muriendo invariablemente al término de las dos semanas siguientes a la infección. Las bacterias pueden sobrevivir durante semanas en el piojo muerto. La susceptibilidad es general. Por lo regular, un ataque confiere inmunidad permanente.

Ocurrencia en el hombre y en los animales

En un estudio realizado en Estados Unidos entre los años 1976 y 1979, se examinaron los sueros de pacientes para el diagnóstico de enfermedades resultando un 14% positivo. En otro estudio serológico realizado en ardillas voladoras entre 1972 y 1975, un 54,2% resultó positivo. El máximo de seroconversión se observó en los meses de otoño y principios de invierno, época que coincide con el máximo de ectoparásitos en las ardillas, los que se propagan rápidamente por la aglomeración en los nichos. No se ha encontrado otras especies animales infectadas.

Sintomatología

Se caracteriza por un comienzo súbito con calofríos, fiebre, dolor de cabeza y otros síntomas parecidos a la influenza, presentando después de 5 a 9 días un exantema (ámpulas) en el tronco, que se expande a la periferia y puede continuar durante la 2ª y 3ª semana. Con el exantema pueden aparecer signos de severidad como meningoencefalitis, incluyendo delirio y coma. En los casos sin tratamiento, la muerte ocurre por neumonía bacteriana o por un accidente vascular.

Reservorio

Los humanos son el reservorio por el cual la infección persiste durante los períodos epidémicos.

Medidas de Control y de Tratamiento

Como enfermedad objeto de vigilancia por la Organización Mundial de la Salud, la notificación a la autoridad local de salud es obligatoria, así como la Investigación de la fuente de infección y de los contactos.

Medidas de Tratamiento

Aplicación de polvos insecticidas a la ropa de vestir y a las sábanas del enfermo y de sus contactos y lavar, posteriormente, los dos tipos de ropa. Si el paciente fallece antes de la desparasitación, ésta deberá realizarse de igual forma. Normalmente se decide cuarentena de 15 días y aplicación de insecticidas a las personas susceptibles que están expuestas al tifus transmitido por piojos. El tratamiento específico consiste en el suministro de antibióticos por vía oral en una dosis inicial alta de 2 ó 3 gr., seguida por dosis diarias de 1 o 2 gr. por día en cuatro fracciones, hasta un día después del término de la fiebre (por lo común dos días). En caso de enfermedad muy grave con sospecha de tifus, hay que comenzar el tratamiento sin esperar confirmación de laboratorio.

Medidas en caso de Epidemia

Es obligatorio combatir rápidamente el tifus por medio de la aplicación de insecticida de acción residual a todos los contactos. En situaciones y zonas donde se sospecha que la infección está muy difundida, está indicada la aplicación sistemática de insecticidas de acción residual a todas las personas de la comunidad.

TIFUS MURINO, ENDÉMICO O URBANO

Distribución

Mundial. Se localiza en zonas donde las habitaciones humanas están infestadas de ratas y ratones. La incidencia es mayor en los meses de verano y otoño, cuando las pulgas de las ratas son más activas. Si bien la enfermedad ocurría sobre todo en áreas urbanas, especialmente en edificios infestados de roedores, actualmente se observa su extensión a áreas rurales.

Cuadro Clínico

Su evolución se asemeja a la del tifus transmitido por piojos, pero es más benigna y es causado por *Rickettsia tiphy*. El cuadro clínico se caracteriza por fiebre, dolor de cabeza intensa y dolores generalizados. A los 5 o 6 días del comienzo de la fiebre aparece erupción plana, que se observa primero en el tronco y luego en las extremidades, pero no afecta la palma de las manos, la planta de los pies ni la cara. Además, presenta tos, náusea y vómitos. En pacientes no tratados, la convalecencia puede extenderse por varios meses. Las complicaciones son raras y la tasa de letalidad que, para todas las edades es menor al 1%, pero aumenta con la edad.

Reservorio

Las ratas, ratones (*Rattus rattus* y *R. norvegicus*) y otros mamíferos pequeños constituyen el reservorio. La infección persiste en la naturaleza por el ciclo rata-pulga-rata.

Período de incubación, transmisibilidad, susceptibilidad y resistencia

El período de incubación tiene un promedio de 12 días, con un rango de variación entre 6 y 14 días. No existe transmisión directa de una persona a otra. En el hombre, la difusión de la enfermedad está determinada por el nivel de la enzootia entre las ratas y el grado de contacto con estos animales y sus pulgas. La susceptibilidad es general y la enfermedad confiere inmunidad. Las pulgas permanecen infectadas de por vida (hasta un año).

Modo de Transmisión

La infección al hombre ocurre cuando la pulga de la rata lo pica y defeca sobre su piel. Al rascarse, el hombre introduce la materia fecal contaminada a través de la picadura u otra abrasión de la piel. Es probable que el hombre también pueda adquirir la infección por otras vías, tales como la conjuntiva o por inhalación.

Medidas de Control y Tratamiento

Medidas Preventivas

Notificación a la autoridad local de salud e Investigación de los contactos y de la fuente de infección: búsqueda de roedores en las proximidades del hogar del enfermo. Reducción del índice de pulgas en roedores, a través de la aplicación de insecticidas de acción residual en las vías de paso, madrigueras y refugio de ratas. Antes de emprender medidas de control de roedores habrá que esperar que disminuya la población de pulgas para evitar mayor exposición del hombre. Reducción del número de roedores a través de la aplicación de raticidas. Medidas de Saneamiento Ambiental en la población dirigidas a mantener alejadas las ratas.

Tratamiento

El tratamiento específico consiste en el suministro de antibióticos por vía oral en una dosis inicial alta de 2 ó 3 gr, seguida por dosis diarias de 1 o 2 gr. por día en cuatro fracciones, hasta que el enfermo no tenga fiebre (por lo común dos días) y durante un día más. En caso de enfermedad muy grave con sospecha de tifus, hay que comenzar el tratamiento sin esperar confirmación de laboratorio.

Medidas en caso de Epidemia

En las zonas endémicas con registros de muchos casos, debe utilizarse un insecticida de acción residual eficaz contra las pulgas de las ratas para disminuir la población de dichos insectos y la incidencia de infección en las ratas y los humanos.

FIEBRE MACHADA, ENFERMEDAD DE LYME y FIEBRE Q

¿Cómo se transmite?

Enfermedad transmitida por garrapatas las cuales tienen en su organismo a la bacteria *R. rickettsii*. Esta bacteria se encuentra frecuentemente en garrapatas el ganado, vacuno, ovejas, cabras y en otros mamíferos domésticos. Las garrapatas inyectan las bacterias en la piel mientras se alimentan, en tanto que los piojos y las pulgas depositan heces infectadas en la piel y el contagio ocurre cuando los microorganismos son frotados en el lugar de la picadura al momento de rascarse.

Distribución

Muestran una distribución mundial. Un dato de interés epidemiológico es que los casos suelen concentrarse en primavera y verano, correspondiendo al período de máxima actividad del vector.

Sintomatología

Se caracteriza por presentar una lesión roja y plana, en el lugar donde se encuentra la picadura de la garrapata. Además, entre los síntomas se encuentra un cuadro parecido a la gripe (dolores musculares y en las articulaciones), además de dolor de cabeza e inflamación de las articulaciones.

Tratamiento

El tratamiento consiste en la aplicación de antibióticos, que varían dependiendo del estado de la enfermedad, y de la edad del paciente. También se suele administrar ibuprofeno, para aliviar la inflamación.

La información presentada se apoyó en la consulta de los siguientes documentos:

- García, G. J. et al. 2007. Tifo Murino en el estado de Oaxaca después del huracán Wilma. Anales Médicos 52: 198-205.
<http://salud.edomexico.gob.mx/html/article.php?sid=339>
- Barba, E. J. R. 2009. Fiebre manchada de las Montañas Rocosas. Revista Mexicana de Patología Clínica 56:193-208.
- Mercado, U. M. C. 2010. Rickettsiosis Historia y actualidad. Enfermedades Infecciosas y Microbiología 30: 25-31



OPINIÓN

ALGUNOS COMENTARIOS SOBRE EL CULTIVO DE HONGOS COMESTIBLES EN DURANGO, MÉXICO

Néstor Naranjo Jiménez^{1,3}, Jesús Herrera Corral^{1,3}, Natividad Uribe Soto^{1,3}, Norma Almaraz Abarca^{1,3}, Imelda Rosas Medina², Aurelio Colmenero Robles².

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional. Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, México, 34220.

²Secretaría de Investigación y Posgrado, Instituto Politécnico Nacional.

²º piso del edificio de la Secretaría Académica. México, D. F.

³Becario COFAA y/o EDI.

De acuerdo con datos proporcionados por la International Society for Mushroom Science de Inglaterra y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en el mundo anualmente se consumen 30 especies diferentes de hongos, de las cuales se estima que dos millones de toneladas corresponden a especies cultivadas (67%) y un millón (33%) a especies silvestres (Díaz, 2004; Barahona, 2008). El cultivo de hongos comestibles en México inició en 1933, en un área cercana a Texcoco, en el estado de México (Martínez-Carrera *et al.*, 2000). El cultivo de hongos comestibles como actividad productiva ha ido ganando terreno en el mercado nacional, al utilizar los desechos agrícolas, forestales y agroindustriales como sustrato para su cultivo, además de requerir de una inversión mínima (Naranjo y Herrera, 2000).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha recomendado que se establezcan programas de extensión del cultivo de hongos en los países subdesarrollados para reducir la deficiencia proteica de la dieta de sus habitantes y reducir la contaminación ambiental. El interés por el cultivo comercial de hongos actualmente se está propiciando en casi todos los estados de México.

La promoción del cultivo de hongos como una herramienta para el desarrollo comunitario cumple también con reducir la presión sobre las especies de hongos silvestres comestibles en las zonas forestales. Por lo tanto, la tecnología del cultivo de hongos comestibles setas (*Pleurotus sp*) es una alternativa para apoyar el desarrollo de comunidades rurales y forestales.

Con el propósito de difundir el cultivo de hongos comestibles setas, Naranjo *et al.* (2009a) realizaron un estudio para evaluar la apropiación del conocimiento sobre el cultivo de hongos comestibles setas (*Pleurotus sp*) y su impacto económico en un grupo de mujeres en la sierra de Durango, Dgo, México, a partir de un proyecto de autogestión y diversidad productiva para elaborar productos de mayor valor agregado, como licor de hongo, crema cosmética de extracto de hongo, shampoo, mermelada y chorizo de hongo.

Con la producción del hongo, así como la apropiación del conocimiento sobre el cultivo por parte del grupo de mujeres y la transferencia de su experiencia a otros grupos de mujeres de comunidades ejidales de la sierra de El Salto, Pueblo Nuevo, Dgo., México se observó una mejora en sus ingresos (Naranjo *et al.* 2009b). En el estado de Durango se han establecido ocho módulos de producción del hongo seta, su producción es intermitente y alcanza la tonelada, que es vendida en fresco y en productos elaborados en cada localidad y en la ciudad de Durango.

El conocimiento, cultivo y consumo del hongo seta ha crecido, en fresco y en productos elaborados como licor de hongo, crema cosmética de extracto de hongo, shampoo, mermelada y chorizo de hongo. Es recomendable continuar con la promoción del cultivo de hongos comestibles, algunas especies de hongos lignícolas silvestres como *Hericium erinaceus*, *Sparassis crispa* y *Ganoderma spp.* presentes en los bosques de Durango, y varias especies silvestres de *Pleurotus spp.* representan opciones alimentarias, económicas, y también biológicas porque permite disponer de desechos lignocelulosicos resultantes de las actividades agropecuarias, forestales y agroindustriales, además de reducir la presión de las colectas de los hongos de sus poblaciones naturales en los ecosistemas forestales, propiciando al mismo tiempo, nuevas opciones productivas en los bosques para las personas que viven y depende de ese recurso. Para incrementar la cultura micofaga en el estado, se hace necesario realizar foros, talleres, reuniones y congresos que pongan de manifiesto la importancia de estos organismos en la vida del hombre.

La información presentada se apoyó en la consulta de los siguientes documentos:

- Barahona, S. 2008. Benchmarking del modelo Taiwanés en la producción y comercialización de hongos a mercados internacionales. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad del Itzmo. Guatemala.
- Díaz, G. 2004. Análisis económico para el establecimiento de un proyecto de producción de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*), en la zona de Atenas, Alajuela. Costa Rica. Tecnología en Marcha 17: 4.
- Martínez-Carrera, D., S. A. Larqué, M. Aliphath, A. Aguilar, M. Bonilla, W. Martínez. 2000. La biotecnología de hongos comestibles en la seguridad y soberanía alimentaria de México. II Foro Nacional sobre Seguridad y Soberanía Alimentaria. Academia Mexicana de Ciencias-CONACYT. México, D. F., pp. 193-207.
- Naranjo, J. N., J. Herrera. 2000. El aprovechamiento de hongos silvestres en la Zona Boscosa del Salto Pueblo Nuevo, Durango. Interciencia CIIDIR-IPN-Durango 1(4): 4-6.

- Naranjo, J. N., M. Díaz, C. J. Herrera. 2009a. Cultivo de hongos comestibles: experiencia en la sierra de Durango, Dgo. México. I Congreso Internacional de Desarrollo comunitario "La Sustentabilidad y los Retos ante la Globalización. México, pp. 3.
- Naranjo, J.N., G. González, C. Herrera, N. Almaraz, S. Uribe. 2009. Cultivo de setas, en la comunidad del ejido San Antonio y anexos, Durango. X Congreso Nacional de Micología, Guadalajara, Jal. México.



OPINIÓN**EL MICROBIOMA HUMANO**

Manuel Quintos Escalante, Maricela Esteban Méndez, Alicia Herrera Benavides,
Petra Laura Calzada Contreras

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional
Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, México, 34220
Tel/Fax: 618 8142091

RESUMEN

La adquisición de conciencia de cómo hemos modificado el ambiente nos obliga a tener nuevas visiones de nuestro entorno, tal es el caso de la similitud entre las clasificaciones de los diferentes biomas presente en el planeta tierra y los micro-biomas particulares de cada ser humano. En este trabajo se presenta una reseña de los hallazgos (diferencias y similitudes) del proyecto Determinación del Micro-Bioma Humano (PMH), generador de datos como ciertos perfiles característicos entre gente obesa y gente delgada con relación a la incidencia de alergias y la posibilidad de desarrollar ciertas enfermedades. En la etapa en la que se encuentra el proyecto aún no se puede hablar de diagnósticos pero, sí se observa una relación entre el uso indiscriminado de antibióticos y el desarrollo de nuevas sustancias antimicrobianas con el desarrollo de alergias, obesidad, y diabetes, entre otras enfermedades.

PALABRAS CLAVE: Microorganismos, micro-biomas, enfermedades

ABSTRACT

The acquisition of awareness of how we have modified the environment requires us to have new visions of our environment, as in the case of similarity between the classifications of different Earth biomes and micro-biomes of each individual human being. In the present paper an overview of the findings of the Determination of Human Micro-Biome Project, data generator as certain characteristic profiles between fat people and thin people relative to the incidence of allergies and the possibility of developing certain diseases. At the current stage no diagnostics can be done, but a relationship between the indiscriminate use of antibiotics and the development of new antimicrobials with health disorders and diseases as allergies, obesity and diabetes is observed.

KEYWORDS: Microorganism, micro-biomes, diseases

BIOMA

Del griego «bios», vida, también llamado paisaje bioclimático, representa determinadas partes del planeta que comparten clima, flora y fauna. Un bioma es el conjunto de ecosistemas. Es la expresión de las condiciones ecológicas del lugar en el plano regional o continental: el clima y el suelo determinarán las condiciones ecológicas a las que responderán las comunidades de plantas y animales del bioma en cuestión. Son biomas los siguientes: desierto, tundra, taiga, bosque templado caduco, estepa templada, selva subtropical fría, y desierto árido, entre otros.

MICROBIOMAS HUMANOS

Los microbios benignos que nos habitan cumplen una variedad muy amplia de funciones indispensables para nuestra supervivencia y nuestra salud. Recientemente se publicó el catálogo más completo hasta ahora de estos microorganismos y los genes útiles que nos aportan.

En cada centímetro cuadrado de la superficie de la piel hay unas 10 000 bacterias. Si tomamos una muestra más profunda, por ejemplo al nivel de los folículos pilosos, encontraremos aproximadamente 1 000 000 de bacterias por centímetro cuadrado. Al añadir los microorganismos que viven en la boca, la nariz, el tracto digestivo y los genitales, obtenemos una cifra aún más sorprendente: se estima que el organismo humano alberga unos 100 billones (millones de millones) de microorganismos. Este número equivale a 10 veces el número total de células humanas del organismo. Aportan sólo del 1 al 3% de nuestra masa corporal, un individuo de 70 kilogramos de peso lleva a cuestas, en la piel y en las entrañas, entre 700 gramos y dos kilogramos de bacterias.

Desde hace unos años, esas comunidades bacterianas empezaron a verse como auténticos ecosistemas. Un ejemplo es el artículo publicado en la revista *Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings* en 2001, del investigador David N. Fredricks, de la Escuela de Medicina de la Universidad de Stanford, señala que el ecosistema del suelo es una buena analogía del ecosistema de la piel humana y que en este último hay múltiples nichos: "la axila puede ser tan diferente del tronco como una selva tropical de un desierto".

EL MICROBIOMA HUMANO

Es un programa de investigación que se inició en 2007 con el objetivo de construir un catálogo o mapa genético de los microorganismos que pueblan el cuerpo de un adulto saludable. Lo opera un consorcio de 250 científicos de casi 80 centros de investigación de Estados Unidos

EL PROYECTO DEL MICROBIOMA HUMANO

Publicó sus hallazgos en una serie de artículos en la revista Nature y en revistas de la Biblioteca Pública de Ciencia. Los científicos del proyecto obtuvieron un catálogo del material genético de bacterias, virus y otros microorganismos tomados de partes distintas del cuerpo de 242 voluntarios sanos (129 hombres y 113 mujeres). Las muestras provenían de la mucosa de la boca, la lengua, el paladar, la faringe, las anginas, las encías, la parte posterior de las orejas, las axilas, la parte interior del codo, la nariz y distintas partes de la región vaginal en las mujeres. También se tomaron muestras de excremento para estudiar los microorganismos del tracto digestivo.

No es sencillo determinar cuáles son las condiciones óptimas de cultivo, como temperatura y tipo de nutrientes, que las bacterias requieren. Se estima que de todas las especies de bacterias que existen en el planeta, se han cultivado menos del 1%, y esa cifra podría ser similar en lo que respecta a las bacterias de nuestro cuerpo. Nuevas técnicas, parecidas a las que se emplearon para descifrar el genoma humano (la secuencia de letras genéticas que forman nuestro ADN) se utilizan en una joven área de investigación llamada metagenómica. En ella se inscribe el Proyecto del Micro Bioma Humano (PMH), dió a conocer la recuperación e identificación de más de 5 000 000 de genes bacterianos que estaban mezclados con el de los humanos. El término microbioma lo acuñó en 2001 Joshua Lederberg, biólogo molecular estadounidense que fue uno de los tres investigadores que obtuvieron en 1958 el Premio Nobel de Medicina; a él se lo otorgaron por sus estudios genéticos en bacterias. Originalmente, “microbioma” se refería al conjunto de genes de nuestros microorganismos comensales que forman la microbiota, pero hoy en día ambos términos se usan como sinónimos.

Los microbios benignos que nos habitan cumplen una variedad muy amplia de funciones indispensables para nuestra supervivencia y nuestra salud. Recientemente se publicó el catálogo más completo hasta ahora de estos microorganismos y los genes útiles que nos aportan.

METAGENÓMICA

Para llevar a cabo ese estudio, los investigadores se valen del uso de marcadores moleculares de identidad, tales como el gen del ARN ribosomal, amplificado por técnicas de PCR, de muestras naturales. Así los científicos consiguen amplificar la cantidad de ADN para posteriormente identificar si existen copias similares en otros microorganismos.

Obtener la secuencia de una gran cantidad de microorganismos principalmente de medios no impactados por los humanos permite estudiar y almacenar el ADN de estos microorganismos en bibliotecas de ADN donde está toda la información genética constituye una reserva genética de gran interés.

Los microorganismos que nos habitan aportan beneficios que jamás se habrían imaginado ni los más creativos anunciantes de cremas rejuvenecedoras. Para distinguir a los bichos benignos de los patógenos, los investigadores llaman a los primeros comensales. Algunos de estos comensales se alimentan de las secreciones grasosas de las células de la piel y producen una capa humectante que mantiene la piel flexible y evita que se agriete. Así, muchos microbios patógenos que nos podrían invadir por las grietas de la piel no pueden penetrar en el organismo.

Nuestros huéspedes microscópicos también generan vitaminas y sustancias antiinflamatorias que nuestro organismo no puede producir por sí solo. En el tracto digestivo, los componentes de la microbiota intestinal (antes llamada “flora”) nos ayudan a asimilar nutrientes y a hacer digeribles ciertos compuestos de los alimentos. “Sin las bacterias del tracto digestivo moriríamos por no absorber las cantidades necesarias de vitaminas”, sin los microorganismos benéficos que llevamos en el cuerpo moriríamos también “debido a las infecciones en las mucosas, en la piel, o por patógenos que normalmente no pueden proliferar gracias a la presencia de los huéspedes que siempre llevamos”. “Los humanos tenemos sólo unos cuantos genes relacionados con enzimas que nos permiten digerir carbohidratos complejos. Con la microbiota esta capacidad se extiende a más de 100 genes”. En otras palabras, los genes de nuestros comensales microscópicos complementan a los propiamente humanos (los de nuestras células). Es más, estos microbios benignos que nos colonizan aportan más genes vitales que nuestro propio genoma: el ADN de un humano consta de unos 22 000 genes funcionales, mientras que los organismos del microbioma humano contribuyen con unos 8 000 000 de genes; es decir, 360 veces más. El microbioma ha sido llamado “el órgano olvidado”, por las importantes funciones que desempeña en nuestro cuerpo. ¿Cómo adquirimos el microbioma?

LA INVASIÓN SE INICIA DESDE EL NACIMIENTO.

Kjersti Aagaard Tillery, del Baylor College of Medicine en Houston, Texas, encontró que la composición de los microorganismos que habitan en la vagina cambia durante el embarazo: comienza a proliferar el *Lactobacillus johnsonii*, bacteria que produce enzimas digestivas y que normalmente se encuentra en los intestinos. Así, durante un parto normal el bebé quedará expuesto a éste y otros microbios que lo preparan para poder digerir la leche materna. Ésta, por cierto, alberga más de 600 especies de bacterias, según constató en otro estudio Khaterine M. Hunt, de la Universidad de Idaho, Estados Unidos. “La firma microbiana de cada persona es única, de manera muy semejante a cómo el genoma de un individuo es único”.

ASEPSIA PELIGROSA

Una nueva oleada de estudios busca la relación entre ciertos trastornos de la salud y la composición del microbioma del individuo que los padece. Por ejemplo, se ha observado que en las últimas décadas han aumentado notablemente, sobre todo en Estados Unidos y México, las alergias y la obesidad, entre otros padecimientos. El aumento coincide con un incremento en el uso de antibióticos y de otras medidas higiénicas encaminadas a evitar el contacto con microbios

sobre todo en las primeras etapas de la vida. Varios investigadores sugieren que estas dos cosas están relacionadas. Agustín López Munguía observó que hay una correlación entre el desarrollo del microbioma de un individuo y su susceptibilidad a alergias y asma: “los niños adquieren ciertos microorganismos al pasar por la vagina al nacer, lo que marca una diferencia importante respecto a los niños que nacen por cesárea”

Contacto temprano con microbios en los mamíferos recién nacidos fortalece el sistema inmunitario y el efecto es duradero. Por ejemplo, se ha observado una fuerte relación entre el contacto temprano con microbios y la resistencia al asma y a la enfermedad inflamatoria intestinal. Otras investigaciones han relacionado la composición de nuestra microbiota con la obesidad y con la diabetes. Ya se ha caracterizado la microbiota de diversos tipos de individuos niños, adultos, personas delgadas, personas obesas, y se ha visto que los perfiles difieren en función de esos factores: “No podemos hablar de un diagnóstico directo tal microorganismo, tal enfermedad, pero sí de una correlación entre ciertas poblaciones bacterianas y un perfil dado”. Lo que está claro es que es importante dejar que los niños pequeños adquieran los microbios que necesitan para vivir sanos, aunque podría sonar paradójico para quienes se criaron con la idea de que los microbios son enemigos de la salud.

El filósofo español José Ortega y Gasset decía “yo soy yo y mi circunstancia”. Quizá hoy podríamos añadir: “...y mi microbioma”. Esta nueva ecología médica sugiere que para la salud humana es tan importante conservar la diversidad biológica de la microbiota como conservar la diversidad de los organismos macroscópicos para la salud del ambiente. Una manera de hacerlo es no abusar de los antibióticos, que arrasan con esta biodiversidad (por eso se aconseja ingerir yogur bacilos lácticos, que son bacterias tras recibir un tratamiento con antibióticos). “Si la gente supiera todas las funciones benéficas que tienen estas bacterias en nuestro organismo”, dice el investigador, “lo pensaría dos veces antes de tomarse un antibiótico”.

El PMH no habría sido posible sin las modernas técnicas de secuenciación del ADN ni los avances en la capacidad de las computadoras. Juntos, estos adelantos nos permiten analizar e interpretar los resultados de tales pesquisas metagenómicas. Los resultados están revolucionando nuestro conocimiento del organismo humano y también la manera de entender muchas enfermedades, así como los tratamientos para combatirlas. En particular, esta línea de investigación podría darnos terapias para prevenir o incluso curar trastornos como alergias, asma, enfermedad inflamatoria intestinal, obesidad y hasta esclerosis múltiple y otras enfermedades autoinmunes.

Este trabajo de opinión estuvo basado principalmente en el artículo:

Guzmán, C. G. El microbioma humano. Revista ¿Cómo Ves? Dirección General de Divulgación de la Ciencia, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) contacto@universum.unam.mx

OPINIÓN**APROVECHAMIENTO DE *Agave durangensis* GENTRY (AGAVACEAE)
PARA LA OBTENCION DE ANTIOXIDANTES EN DURANGO, MÉXICO**

Imelda Rosas Medina^{1,3}, Aurelio Colmenero Robles^{1,3}, Norma Almaraz Abarca^{2,3},
Nestor Naranjo Jiménez^{2,3}, Miguel Ángel Ordaz Flores⁴

¹Secretaría de Investigación y Posgrado, Instituto Politécnico Nacional
Segundo Piso del edificio de la Secretaría Académica. Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Delegación Gustavo A Madero,
México, D.F. 0740.

²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional
Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, México, 34220.

³Becarios COFAA-IPN

⁴Alumno BEIFI-COFAA-IPN, participante en el proyecto SIP 20140341
Correo electrónico: imelros@hotmail.com

A partir de la década los años setenta se han llevado a cabo estudios en los cuales se ha demostrado y destacado que las especies de *Agave* contienen una diversidad de compuestos fenólicos, los cuales pueden tener importantes actividades biológicas, entre esos compuestos están los derivados glicósidos de canferol, flavanonas, homoisoflavanones, y ácidos fenólicos, entre otros (Almaraz-Abarca *et al.*, 2009; Morales-Serna *et al.*, 2010).

Los fenoles comprenden un amplio grupo de compuestos caracterizados por poseer uno o más anillos aromáticos con al menos un grupo hidroxilo. Los dobles enlaces conjugados de su estructura les permiten ejercer una acción antioxidante. Los antioxidantes naturales, componentes de los alimentos de origen vegetal, son compuestos capaces de retrasar o inhibir la oxidación de un sustrato pudiéndolos clasificar en dos grandes grupos según su mecanismo de acción: antioxidantes primarios, que neutralizan las reacciones en cadena, reaccionando con los radicales libres convirtiéndolos en compuestos termodinámicamente estables; y antioxidantes secundarios, los cuales actúan retardando el inicio de las reacciones en cadena formadoras de los hidroperóxidos, lo cual es benéfico para la salud humana.

Los antioxidantes biológicos actúan donando electrones o protones que pueden proteger el cuerpo humano de los radicales libres y retardar el progreso de muchas enfermedades crónicas, así como alteraciones en los alimentos. Los efectos benéficos derivados del consumo de compuestos fenólicos dependen de la cantidad consumida, de su biodisponibilidad, de la variedad estructural, y de la influencia de factores genéticos. Se estima que la ingesta aditiva de flavonoles, flavanonas e isoflavanonas en las sociedades occidentales es de 100-150 mg/día (García, 2005).

Agave durangensis es una especie prácticamente endémica del sur del estado de Durango y norte del estado de Zacatecas. Es la principal especie de *Agave* que sustenta una industria regional de producción de mezcal. En las hojas de *Agave durangensis* se han encontrado 23 flavonoides glicósidos, doce de ellos fueron derivados 3-O-glicósidos del canferol, tres fueron derivados 3-O-glicósidos de la quercetina y otros compuestos fenólicos a muy bajas concentraciones (Almaraz-Abarca *et al.*, 2011). Los compuestos dominantes fueron los derivados del canferol, para los cuales se ha encontrado una importante actividad inhibidora de enzimas involucradas en el desarrollo de cáncer en humanos (Berger *et al.*, 2013). La cantidad de derivados 3-O-glicósidos de canferol y de quercetina en las hojas de *Agave durangensis* revela la variedad y abundancia de compuestos fenólicos sintetizados por esta especie que puede ser una fuente importante de antioxidantes y de inhibidores enzimáticos naturales, a utilizarse en la industria farmacéutica y de los alimentos.

Las flores de la mayoría de las especies de *Agave* son comestibles (Gentry, 1982). Las flores de *Agave durangensis* sintetizan y acumulan compuestos fenólicos, en ellas se han encontrado ocho flavonoles, cinco derivados 3-O-glicósidos de quercetina y tres 3-O-glicósidos de canferol; a diferencia de las hojas, en las flores los derivados 3-O-glicósidos de quercetina dominan sobre los derivados 3-O-glicósidos de canferol. Esos compuestos fenólicos brindan a la flores de esa especie de *Agave* una relevante capacidad antioxidante (Barriada-Bernal *et al.*, 2014).

Agave durangensis es una fuente importante de flavonoides y ácidos fenólicos con actividad antioxidante; las hojas, como residuos del jimado (práctica agrícola para la elaboración de mezcal) pueden aprovecharse para obtener una fuente de compuestos fenólicos con actividades biológicas útiles en la industria farmacéutica y de los alimentos, y las flores, consumidas como alimento, son una fuente de antioxidantes naturales.

La información presentada se apoyó en la consulta de los siguientes documentos:

- Almaraz-Abarca, N., E. A. Delgado-Alvarado, V. Hernández-Vargas, M. Ortega-Chávez, G. Orea-Lara, A. Cifuentes-Díaz de León, J. A. Ávila-Reyes, R. Muñiz-Martínez. 2011. Profiling of phenolic compounds of somatic and reproductive tissues of *Agave durangensis* Gentry (Agavaceae). *American Journal of Applied Sciences* 6: 1076-1085.
- Barriada-Bernal L. G., N. Almaraz-Abarca, E. A. Delgado-Alvarado, T. Gallardo-Velázquez, J. A. Ávila-Reyes, M. I. Torres-Morán, M. S. González-Elizondo, Y. Herrera-Arrieta. 2014. Flavonoid composition and antioxidant capacity of the edible flowers of *Agave durangensis* (Agavaceae). *CyTA Journal of Food* 12: 105-114.
- Berger, A., S. Venturelli, M. Kallnisdhies, A. Bocker, C. Busch, T. Weiland, S. Noor, C. Leichner, T.S. Weiss, U. M. Lauer. 2013. Kaempferol, a new nutrition derived pan-inhibitor of human histone deacetylase. *Journal of Nutritional Biochemistry* 24:977-985.
- García, A. F. J. 2005. Evaluación in vitro e in vivo de la funcionalidad de un producto rico en antioxidantes. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. España.
- Gentry, H. S. 1982. *Agaves of continental North America*. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona.
- Morales-Serna, J. A., A. Jiménez, R. Estrada-Reyes, C. Márquez, J. Cárdenas, M. Salmón. 2010. Homoisoflavanones from *Agave tequilana* Weber. *Molecules* 15: 3295-3301.

OPINIÓN **ANÁLISIS DEL CONOCIMIENTO SOBRE ANTIOXIDANTES EN DURANGO: ESTUDIO PRELIMINAR**

Imelda Rosas Medina², Aurelio Colmenero Robles², Norma Almaraz Abarca¹,
Néstor Naranjo Jiménez¹, J. Natividad Uribe Soto¹

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional
Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, México, 34220.

²Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP), Instituto Politécnico Nacional.

2º piso del edificio de la Secretaría Académica. México, D. F.

Correo electrónico: imelros@hotmail.com

Los seres humanos estamos expuestos a una gran cantidad de agentes oxidantes, algunos son productos de la contaminación ambiental, del estrés, del humo del tabaco, y del consumo de una serie de alimentos con alto contenido de grasa, entre otros múltiples compuestos xenobióticos. Como consecuencia, en el cuerpo humano se crean radicales libres, a través del metabolismo anaeróbico y la cadena de transporte de electrones a nivel mitocondrial, y la oxidación de los ácidos grasos. Cuando la formación de radicales libres excede la capacidad de defensa del organismo falla el "balance oxidativo" y se produce daño a las moléculas biológicas. El ataque a los grupos funcionales de las proteínas provoca oxidación de aminoácidos y modificación de las proteínas como fragmentación y agregación (Olguín-Contreras *et al.*, 2004).

Los antioxidantes son una excelente alternativa como principio activo funcional debido a que numerosos estudios han demostrado que poseen efectos favorables sobre una o varias funciones específicas en los seres humanos que mejoran el estado de salud, generando bienestar y evitando problemas asociados a los radicales libres. Los antioxidantes son compuestos que inhiben o retrasan la oxidación de otras moléculas mediante la inhibición de la iniciación y de la propagación de reacciones en cadena oxidativas. Estos antioxidantes actúan principalmente en reacciones de terminación de cadenas de radicales libres, impidiendo la oxidación de lípidos y otras moléculas cediendo átomos de hidrógeno (Rivero y Betancort, 2006). Los antioxidantes pueden eliminar o bloquear los radicales libres e inhibir la peroxidación lipídica (Aherne y O' Brien, 2002). Entre los antioxidantes más importantes se encuentran la vitamina C o ácido ascórbico, que reacciona con los radicales libres, formando radicales ascorbilo, y la vitamina E o tocoferol, que es considerado como un potente antioxidante, el cual protege la integridad de las membranas celulares. Los antioxidantes naturales están presentes en ciertos productos vegetales que con mayor o menor frecuencia ingerimos en la dieta. En la actualidad se han incrementado los estudios científicos para encontrar productos naturales con beneficios para la salud a través de análisis fitoquímicos de una amplia variedad de vegetales que contienen antioxidantes, los cuales tienen un gran beneficio para la salud neutralizando los radicales libres. Sin embargo, ese conocimiento científico no siempre está al alcance de los consumidores o el público en general. En el estado de Durango, se realizó un estudio para evaluar qué tan informado en esos temas está la población consumidora.

Se diseñó la encuesta con 11 preguntas, 10 cerradas o de opción múltiple y una abierta, y se aplicaron a 260 personas en los municipios de Durango, Guadalupe Victoria, Nombre de Dios, y Vicente Guerrero. La información obtenida de manera preliminar fue la siguiente: el 53% de la población encuestada correspondió al sexo femenino y el 47% al masculino. En cuanto a la escolaridad, 60% tenían estudios de educación media superior y superior, el 34% tenían educación primaria y secundaria, y el 5% carecía de estudios. El 72% de la población poseía información sobre los antioxidantes, de estos un 38% los considero como parte de las frutas y verduras y como nutraceuticos un 25.5%; el 9% restante los ubico como colorantes y/o medicinas. El 65% de los encuestados afirmó saber el mecanismo de acción de los antioxidantes, que lo consumen en bebidas comerciales (17%), como alimento industrializado (31%) y como complemento alimenticio (39%). Un 37% afirmó consumir algún tipo de antioxidante y un 27% no lo sabía. El 82% afirmó que le gustaría tener más información sobre el tópico y el 79% afirmó que consumiría un producto comercial con las cualidades de antioxidante.

Con base en la información preliminar obtenida se puede inferir que hay un conocimiento e interés por este tipo de compuestos y una posibilidad para el consumo de productos elaborados con propiedades antioxidantes, con fines de prevención para la salud.

La información presentada se apoyó en la consulta de los siguientes documentos:

Aherne, S., N. O'Brien. 2002. The relation of structure to antioxidant active of quercetin and some of its derivatives. *Journal of Food Science* 31: 518-523.

Olguín-Contreras, G., G. Meléndez-Mier, R. A. Zúñiga, A. P. Pasquetti-Ceccatelli. 2004. Antioxidantes y aterosclerosis. *Revista de Endocrinología y Nutrición* 12: 199-206.

Rivero, R. A., R. J. R. Betancort. 2006. Evaluación de la actividad antioxidante de polifenoles de algas marinas. www.iupac.org/publications/cd/medicinal_chemistry/

CENTRAL DE INSTRUMENTACIÓN

**Tercero Autorizado
como laboratorio de prueba
COFEPRIS No. TA-13-12
Acreditado por la ema No. de
acreditación No. A-0553-050/14**



Ofrece sus servicios de:

**ANÁLISIS DE ALIMENTOS Y AGUA PARA CONSUMO HUMANO COMO LABORATORIO
TERCERO AUTORIZADO ANTE COFEPRIS**

Determinación de dureza total en agua
NMX-AA-072-SCFI-2001

Determinación de cloruros totales en agua
NMX-AA-073-SCFI-2001

Determinación de metales pesados en agua naturales y potables (As, Cd, Cr, Pb)
NMX-AA-051-SCFI-2001

Determinación de fluoruros en agua
NOM-201-SSA1-2002

Determinación de bacterias coliformes totales. Técnica del número más probable
NOM-112-SSA1-1994

Detección de coliformes totales, coliformes fecales y Escherichia coli por NMP
CCAYAC-M-004.

Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa
NOM-092-SSA1-1994

Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa
NOM-113-SSA1-1994

Método para la determinación de Salmonella en alimentos
NOM-114-SSA1-1994

Método para la determinación de Staphylococcus aureus en alimentos
NOM-115-SSA1-1994

ANÁLISIS DE ALIMENTOS Y AGUA PARA CONSUMO HUMANO CON ACREDITACIÓN ANTE LA ema

Determinación de bacterias coliformes totales. Técnica del número más probable
NOM-112-SSA1-1994

Determinación de cloruros totales en agua
NMX-AA-073-SCFI-2001

Determinación de fluoruros en agua
NOM-201-SSA1-2002

Determinación de metales pesados en agua potable y agua purificada (As, Cd, Pb)
NOM-117-SSA1-1994

INFORMES CON:

M. EN C. MANUEL QUINTOS ESCALANTE
Coordinador del Sistema de Gestión de la
Calidad
Ext. 82632

DRA. LAURA S. GONZÁLEZ VALDEZ
Coordinadora de la Central de Instrumentación
Ext. 82620

DIRECCIÓN: Sigma #119 Fracc. 20 de Noviembre II
Durango, Dgo., México. C.P. 34220

TEL Y FAX: (55) 57296000 Ext.: 82615, 82616 y 82628
(618) 8 14 20 91, (618) 8 14 45 40

