

Handbook T-IV

CIERMMI Mujeres en la Ciencia

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel
OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel
DIAZ-ARENAS, Perla Maidaly
CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo

Coordinadores



ECORFAN®

Coordinador

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel. PhD
OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel. PhD
DIAZ-ARENAS, Perla Maidaly. BsC
CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo. BsC

Editor en Jefe

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

ISBN: 978-607-8695-04-1

Sello Editorial ECORFAN: 607-8695

Número de Control HCI: 2019-04

Clasificación HCI (2019):030919-0104

©ECORFAN-México, S.C.

Ninguna parte de este escrito amparado por la Ley Federal de Derechos de Autor, podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Para los efectos de los artículos 13, 162,163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169,209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Violaciones: Ser obligado al procesamiento bajo ley de copyright mexicana. El uso de nombres descriptivos generales, de nombres registrados, de marcas registradas, en esta publicación no implican, uniformemente en ausencia de una declaración específica, que tales nombres son exentos del protector relevante en leyes y regulaciones de México y por lo tanto libre para el uso general de la comunidad científica internacional. HCE es parte de los medios de ECORFAN (www.ecorfan.org)

Handbooks

Definición de Handbooks

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en las Áreas de investigación CONACYT y PRODEP.

ECORFAN-Mexico S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

Alcances, Cobertura y Audiencia

Handbooks es un Producto editado por ECORFAN-Mexico S.C en su Holding con repositorio en México, es una publicación científica arbitrada e indizada. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de las Área de investigación CONACYT y PRODEP respectivamente con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

SANDOVAL – SALAS, Fabiola. PhD
Universidad de Castilla

HERNÁNDEZ - MARTINEZ, Rufina. PhD
University of California

ARAUJO - BURGOS, Tania. PhD
Universita Degli Studi di Napoli Federico II

GARCÍA - DE SOTERO, Dora Enith. PhD
Universidad de Sao Paulo

REYES - MONTES, María del Rocío. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

OROPEZA - GUZMÁN, Mercedes Teresita. PhD
National Polytechnique de Toulouse

PINA - LUIS, Georgina Esther. PhD
Universidad de la Habana

CARVAJAL - MILLAN, Elizabeth. PhD
École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier

STILIANOVA - STOYTCHEVA, Margarita. PhD
Universidad de Tecnología Química y Metalurgia de Sofia

CASTRO - CECENÑA, Ana Bertha. PhD
University of California

Comité Arbitral

MORALES - VALENZUELA, Guadalupe. PhD
Colegio de Postgraduados

BELTRAN - MIRANDA, Claudia Patricia. PhD
Universidad de Guadalajara

RUIZ - AGUILAR, Graciela M.L. PhD
Instituto Politécnico Nacional

MENA - VIOLANTE, Hortencia Gabriela. PhD
Instituto Politécnico Nacional

ROVIROSA - HERNANDEZ, Ma. de Jesús. PhD
Universidad Autónoma de Tamaulipas

ACOSTA - NAVARRETE, María Susana. PhD
Instituto Tecnológico de Celaya

GALINDO - CORTES, Gabriela. PhD
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

MARTINEZ - SCOTT, Marcia Maribel. PhD
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

CHAVEZ - SANTOSCOY, Rocío Alejandra. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GUZMÁN - SILOS, Tania Lizzeth. PhD
Universidad Politécnica de Gómez Palacio

Cesión de Derechos

El envío de una Obra Científica a ECORFAN Handbooks emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones científicas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación de la Obra Científica y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORCID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor de la Obra Científica.

Detección de Plagio

Todas las Obras Científicas serán testeadas por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandara a arbitraje y se rescindiría de la recepción de la Obra Científica notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todas las Obras Científicas se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homologo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del ECORFAN Handbooks con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de la Obra Científica Modificado para Edición-Publicación.

ECORFAN La ciencia y las mujeres en Mexico

Volumen IV

El Handbook ofrecerá los volúmenes de contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyan a la actividad de difusión científica del Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. en sus áreas de investigación en Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Educación, Potencia y Energía, Ciencias de la Computación, Mecatrónica, Aplicaciones Industriales y Comunicaciones, Gestión de la Tecnología en la Industria y en la Educación, Nuevas Tecnologías, Informática, Desarrollo de aplicaciones, Seguridad Informática, Tecnologías de la Información y Comunicación, Mantenimiento Industrial, Subestaciones Eléctricas, Motores Eléctricos, Termografía Infrarroja, Ahorro de Energía, Análisis de Vibraciones, Automatización, Cocinas Solares, Biomasa, Biocombustibles, Sistemas Fotovoltaicos, Celdas de Combustible, Energía Solar, Educación, Generación de Energía, Eléctrica, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, Gestión de Sistemas de Energía Eléctrica, Sistemas de Información, Energías Renovables, Aplicaciones Computacionales, Instrumentación aplicada a la industria, Telecomunicaciones y protocolos de seguridad. Además de tener una evaluación total, en las manos de los directores del Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. se colabora con calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada a estándares internacionales (RESEARCH GATE, MENDELEY, GOOGLE SCHOLAR y REDIB), el Handbook propone así a la comunidad académica, los informes recientes sobre los nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de investigación en Ciencias de la Educación.

**Marroquín-De Jesús, Ángel • Olivares-Ramirez, Juan Manuel • Diaz-Arenas, Perla
Maidaly • Cruz-Carpio, Luis Eduardo**

Coordinadores

La ciencia y las mujeres en Mexico T-IV

Handbooks

Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C – México.

Septiembre, 2019

DOI: 10.35429/H.2019.4.1.163

Prólogo

En nuestro país, cada vez hay más mujeres en los laboratorios de los centros de investigación y universidades, son pocas las que encabezan grupos de trabajo y dirigen centros científicos. Las profesoras-investigadoras de los diferentes subsistemas educativos de nuestro país, tales como: Tecnológico Nacional de México, Coordinación General de Universidades Tecnológicas y Politécnicas, Universidades Autónomas, Centros de Investigación, Instituto Politécnico Nacional, Universidad Nacional Autónoma de México, entre otras, contribuyen a la formación de futuros ingenieros, maestros en ciencias, doctores y postdoctores, pertenecen al sistema nacional de investigadores, desean alcanzar su perfil PRODEP y/o conservarlo, son hijas, madres, esposas que desarrollan actividades de divulgación científica, combinando la teoría y la práctica, proponen proyectos de investigación, compiten por recursos en convocatorias del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, se comprometen y se logran resultados derivado de sus investigaciones.

En reconocimiento al día internacional de las Mujeres y las Niñas en la Ciencia de la UNESCO y para celebrar a las profesoras-investigadoras de nuestro país, el comité organizador del Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mecatrónica, Mantenimiento Industrial e Informática CIERMMI 2019, y la empresa ECORFAN-MÉXICO, crearon el programa, la colección de Handbooks Online, “CIERMMI, Mujeres en la Ciencia 2019”, para apoyar a las profesoras-investigadoras, cuyas necesidades académicas incluyen la garantía de calidad, revisión, publicación y colaboración entre autores complementarios.

En este libro, se muestran los resultados de las actividades de investigación, desarrolladas por las profesoras-investigadoras de las distintas instituciones de educación superior nuestro país, que van desde revisiones del estado del arte de temas tan diversos tales como: energías renovables, mecatrónica, mantenimiento industrial, e informática, hasta la divulgación de los resultados de sus investigaciones.

Deseo expresar mi mas sincero y amplio reconocimiento a las profesoras-investigadoras que atendieron la convocatoria, enviando su capítulo de libro, a la empresa ECORFAN-MÉXICO, por todo el apoyo brindado para la realización de estos libros en formato digital, con lo que se lo contribuye a reducir “la brecha de género en los sectores de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas que persisten desde hace años en todo el mundo”.

Enhorabuena por todas las participantes.

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel. PhD

Presidente del Colegio de Ingenieros en Energías Renovables del Estado de Querétaro A.C.

Introducción

El Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. (CIER-QUERÉTARO), y sus capítulos de Energía Renovable, Mantenimiento industrial, Mecatrónica e Informática, patrocinadores técnicos del Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento, Mecatrónica e Informática, CIERMMI 2019 tiene como objetivo general establecer un espacio de discusión y reflexión en temas relacionados con las áreas de: energías renovables, mantenimiento industrial, mecatrónica e informática con la participación de estudiantes, profesores, investigadores y conferencistas nacionales e internacionales, promoviendo la conformación y consolidación de redes de investigación. Contribuyendo a brindar un espacio de divulgación y debate de las ponencias de estudiantes, egresados, académicos e investigadores, representantes de las distintas instituciones de educación superior y centros de investigación de nuestro país. Promoviendo la conformación de redes de investigación entre diferentes instituciones. Ofreciendo un espacio para los estudiantes de licenciatura, maestría, doctorado y de posdoctorado, en el cual puedan dar a conocer el avance de las investigaciones que llevan a cabo como tesis o trabajos de grado. Brindando un espacio en el cual los grupos de estudios e integrantes de cuerpos académicos, vinculados al programa curricular de las carreras de energías renovables, mantenimiento industrial, mecatrónica e informática, den a conocer los trabajos de investigación desarrollados al interior de su institución y en colaboración con otras instituciones educativas nacionales o internacionales. Estableciendo un espacio de capacitación para los (las) asistentes, mediante el desarrollo de ponencias y conferencias específicas.

Este volumen Mujeres de la Ciencia TIV-2019 contiene 9 Capítulos arbitrados que se ocupan de estos asuntos en elegidos de entre las contribuciones, reunimos algunos investigadores y estudiantes de posgrado, a partir de 32 estados de México. Agradecemos a los revisores por su retroalimentación que contribuyeron en gran medida en el mejoramiento de los artículos, para la publicación en estos procedimientos revisando los manuscritos que fueron sometidos.

Como primer Capítulo, *Vigueras, Tovar, Ramírez y Mercado*, han realizado esta investigación con el objetivo de dar a conocer las generalidades de las proteasas de origen fúngico, específicamente las de tipo aspartil, así como su importancia y aplicaciones biotecnológicas en la industria médica, farmacéutica, de las bebidas y principalmente en la alimenticia, además de hacer mención de los avances en los métodos para aumentar su producción.

Como Segundo Capítulo, *Toscano, Stoytcheva, Medina y Arredondo* evaluaron en diferentes condiciones el co-cultivo de cinco hongos filamentosos seleccionados con la microalga *Chlorella sorokiniana* para formar glóbulos celulares, como tercer capítulo *Juárez, Martínez, Díaz y Vázquez* destaca el trabajo realizado sobre diferentes aspectos de la adaptación de las plantas de higuera bajo condiciones de invernadero. Se evaluó el crecimiento y el rendimiento de producción de cuatro variedades de plantas de higuera en invernadero con ventilación natural, impulsada por la diferencia de presión, como cuarto capítulo *Ochoa, Camacho y Vallejo*, realizan una investigación en México sobre medicamentos biotecnológicos, ingeniería de tejidos y biosensores para diagnóstico, como Quinto Capítulo *Marín, Álvarez, Valenzuela y Lizalde* realizan un análisis de factores humanos y ambientales desde la perspectiva de Orem que influyen en el autocuidado de los profesionales de enfermería, en la aplicación de la mecánica corporal en el Hospital General de Pénjamo, Guanajuato, como sexto capítulo *Guzmán, Flores, Gómez y Mejía* desarrollaron una innovación para transformar el agua gris o jabonosa en microriego de huertos familiares, utiliza el prototipo denominado Filagrec que promueve el trabajo colectivo y los esfuerzos en comunidades rurales y semiurbanas, como séptimo capítulo *Suarez, Zarate, Perez y Reyes*, evalúan la calidad del aire, con base en el criterio de contaminante PM10 para el año 2018, utilizando los datos de la "Red de monitoreo atmosférico del Estado de Tabasco, como octavo Capítulo, *Ojeda y Hernández* realizan estudios a los procesos atmosféricos gaseosos y heterogéneos de los HAP que puede producir quinonas adicionales a través de la actividad fotoquímica y las reacciones con oxidantes atmosféricos, incluidos los radicales libres •OH, O₃ y NO₃, como último Capítulo, *Lozano, Espinosa, Hernández Y Galicia*, efectuaron un estudio de población para analizar su percepción de la transición energética en el este del valle de México basada en la tecnología de paneles solares utilizando técnicas socio estadísticas

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel
OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel
DIAZ-ARENAS, Perla Maidaly
CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo

Coordinadores

Contenido	Pág.
1 Enzimas proteolíticas: Generalidades y la importancia de las aspartil proteasas fúngicas VIGUERAS-MORALES, Yajaira Sulim, TOVAR-JIMÉNEZ, Xochitl, RAMÍREZ-VARGAS, María del Rocío y MERCADO-FLORES, Yuridia	1-15
2 Biofloculación de la microalga de agua dulce chlorella sorokiniana asistida por hongos filamentosos TOSCANO-PALOMAR, Lydia, STOYTICHEVA-STILIANOVA, Margarita, MEDINA-PALOMERA, Amalia y ARREDONDO-ESPINOZA, Michelle	16-38
3 Adaptación de higuera (Ricinus communis L.) Bajo condiciones de invernadero JUÁREZ-MENDOZA, Lucila, MARTÍNEZ-MEDINA, Alma Leidy, DÍAZ-ARRIAGA, Francisco Ramón y VÁZQUEZ-LEÓN, Lucio Abel	39-49
4 Investigación en México sobre medicamentos biotecnológicos, ingeniería de tejidos y biosensores para diagnóstico VALLEJO-CARDONA, Alba Adriana, OCHOA-RUIZ, Andrea Gabriela y CAMACHO-VILLEGAS, Tanya Amanda	50-66
5 Factores humanos y ambientales que influyen en el autocuidado de enfermería en la aplicación de la mecánica corporal MARÍN-LAREDO, Ma. Martha, ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, José Jesús, VALENZUELA-GANDARILLA, Josefina y LIZALDE-HERNÁNDEZ, Azucena	67-87
6 Tecnologías socioambientales con energía limpia. Filtro de Agua Gris Reciclada (FILAGREC) GUZMÁN-PUENTE, María Alicia de los Ángeles, FLORES-BERRONES, José Raúl, GÓMEZ-MANJARREZ, Itzel y MEJÍA-FLORES, Susana	88-113
7 Estudio y comparación de las partículas PM10, de las estaciones de muestreo en el estado de Tabasco, y su comportamiento respecto a la NOM-025-SSA1-2014 SUAREZ-GARCÍA, Sandra Manuela, ZARATE, Marco Antonio, PEREZ-DURAN, Marco Antonio y REYES-HERNÁNDEZ, Guadalupe	114-137
8 Material Particulado Fino (PM1) y fracción orgánica OJEDA-CASTILLO, Valeria & HERNÁNDEZ-MENA, Leonel	138-154
9 Energías renovables enfoque ambiental LOZANO-CAMARGO, Maria Luisa, ESPINOSA-SÁNCHEZ, Gloria Lizbeth, HERNÁNDEZ-LÓPEZ, Adriana María y GALICIA-LUIS, Laura	155-163

Capítulo I Enzimas proteolíticas: Generalidades y la importancia de las aspartil proteasas fúngicas

Chapter I Proteolytic enzymes: Generalities and the importance of the fungal aspartyl proteases

VIGUERAS-MORALES, Yajaira Sulim†*, TOVAR-JIMÉNEZ, Xochitl, RAMÍREZ-VARGAS, María del Rocío y MERCADO-FLORES, Yuridia

Universidad Politécnica de Pachuca

ID 1^{er} Autor: *Yajaira Sulim, Viguera-Morales* / **ORC ID:** 0000-0001-6710-5497, **CVU CONACYT ID:** 858288

ID 1^{er} Coautor: *Xochitl, Tovar-Jiménez* / **ORC ID:** 0000-0002-6626-6237, **CVU CONACYT ID:** 228873

ID 2^{do} Coautor: *María del Rocío, Ramírez-Vargas* / **ORC ID:** 0000-0003-3811-4137, **CVU CONACYT ID:** 266405

ID 3^{er} Coautor: *Yuridia, Mercado-Flores* / **ORC ID:** 0000-0003-3278-2783, **CVU CONACYT ID:** 122168

DOI: 10.35429/H.2019.4.1.15

Y. Viguera, X. Tovar, M. Ramírez y Y. Mercado

yuridiamercado@upp.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Díaz, L. Cruz. (Dir.) La ciencia y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2019.

Resumen

Las proteasas también conocidas como peptidasas, son capaces de hidrolizar enlaces peptídicos de otras proteínas. Se encuentran distribuidas ampliamente en animales, plantas, y microorganismos y tienen gran importancia comercial, debido a que ocupan el mayor porcentaje de ventas en el mercado mundial de enzimas. Sus aplicaciones son principalmente en las áreas médicas y farmacéuticas, así como en la industria alimentaria y de detergentes. Su clasificación involucra dos grupos: exoproteasas y endoproteasas, dentro de estas últimas se encuentran las proteasas ácidas, mejor conocidas como aspartil proteasas, las cuales son de gran interés, principalmente en la industria de los alimentos y las bebidas. Aquellas de origen fúngico presentan gran demanda debido a las características que poseen, lo que ha dado como consecuencia el desarrollo de distintos métodos para aumentar su producción. El objetivo de esta revisión bibliográfica, es dar a conocer las generalidades de las proteasas de origen fúngico, específicamente las de tipo aspartil, así como su importancia y aplicaciones biotecnológicas en la industria médica, farmacéutica, de las bebidas y principalmente en la alimenticia, además de hacer mención de los avances en los métodos para aumentar su producción.

Enzimas, Proteasas, Aspartil proteasas

Abstract

Proteases also known as peptidases, are capable of hydrolyzing peptide bonds of other proteins. These enzymes are widely distributed in animals, plants, and microorganisms and have great commercial importance, because they occupy the highest percentage of worldwide sales. Its applications range from medical and pharmaceutical, to the food and detergent industry. Proteases are classified into exoproteases and endoproteases, among the latter are acidic proteases better known as aspartyl proteases, which are of great industrial interest, mainly in the food and beverage industry. Aspartyl proteases of fungal origin are the most used due to the characteristics they possess, because of this, they have a great demand in the global enzyme market, so different methods have been developed to increase its production. The objective of this literature review is to publicize the generalities of proteases of fungal origin specifically of the aspartyl type, as well as its importance and biotechnological applications in medical, pharmaceutical, the beverage, industry, and mainly in the food industry. In addition, mention the progress made in recent years of the methods reported so far to obtain the production of these proteases.

Enzymes, Proteins, Aspartyl proteases

1. Introducción

Las enzimas proteolíticas, también conocidas como proteasas o peptidasas, son las responsables de catalizar la hidrólisis de los enlaces peptídicos de otras proteínas, dando como resultado la producción de péptidos o aminoácidos libres. Muchas de ellas son importantes en la modificación y procesamiento post-traduccionales, debido a que poseen alta especificidad por su sustrato, dando lugar a la escisión selectiva de proteínas (Gupta *et al.*, 2002; Sabotic y Kos, 2012; Kamal *et al.*, 2017).

Estas enzimas están ampliamente distribuidas en animales, plantas, microorganismos y hongos, en donde participan en una gran cantidad de procesos fisiológicos, además de estar involucradas en todo el ciclo de vida de las proteínas, desde su biosíntesis, control de destino y activación, hasta su degradación, desempeñando funciones que incluyen la división celular, la transducción de señales, la esporulación, la digestión de las proteínas de los alimentos, la regulación de la presión arterial, la síntesis de proteínas virales, la apoptosis, el procesamiento de hormonas polipeptídicas, la degradación de proteínas plegadas incorrectamente, la autólisis, la protección contra péptidos dañinos y enzimas, entre muchas otras (Avilés *et al.*, 1994; Barrett *et al.*, 2003; Sandhya *et al.*, 2005; Tyndall *et al.*, 2005).

Las proteasas son de gran interés industrial, por lo que, en el mercado mundial de enzimas, representan uno de los tres grupos más grandes y abarcan aproximadamente el 60% de la venta total (Banerjee y Raya, 2017). Tan solo en el año 2010, de los 3,300 millones de dólares que se generaron en este campo, las proteasas aportaron la mayor contribución (Mótyán *et al.*, 2013). Estas proteínas además de poseer gran importancia biológica, también se usan en varias aplicaciones que incluyen las industrias de alimentos, de bebidas, del cuero, farmacéuticas, médicas y de detergentes (Theron y Divol, 2014).

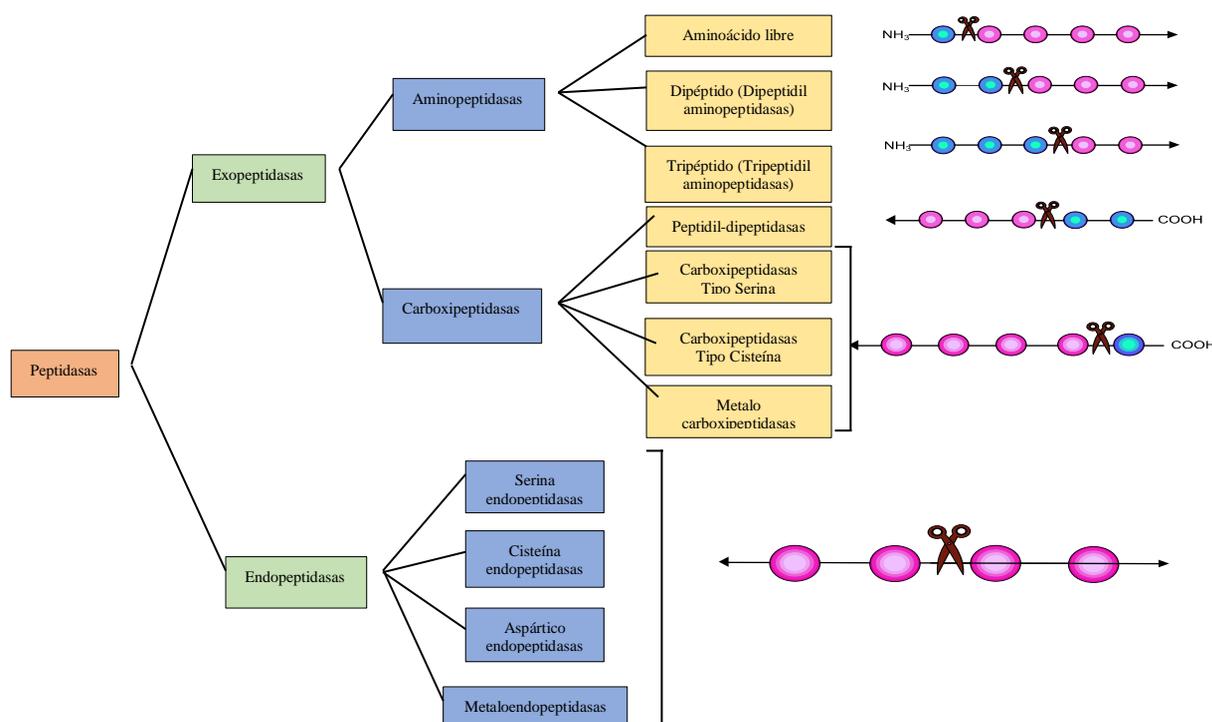
La gran diversidad de proteasas, en contraste con la especificidad de su acción, ha atraído la atención mundial en los intentos de explotar sus aplicaciones fisiológicas y biotecnológicas (Poldermans, 1990; Fox *et al.*, 1991).

2. Clasificación de las enzimas proteolíticas

Según el Comité de Nomenclatura de la Unión Internacional de Bioquímica y Biología Molecular, las proteasas se ubican en el grupo 3, subgrupo 4 en donde se encuentran las hidrolasas (International Union of Biochemistry, 1992). Actualmente, se utilizan tres criterios principales, que son: sitio de acción, naturaleza química del sitio catalítico y el pH (Barrett, 1994). Teniendo como base su sitio de acción, las proteasas pueden ser exopeptidasas (EC 3.4.11-19) y endopeptidasas (EC 3.4.22-99) (Figura 1.1). Las primeras actúan cerca de los extremos de las cadenas polipeptídicas, lo cual les confiere la capacidad de romper el enlace peptídico de uno o unos cuantos aminoácidos. Las enzimas que hacen esta actividad en el extremo amino son llamadas aminopeptidasas (Figura 1.2) y pueden liberar aminoácidos simples (amino petidasas EC 3.4.11), dipéptidos (dipeptidil amino peptidasas, EC 3.4.14) o tripéptidos (tripeptidil amino peptidasas EC 3.4.14) (Figura 1.1). Este tipo de enzimas eliminan la metionina N-terminal de las proteínas secretadas y de aquellas que pueden ser expresadas heterológamente. Las aminopeptidasas son producidas por una amplia variedad de especies microbianas, incluyendo bacterias y hongos (Rao *et al.*, 1998; Mótyán *et al.*, 2013; Theron y Divon, 2014).

Las exopeptidasas que actúan en el extremo carboxilo se denominan carboxipeptidasas (Figura 1.1), las cuales liberan un único aminoácido (Figura 1.2) o un dipéptido (peptidil dipeptidasas E.C 3.4.13) en los extremos C-terminales de la cadena polipeptídica. Estas enzimas también se clasifican en tres grupos, serin-carboxipeptidasas, metalo-carboxipeptidasas y cisteín-carboxipeptidasas, basándose en la naturaleza de los residuos de aminoácidos en su sitio activo (Figura 1.1) (Rao *et al.*, 1998; Mótyán *et al.*, 2013; Theron y Divon, 2014). Las endopeptidasas se caracterizan por llevar a cabo la hidrólisis en los enlaces peptídicos de las regiones internas de la cadena polipeptídica (Figuras 1.1 y 1.2). Estas enzimas son industrialmente más importantes que las exopeptidasas y se clasifican según la especificidad del sustrato, mecanismo catalítico, estructuras tridimensionales y por los residuos de aminoácidos presentes en su sitio activo (Sumantha *et al.*, 2006).

Figura 1.1 Clasificación de las peptidasas

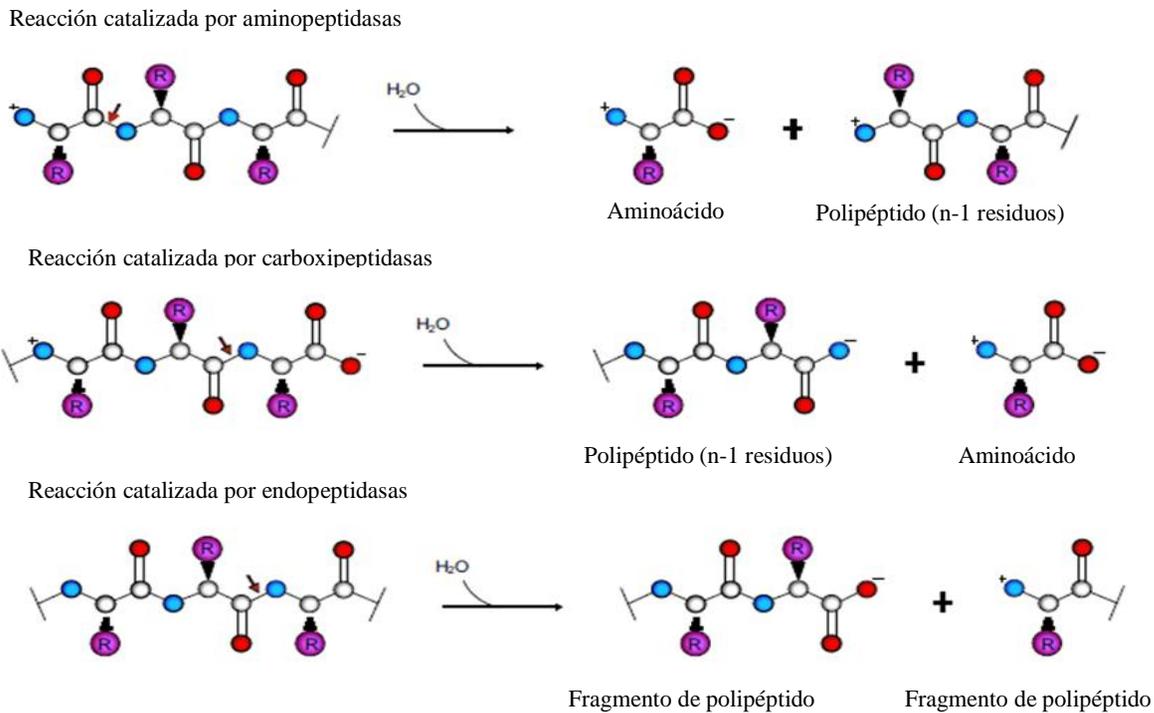


Fuente: Theron y Divon, 2014

Las tijeras indican el sitio donde la enzima realizará su acción. Los círculos de color azul representan los aminoácidos terminales. Los círculos de color rosa significan residuos de aminoácidos en la cadena polipeptídica.

Las endopeptidasas, a diferencia de las exopeptidasas, realizan la hidrólisis del enlace peptídico en el interior de la proteína (Figuras 1.1 y 1.2). Su clasificación se basa de acuerdo al tipo de aminoácidos que constituyen su sitio activo, así como a la presencia de metales en el mismo, por lo que se han descrito cuatro grupos: serín-proteasas, aspartil-proteasas, cisteín-proteasas y metalo-proteasas (Figura 1.1). Cada una de ellas con cierta especificidad para romper enlaces peptídicos (Tabla 1.1). (Rawlings y Barrett, 1993; Tyndall *et al.*, 2005).

Figura 1.2 Acción de las aminopeptidasas y carboxipeptidasas eliminando los residuos de aminoácidos terminales, así como de las endopeptidasas sobre un sustrato polipéptido



Fuente: Mótyán *et al.*, 2013

Las flechas de color rojo muestran el sitio donde los enlaces peptídicos se escinden.

Tabla 1.1 Principales características de las endoproteasas

Familia	Cofactores	Sitio activo característico	Intervalo de pH óptimo	Inhibidores	Fuente	Aplicaciones industriales
Serín-proteasas	Ca ²⁺	Asp, Ser, His	7–11	PMSF EDTA Fenol Ácido triaminoacético	<i>Bacilo</i> <i>Aspergillus</i> Tejido animal (intestino)	Detergentes, médica y farmacéutica.
Metaloproteasas	Zn ²⁺ Ca ²⁺	Glu, Try	7–9	Agentes quelantes como: EDTA EGTA	<i>Bacillus</i> <i>Aspergillus</i> <i>Penicillium</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Streptomyces</i>	Alimenticia, médica y farmacéutica.
Proteasas de cisteína	ND	Cys, His, Asp	2–3	Indoacetamida p-CMB	<i>Aspergillus</i> <i>Streptomyces</i> <i>Clostridium</i>	Alimenticia, médica y farmacéutica.
Proteasas aspárticas	Ca ²⁺	Asp, Asp	2.5–7	Pepstatin EPNP DAN	<i>Aspergillus</i> <i>Mucor</i> <i>Rhizopus</i> <i>Penicillium</i> , tejido animal (estómago)	Alimentos y bebidas

DAN: diazoacetyl- dl éster metílico norleucina, DON: 5-diazo-4-oxonorvaline, PMSF: fluoruro de fenilmetilsulfonilo, p-CMB: ácido cloromercuribenzoico, EDTA: ácido etilendiaminotetraacético, EGTA: ácido etilen glicol, EPNP: 1,2-epoxi-3-(p nitrofenoxi) propano), ND: no determinado.

Fuente: Theron y Divol, 2014

En los últimos años se han generado intensivas investigaciones en el tema de las proteasas, lo que ha permitido ampliar el conocimiento sobre su estructura y el mecanismo por el cual actúan.

La disponibilidad de esta información en la base de datos de peptidasas MEROPS, ha conducido a mejoras en los esquemas de clasificación, además de constituir un sistema para el estudio integral de la diversidad de estas proteínas (Rawlings *et al.*, 2012). Con referencia a lo anterior, estas enzimas de diferentes clases pueden agruparse en familias tomando como base las similitudes estadísticamente significativas en su secuencia de aminoácidos. La nomenclatura que sigue este sistema es que cada familia se identifica mediante una letra que representa el dominio catalítico, las letras A, C, M, S, T, G, N y U se utilizan para el tipo aspártico, cisteína, metal, serina, treonina, glutámico, asparagina y desconocido respectivamente, seguido de un número característico. Las familias que se consideran homólogas y que han surgido de un único origen, se agrupan en un clan debido a que muestran evidencias sobre la relación evolutiva que tienen, y similitudes en sus estructuras terciarias, el orden de los residuos del sitio catalítico en la cadena polipeptídica y en los motivos de secuencias comunes alrededor del mismo (Barret *et al.*, 2001; Barret *et al.*, 2003; Rawlings *et al.*, 2012).

2.1 Serín proteasas

Las serín proteasas se caracterizan por la presencia de un grupo serina en su sitio activo. Se pueden encontrar en virus, bacterias y eucariotas, lo que sugiere que son vitales para los organismos. Generalmente son activas a pH neutro y alcalino, con un óptimo entre pH 7 y 11. Tienen amplias especificidades de sustrato incluyendo actividad esterolítica y amidasa. Sus masas moleculares oscilan entre 18 y 35 kDa. Los puntos isoeléctricos se encuentran entre pH 4 y 6. Las proteasas alcalinas representan el mayor subgrupo de serín proteasas (Govind *et al.*, 1981; Barrett, 1994; Cera, 2009).

2.2 Cisteín proteasas

Las cisteín proteasas están presentes tanto en procariontes como en eucariotas. Su actividad depende de un par cisteína e histidina. Estas enzimas contienen una tríada de Cys-His-Asn en el sitio activo, se sintetizan como zimógenos y contienen un prodominio (regulador) y un dominio maduro (catalítico). El primero actúa como un inhibidor endógeno que debe ser eliminado para que la enzima madura pueda ser activada. En la mayoría de los casos, son activas sólo en presencia de agentes reductores tales como el cianuro de hidrógeno o la cisteína. Estas enzimas tienen pH óptimo neutro, aunque algunas de ellas, son más activas a pH ácido. La papaína es la proteasa de cisteína más conocida (Barrett, 1994; Verma *et al.*, 2016).

2.3 Metaloproteasas

Las metaloproteasas son la clase de hidrolasas que escinden enlaces peptídicos por acción de una molécula de agua que se activa por iones metálicos bivalentes como el zinc, el cobalto, el manganeso o el níquel, la cual sirve como nucleófilo en la catálisis y también se coordina con el ion metálico como cuarto ligando (Wu y Chen, 2011). El ion metálico catalítico generalmente está coordinado por tres ligandos de cadena lateral de aminoácidos conservados, tales como: His, Asp, Glu o Lys y al menos otro residuo, que puede desempeñar un papel electrofílico (Fukasawa *et al.*, 2011).

Basándose en la especificidad de su acción, las metaloproteasas pueden dividirse en cuatro grupos: neutras, alcalinas, *Myxobacter* I, y *Myxobacter* II. Las primeras muestran especificidad para los aminoácidos hidrófobos, mientras que, para las segundas, esta misma propiedad no es restringida. *Myxobacter* proteasa I es específica para pequeños residuos de aminoácidos a cada lado del enlace de escisión, por otro lado, la proteasa *Myxobacter* II es específica para el residuo de lisina en el lado amino del enlace peptídico. Todas ellas son inhibidas por agentes quelantes tales como EDTA, pero no por agentes sulfhidrilos. Presentan diferentes propiedades, las cuales permiten explicar sus aplicaciones terapéuticas, patofisiológicas e industriales (Barrett, 1995).

3. Proteasas ácidas

Las proteasas de ácido aspártico (APs), comúnmente conocidas como aspartil proteasas o proteasas ácidas, son las endopeptidasas que dependen de dos residuos de ácido aspártico para su actividad catalítica, localizados en dos tramos cortos de aminoácidos que tienen alta homología de secuencia y similitud de estructura tridimensional. Actúan a valores de pH bajos, poseen una preferencia de escisión entre aminoácidos hidrófobos, son inhibidas por la pepstatina, presentan puntos isoeléctricos en el intervalo de pH 3 a 4.5 y sus masas moleculares son de 30 a 50 kDa (Fitzgerald *et al.*, 1990; Blundell y Johnson, 1993; Barrett, 1995; Shah *et al.*, 2014).

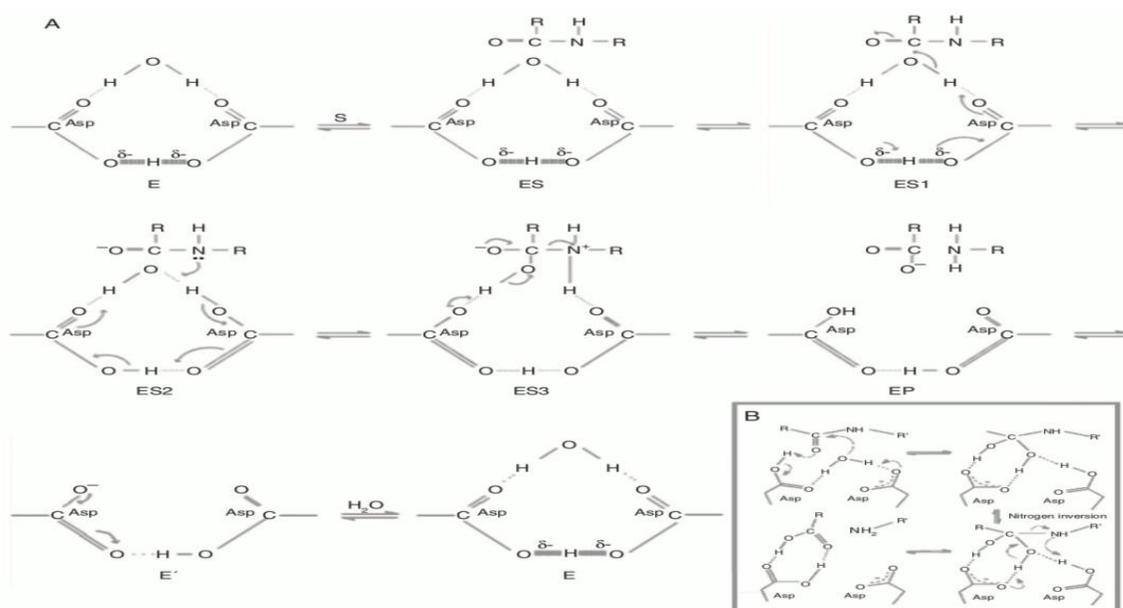
Si bien, la mayoría de aspartil proteasas se ajustan a estas características, existen diferencias sustanciales en términos de propiedades catalíticas, la localización celular y las funciones biológicas (Davies, 1990; Coates *et al.*, 2001). Las APs se pueden encontrar en vertebrados, hongos, plantas, protozoos y virus, en donde desempeñan diferentes e importantes funciones (Horimoto *et al.*, 2009). En general, se sintetizan como precursores inactivos, que se convierten a la forma activa por activación ácida, proteólisis autocatalítica y la eliminación de cadenas de polipéptidos del extremo N-terminal (Santos *et al.*, 2013). En la enzima activa, los dos residuos de ácido aspártico están geoméricamente más cerca y un aspartato es ionizado. El mecanismo de acción más ampliamente aceptado de las proteasas aspárticas es una catálisis ácido-base, que se puede denominar "empujar-tirar", que implica dos residuos activos de ácido aspártico en el sitio activo que actúan como donador y aceptor de protones, así como, una molécula de agua que reside entre ellos y que realiza un ataque nucleofílico carbono carbonílico específico en el sustrato. El oxígeno de este último, a su vez, captura un protón de otro ácido aspártico en el sitio activo, dando como resultado un intermedio tetraédrico neutro no covalente, el cual es un estado de transición crucial, en el cual el amino del sustrato se convierte en un mejor grupo saliente (Figura 1.3) (Veerapandian *et al.*, 1992; Northtop, 2001; Dunn, 2002; Fruton, 2002; Nguyen *et al.*, 2008).

Los ejemplos bien conocidos de proteasas aspárticas incluyen la quimosina, la cathepsina D, la cathepsina E y la pepsina. El banco de datos de proteínas (PDB, por sus siglas en inglés) y la base de datos MEROPS clasifican ocho subfamilias dentro de las proteasas aspárticas con la secuencia Asp-Thr (Ser)-Gly en su sitio activo. Las subfamilias difieren según la posición del mismo, los residuos específicos, el número de puentes disulfuro presentes dentro de la estructura y el pH óptimo en el que funciona la enzima (Casella *et al.*, 2005; Rawlings y Bateman, 2009).

3.1 Aplicaciones biotecnológicas de las proteasas ácidas

Los microorganismos representan una fuente de enzimas debido a la facilidad de manipulación genética y su amplia diversidad. A escala industrial, son preferidos debido a varias ventajas, tales como menores costos de fabricación, producción a gran escala en fermentadores industriales, rápido desarrollo y ningún efecto por variaciones estacionales (Singh *et al.*, 2019). Dentro de las aspartil proteasas de origen microbiano, las de *Bacillus subtilis* se usan en la producción temprana de natto, un alimento tradicional japonés que se origina a través de la fermentación de semillas de soja. Las proteasas involucradas en este proceso son importantes para el desarrollo de los principales sabores asociados a través de la hidrólisis de las proteínas de esta leguminosa (Borah *et al.*, 2012).

Figura 1.3 Mecanismos químicos y cinéticos de la catálisis de la proteasa aspártica



Fuente: Tomado de Mandujano-González *et al.*, 2016

(A) Modificado de Northrop (2001) E: sitio activo en ciclo; ES: sustrato unido al sitio activo; ES1: sustrato unido al sitio activo en donde los electrones se extienden en un movimiento antihorario a través del carbonilo sensible; ES2: intermedio unido a una forma diprotonada de la enzima; ES3: zwitterión intermedio unido a la forma monoprotonada de la enzima; EP: lanzamiento del producto; E': desprotonación y rehidratación de la enzima. (B) Modificado de Veerapandian *et al.*, 1992.

Las aspartil proteasas también son muy utilizadas dentro de la industria de los quesos. Su propiedad más significativa es la capacidad de coagular las proteínas de la leche, ya que son capaces de hidrolizar el enlace peptídico específico Phe 105-Met 106 en la caseína bovina para generar κ -caseína y macromoléculas. También su actividad catalítica puede conferir diferentes sabores agradables al paladar, por ejemplo, la proteasa de *Pseudomonas fluorescens* R098 hidroliza diferentes péptidos encontrados en el queso, dando el gusto amargo al producto (Koka y Weimer, 2000; Jacob *et al.*, 2011; Rani *et al.*, 2012). La enzima que tradicionalmente se emplea para la coagulación de la leche es la quimosina, comúnmente conocida como cuajo animal, el cual es extraído de estómagos de rumiantes. Sin embargo, debido a la baja disponibilidad de estos órganos y a la gran demanda de queso, el suministro de este tipo de agente coagulante disminuyó considerablemente. Varios factores como, el alto precio, las ideas religiosas (por ejemplo, el islam y el judaísmo), la dieta (vegetarianismo) o la prohibición del cuajo de ternera recombinante en Francia, Alemania y los Países Bajos, han fomentado la búsqueda de fuentes alternativas de enzimas coagulantes de la leche (Roseiro *et al.*, 2003), dando lugar a que las investigaciones sean dirigidas hacia al descubrimiento de actividades enzimáticas principalmente de origen microbiano, que podrían reemplazar satisfactoriamente a las de origen animal (Merheb-Dini *et al.*, 2010). La Tabla 1.2 muestra algunas investigaciones sobre proteasas ácidas de origen bacteriano con diferentes propiedades utilizadas en la industria quesera (Jacob *et al.*, 2011).

3.2 Aspartil proteasas fúngicas

Los hongos como productores de enzimas, se usan comúnmente en las industrias debido a varias razones técnicas, incluida la posibilidad de obtener una alta concentración de las mismas en el medio de fermentación. Estos eucariontes producen una variedad muy amplia de proteasas, dentro de las cuales se incluyen las ácidas. Este tipo de enzimas tienen un pH óptimo entre 4 y 4,5 y son estables entre pH 2,5 y 6,0. Dichas propiedades bioquímicas, son particularmente útiles en la industria del queso debido a sus estrechas especificidades de pH y temperatura (Hajji *et al.*, 2010).

Los principales hongos productores de proteasas ácidas son los mucorales, que comprenden a los géneros *Rhizopus*, *Mucor*, *Rhizomucor*, *Absidia* y *Cunninghamella*. Las de *Mucor pusillus* y *Mucor miehei* son conocidas como mucor reninas. También se ha descrito que el hongo fitopatógeno *Cryphonectria parasitica*, secreta una aspartil proteasa (Demain y Adrio, 2008). Estas enzimas poseen una alta actividad de coagulación de la leche y baja actividad proteolítica, lo que les permite ser utilizadas como sustitutos de la renina en la industria del queso (Maheshwari *et al.*, 2000; Andrade *et al.*, 2002). Las proteasas ácidas fúngicas son mayormente aplicadas en tres grandes industrias: de bebidas, médica y farmacéutica; y la industria de los alimentos. En la primera, se sabe que la mayoría de las bebidas a base de frutas procesadas industrialmente se clarifican para evitar la turbidez. En la fabricación de jugos y ciertas bebidas alcohólicas, se usan las proteasas ácidas de *Aspergillus saitoi* (aspergilopepsina I) para degradar las proteínas que dan mal aspecto al producto (Sumantha *et al.*, 2006).

Tabla 1.2 Investigaciones sobre proteasas de origen bacteriano en la coagulación de la leche

Bacteria	Propiedades	Referencias
<i>Myxococcus xanthus</i>	Masa molecular: 40 kDa, mayor actividad de coagulación a pH 6 y a 37°C. Rendimiento aceptable y propiedades de la cuajada en experimentos de elaboración de queso. Clonada con éxito en <i>Escherichia coli</i> .	Poza <i>et al.</i> (2003) Poza <i>et al.</i> (2004)
<i>Enterococcus faecalis</i>	Permite obtener productos de hidrólisis de la κ -caseína similares a los obtenidos con la aspartil proteasa de <i>Rhizomucor miehei</i> , aplicados efectivamente en la fabricación de queso Camembert.	Sato <i>et al.</i> (2004)
<i>Nocardioopsis</i> sp.	Los extractos extracelulares obtenidos de esta bacteria tienen la capacidad de coagular la leche. Se tienen la optimización del rendimiento en la producción de la enzima en condiciones de fermentación.	Cavalcanti <i>et al.</i> (2004) Cavalcanti <i>et al.</i> (2005)
<i>B. subtilis</i>	La relación entre la coagulación de la leche y la actividad proteolítica es comparable con las proteasas fúngicas comerciales, además posee alta termoestabilidad.	Dutt <i>et al.</i> (2008, 2009) Shieh <i>et al.</i> (2009)
<i>Bacillus licheniformis</i>	La proteasa obtenida de esta bacteria presenta una cinética típica para la coagulación de la leche.	Ageitos <i>et al.</i> (2007)

En la fermentación de sake, una bebida alcohólica de origen japonés, las aspartil proteasas de *Aspergillus oryzae* determinan el sabor del producto final debido a la forma en que hidrolizan las proteínas del arroz al vapor para liberar péptidos y aminoácidos (Shindo *et al.*, 1998). Las proteasas ácidas de *Aspergillus niger* están presentes en la disminución de la turbidez en el jugo de kiwi durante el almacenamiento (Dawes *et al.*, 1994; Falconer *et al.*, 2010). En el jugo de cereza, al adicionar la proteasa ácida de *Aspergillus niger*, comercialmente conocida como ENZECO, ayuda a la reducción de la turbidez de manera significativa, pero también tiene un bajo impacto en la clarificación durante el almacenamiento en frío (Pinelo *et al.*, 2010). Esto también sucede en la producción de jugo de grosella negra, donde se utilizan proteasas ácidas comerciales de *A. niger* (proteasa de aminoácidos A, Deapsin 2P, proteasa ácida fúngica ENZECO) y de *M. miehei* (Novozyme 89L) (Landbo *et al.*, 2006; Byarugaba-Bazirake *et al.*, 2013). Sobre la industria médica y farmacéutica existen diferentes reportes donde se menciona que las aspartil proteasas disponibles comercialmente como Nortase y Luizym, se utilizan para mejorar la digestión y para el tratamiento de ciertos síndromes de deficiencia de enzimas líticas. Otro ejemplo es la brinasa, una proteasa ácida de tipo plasmina que hidroliza la fibrina y fibrinógeno, la cual se aplica a los pacientes con hemodiálisis crónica con cánulas arteriovenosas. Estas proteasas también han sido utilizadas en la detección del cáncer de mama, como la catepsina D (Sumantha *et al.*, 2006). Por otro lado, varias proteasas aspárticas de diferentes especies de *Candida* también se han estudiado ampliamente debido a su participación en los procesos de infección de éste patógeno de humanos (Pichova *et al.*, 2001; Chanalia *et al.*, 2011; Aoki *et al.*, 2012).

3.3 Proteasas aspárticas fúngicas en la industria de los alimentos

Los hongos que producen proteasas que coagulan la leche son ubicuos y pueden aislarse fácilmente de diversos entornos (Tubesha y Al-Delaimy, 2003). Dentro de los múltiples estudios que hay de estos coagulantes se han establecido tres especies para la producción a gran escala, *Rhizomucor miehei*, *Rhizomucor pusillus* y *C. parasitica*. Comercialmente, la enzima nativa más importante para la fabricación de queso se aísla del *R. miehei* (Jacob *et al.*, 2011; Ward, 2012). En la Tabla 1.3 se muestran investigaciones de coagulantes de diferentes orígenes, con diversas características. En virtud de las propiedades que estas enzimas coagulantes poseen, es que las proteasas ácidas fúngicas a lo largo del tiempo han ido reemplazado al cuajo animal, facilitando la expansión de la industria de la fabricación de queso (Koka y Weimer, 2000).

Además de su uso extensivo en la industria láctea, las proteasas ácidas derivadas de hongos también se han aplicado en la producción de condimentos y en la mejora de alimentos ricos en proteínas como el pan y productos relacionados. El gluten que se encuentra en la harina de trigo es una proteína insoluble que determina las propiedades de la masa. El tratamiento enzimático de la masa facilita su manejo y también reduce el tiempo de mezcla. Las proteasas de *A. oryzae* se usan para modificar el gluten, lo que resulta en un mayor volumen de pan y en la producción de una gama más amplia de productos, éstas mismas enzimas en combinación con *Lactobacillus*, al agregarse a la harina de trigo pueden ayudar a los pacientes celíacos a consumir pan de trigo (Rao *et al.*, 1998; Rizzello *et al.*, 2007; Theron y Divon, 2014).

Tabla 1.3 Investigaciones sobre nuevas proteasas microbianas

Microorganismos	Propiedades	Referencias
Pleurotus sajor-caju (hongo de la pudrición blanca)	Actividad de coagulación en condiciones de fabricación de queso.	Moharib (2007)
Mucor bacilliformis	Alta similitud estructural con la quimosina bovina. Termoestabilidad inferior a la proteasa <i>R. miehei</i> .	Venera <i>et al.</i> (1997) Machalinski <i>et al.</i> (2006)
Thermoascus aurantiacus	La hidrólisis enzimática de la caseína bovina difirió en gran medida de los patrones de proteólisis generados por la quimosina bovina.	Merheb <i>et al.</i> (2007)
Termomucor indica-seudaticae N31	El extracto enzimático crudo mostró una alta coagulación de la leche y una baja actividad proteolítica y baja termoestabilidad	Merheb-Dini <i>et al.</i> (2010)
Metschnikowia reukauffii	Actividad coagulante de la leche. Clonada con éxito en <i>E. coli</i> .	Chi <i>et al.</i> (2009) Li <i>et al.</i> (2009)
Piptoporus soloniensis	La masa molecular de 38 kDa con un punto isoelectrónico de 3.9. Similar a la quimosina de los terneros lecheros, posee una actividad máxima de coagulación de la leche a 35-40°C y fue más estable a pH 6 y por debajo de 40 ° C.	El-Baky <i>et al.</i> (2011).

La calidad organoléptica de la carne es de suma importancia para su comercialización. Numerosos estudios han demostrado que los consumidores pagan más por la carne tierna. La proteasa aspártica de *A. oryzae* ha contribuido con estas características ya que se utiliza comercialmente para mejorar el aspecto del este alimento en este sentido (Bekhit *et al.*, 2014).

En investigaciones recientes se ha descubierto que los hongos patógenos también son productores de proteasas ácidas extracelulares, con gran potencial biotecnológico. Un ejemplo de ellos es *Ustilago maydis*, agente causal del carbón del maíz, que produce una proteasa ácida que presenta su mayor actividad catalítica a un pH y una temperatura de 4 y 45°C, respectivamente, con un peso molecular de 74 kDa y un punto isoeléctrico de 5.5 (Mercado-Flores *et al.*, 2003).

Otro hongo fitopatógeno es *Sporisorium reilianum*, el responsable de causar el carbón de la espiga en el maíz, este hongo es capaz de producir una proteasa ácida (Eap1), la cual ya fue purificada y caracterizada bioquímicamente, presentando un peso molecular de 41 kDa, estable en un amplio intervalo de pH y temperatura con óptimos de 3 y 45°C, respectivamente. Esta enzima posee la capacidad de coagular las proteínas de la leche, por lo que puede ser aplicada en la industria de los quesos (Mandujano-González *et al.*, 2013).

4. Métodos de producción de las proteasas microbianas

El costo general de la producción de enzimas y el procesamiento posterior es el mayor obstáculo contra la aplicación exitosa de cualquier tecnología en la industria de las enzimas. Muchas investigaciones se han orientado a la optimización de métodos para aumentar los rendimientos de las proteasas con respecto a sus requerimientos industriales. Los enfoques recientes para lograrlo incluyen selección de cepas hiperproductoras, clonación y sobreexpresión, lote alimentado, fermentaciones de quimiostato y optimización del medio de fermentación mediante un enfoque estadístico, como la metodología de superficie de respuesta (MSR) (Gupta *et al.*, 2002).

La producción de proteasas ácidas extracelulares en microorganismos está fuertemente influenciada por los componentes de los medios, como la variación en la relación C/N, presencia de algunos azúcares de fácil asimilación, como la glucosa, así como de iones metálicos. Las fuentes de nitrógeno como los aminoácidos tienen efecto sobre la síntesis de proteasas. Además de esto, otros factores físicos, como la aireación, la densidad del inóculo, pH, temperatura y la incubación, también afectan la cantidad de enzima producida. Para aumentar la producción a nivel industrial, se han utilizado varias estrategias en fermentador, como son, el lote controlado y lotes alimentados usando un control simultáneo en la concentración de glucosa y de iones de amonio, en la tensión de oxígeno y en el pH (Hameed *et al.*, 1999; Beg *et al.*, 2002; Puri *et al.*, 2002).

En los últimos años, ha habido una gran cantidad de esfuerzo en investigación y desarrollo centrado en el uso de métodos de aproximación estadística, utilizando diferentes paquetes de software para la optimización del proceso, con el objetivo de obtener altos rendimientos de proteasas en el medio de fermentación. Entre los métodos más usados están la fermentación en estado sólido, principalmente para producir proteasas de *Aspergillus* y *Mucor*, mientras que por fermentación sumergida se obtienen fundamentalmente proteasas de *M. miehei*, *C. parasitica* y *Bacillus* (De Coninck *et al.*, 2000; Puri *et al.* 2002).

La fermentación en estado sólido (FES) se realiza en bandejas con un espesor de sustrato entre 1 y 10 cm, o en tambores rotatorios que facilitan la aireación del sustrato. El microorganismo crece sobre el medio sólido humedecido, constituido preferentemente por salvado de trigo o arroz u otros residuos agroindustriales con agua y en algunos casos otros aditivos, esterilizado habitualmente por vapor. Como en todo sistema de FES es difícil el control del pH y la suplementación con componentes del medio durante el crecimiento del microorganismo. Cabe mencionar que hay poca información disponible acerca de la cinética del proceso y la interacción de las distintas variables, lo que vuelve de interés su estudio. Finalmente, la proteasa es usualmente recuperada por extracción del sustrato fermentado con agua o buffer de pH adecuado, filtración y purificación por los métodos habituales, para finalmente ser comercializada en forma líquida o sólida, esta última obtenida por precipitación con solventes o secado (Gupta *et al.*, 2002; Germano *et al.*, 2003; Sandhya *et al.*, 2005).

Para la Fermentación Sumergida (FS), el equipamiento tradicionalmente usado para la producción de enzimas consiste en altos tanques cilíndricos de acero inoxidable de 10 a 100 toneladas de capacidad, con fuertes agitadores mecánicos y aireadores. Muchos de los componentes del medio de cultivo son productos agrícolas baratos de provisión continua y calidad uniforme. El medio es relativamente concentrado 10-15 % de sólidos secos, con alto contenido de proteínas y se evita comúnmente que la concentración de aminoácidos libres sea elevada pues esto frecuentemente inhibe la producción de proteasas. La esterilización es en general un proceso de alta temperatura y de corto tiempo. El consumo de carbohidratos es alto, pero compuestos como la glucosa que tienden a reprimir la producción de la enzima, son mantenidos al mínimo o agregados por alimentación a distintos tiempos, o bien son reemplazados por carbohidratos de lenta metabolización como lactosa o almidón. Al final los sólidos secos y la viscosidad deben ser bajos, la biomasa fácilmente separable y los carbohidratos y aminoácidos libres mínimos. Las enzimas extracelulares son producidas en cultivos por lote en ciclos de 30-150 h (Kalisz, 1988; Sandhya *et al.*, 2005; Sun y Xu, 2009).

Cada técnica tiene ventajas particulares, la FES presenta bajo costo de producción, requiere menos energía y espacio, hay menos problemas en el procesamiento, un menor requerimiento de agua, el producto es estable y hay una mayor productividad (Das y Mukherjee, 2007; Sun y Xu, 2009). Por otro lado, la FS tiene ventajas en el control de procesos y una fácil recuperación de enzimas extracelulares, micelios o esporas. Sin embargo, los productos son diluidos y los extractos enzimáticos pueden ser menos estables que los obtenidos de la FES. Los principales problemas en esta última a gran escala para el crecimiento de hongos son la eliminación limitada de agua y calor. En FS, el agua está presente abundantemente y las variaciones en la temperatura, la concentración de oxígeno y los nutrientes son pequeñas (Biesebeke *et al.*, 2002). En contraste, en la FES una cantidad mínima de agua permite la producción de metabolitos en una forma más concentrada, lo que hace que el proceso posterior consuma menos tiempo y sea menos costoso. Estas condiciones favorecen el crecimiento de hongos filamentosos, como normalmente crecen en la naturaleza en sustratos sólidos, como trozos de madera, hojas, raíces de plantas y otros materiales orgánicos naturales. Además, el bajo contenido de humedad puede minimizar los problemas de contaminación bacteriana durante la fermentación (Germano *et al.*, 2003).

Otra estrategia de producción es hacer uso de las técnicas de DNA recombinante, que han sido desarrolladas gracias a los avances sobre el conocimiento de la fisiología y el metabolismo microbiano, permitiendo el diseño de procesos donde los microorganismos se utilizan como fábricas celulares, mejorando con esto las características específicas de las enzimas ya estudiadas y produciendo cepas modificadas que expresan proteínas a gran escala en hospederos de expresión heteróloga (Juturu y Wu, 2012). Debido a esto, en la última década, ha aumentado de forma exponencial la producción de proteínas recombinantes de interés terapéutico e industrial. Las fases necesarias a nivel comercial son: la clonación del gen de interés en un vector de expresión, la transformación del microorganismo hospedero (sistema de expresión), el proceso de selección de los transformantes, el crecimiento del microorganismo y expresión en biorreactores y por último, la recuperación y purificación de la proteína (Ongley *et al.*, 2013). El tipo de sistema de expresión a utilizar se selecciona en función de diferentes parámetros, como el rendimiento de la producción, el éxito en las modificaciones y en el procesamiento post-traducciona, el plegamiento y la glicosilación de las proteínas de interés, la viabilidad económica y el posterior proceso de purificación. Para este fin se han empleado bacterias, levaduras y hongos filamentosos. Hay diversos reportes de clonación de un gran número de aspartil proteasas de varias fuentes con mejores propiedades que las nativas (Juturu y Wu, 2012; Sharma y Kumar, 2013; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2018).

5. Conclusión

Las proteasas son ampliamente utilizadas en la industria, ocupando el 60 % de las ventas totales de enzimas. Dentro de éstas se encuentran las aspartil proteasas, que son aplicadas principalmente en la industria láctea, específicamente en la elaboración de queso, por su capacidad de hidrolizar las proteínas de la leche; y en la industria de las bebidas, siendo las aspartil proteasas las principales enzimas que ayudan en la clarificación de las bebidas hechas a base de frutas. Las proteasas ácidas de origen fúngico son las más utilizadas debido a sus características que las hacen atractivas para los procesos industriales. A causa de la gran demanda y la búsqueda constante de enzimas con mejores características, es que las investigaciones se están centrando en encontrar nuevas cepas que permitan obtener mayores actividades y mejores características. De la misma forma, también se están desarrollando métodos para mejorar los rendimientos en los procesos de producción o en las características de las aspartil proteasas ya identificadas, mediante todo tipo de fermentaciones o expresiones heterólogas de los genes de interés en otros huéspedes.

6. Bibliografía

- Ageitos, J.M., Vallejo, J.A., Sestelo, A.B.F., Poza, M., y Villa, T.G. (2007). Purification and characterization of a milk-clotting protease from *Bacillus licheniformis* strain USC13. *Journal of Applied Microbiology*. 103:2205–2213.
- Andrade, V.S., Sarubbo, L.A., Fukushima, K. (2002). Production of extracellular proteases by *Mucor circinelloides* using D-glucose as carbon source/substrate. *Brazilian Journal of Microbiology*. 33:106–110.
- Aoki, W., Kitahara, N., Miura, N., Morisaka, H., Yamamoto, Y., Kuroda, K., y Ueda, M. (2012). *Candida albicans* possesses Sap7 as a pepstatin A-insensitive secreted aspartic protease. *PLOS ONE* 7:e32513.
- Avilés, X., Guasch, A., y Vendrell, J. (1994). Activación de precursores de proteínas. *Investigación y ciencia*. 210:74–81.
- Banerjee, G., y Raya, A.K. (2017). Impact of microbial proteases on biotechnological industries. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*. 31:3–27.
- Barret, A.J., Rawlings, N.D., y O'Brien, E.A. (2001). The MEROPS database as a peptidase information system. *Journal of Structural Biology*. 134:95–102.
- Barret, A.J., Tolle, D.P., y Rawlings, N.D. (2003). Managing peptidases in the genomic era. *The Journal of Biological Chemistry*. 384:873–882.
- Barrett, A. J. (1994). *Methods Enzymology*. Proteolytic enzymes: serine and cysteine peptidases Vol. 244. Academic Press Inc. San Diego California USA. pp. 1–15.
- Barrett, A. J. (1995). *Methods Enzymology*. Proteolytic enzymes: aspartic and metallopeptidases. Vol. 248. Academic Press Inc. San Diego California USA. pp. 183.
- Beg, Q.K., Saxena, R.K., Gupta, R. (2002). De-repression and subsequent induction of protease synthesis by *Bacillus mojavensis* under fed-batch operations. *Process Biochemistry*. 37:1103–1109.
- Bekhit, A.A., Hopkins, D.L., Geesink, G., Bekhit, A., y Franks, P. (2014). Exogenous proteases for meat tenderization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 54:1012–1031.
- Biesebeke, R.T., Ruijter, G., y Rahardjo, Y.S.P. (2002). *Aspergillus oryzae* in solid-state and submerged fermentations Progress report on a multi-disciplinary project. *FEMS Yeast Research*. 2:245–248.
- Blundell, T.L., y Johnson, M.S. (1993). Catching a common fold. *Protein Science*. 2:877–883.
- Borah, D., Yadav, R.N.S., Sangra, A., Shahin, L., y Chaubey, A.K. (2012) Production, purification and characterization of nattokinase from *Bacillus subtilis* from tea garden soil samples of Dibrugarh, Assam. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 3:124–125.
- Byarugaba-Bazirake, G.W., van Rensburg, P., y Kyamuhangire, W. (2013). The influence of commercial enzymes on wine clarification and on the sensory characteristics of wines made from three banana cultivars. *American Journal of Biotechnology and Molecular Sciences*. 3:41–62.
- Cascella, M., Micheletti, C., Rothlisberger, U., y Carloni, P. (2005). Evolutionarily conserved functional mechanics across pepsin-like and retroviral aspartic proteases. *Journal of the American Chemical Society*. 127:3734–3742.
- Cavalcanti, M.T.H., Martinez, C.R., Furtado, V.C., Neto, B.B., Teixeira, M.F.S., Lima, J.L., y Porto, A.L.F. (2005). Milk-clotting protease production by *Nocardiopsis sp* in an inexpensive medium. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 21:151–154.
- Cavalcanti, M.T.H., Teixeira, M.F.S., Filho, J.L.L., y Porto, A.L.F. (2004). Partial purification of new milk-clotting enzyme produced by *Nocardiopsis sp*. *Bioresource Technology*. 93:29–35.
- Chanalia, P., Gandhi, D., Jodha, D., y Singh, J. (2011). Applications of microbial proteases in pharmaceutical industry: an overview. *Reviews in Medical Microbiology*. 22:96–101.

- Chi, Z., Chi, Z., Zhang, T., Liu, G., Li, J., y Wang, X. (2009). Production, characterization and gene cloning of the extracellular enzymes from the marine-derived yeasts and their potential application. *Biotechnology Advances*. 27:236–255.
- Coates, L., Erskine, P.T., Wood, S.P., Myles, D.A., y Cooper, J.B. (2001). A neutron Laue diffraction study of endothiapsin: implications for the aspartic proteinase mechanism. *Biochemistry*. 40:13149–13157.
- Das, K., y Mukherjee, A.K. (2007). Comparison of lipopeptide biosurfactants production by *Bacillus subtilis* strains in submerged and solid state fermentation systems using a cheap carbon source: Some industrial applications of biosurfactants. *Process Biochemistry*. 42:1191–1199.
- Davies, D.R. (1990). The structure and function of the aspartic proteinase. *Annual Review of Biophysics and Biophysical Chemistry*. 19:189–215.
- Dawes, H., Boyes, S., Keene, J., y Heatherbell, D. (1994). Protein instability of wines—influence of protein isoelectric point. *American Journal of Enology and Viticulture*. 45:319–326.
- De Coninck, J., Bouquelet, S., Dumortier, V., Duyme, F., Denantes, IV. (2000). Industrial media and fermentation processes for improved growth and protease production by *Tetrahymena thermophile*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 24:285–290.
- Demain, A.L y Adrio, J.L. (2008). Contributions of microorganisms to industrial biology. *Molecular Biotechnology*. 38:41–55.
- Dunn, B. (2002). Structure and mechanism of the pepsin-like family of aspartic peptidases. *Chemical Reviews*. 102:431–4458.
- Dutt, K., Gupta, P., Saran, S., Misra, S., y Saxena, R.K. (2009). Production of milk-clotting protease from *Bacillus subtilis*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 158:761–772.
- Dutt, K., Meghwanshi, G.K., Gupta, P., y Saxena, R. K. (2008). Role of casein on induction and enhancement of production of a bacterial milk clotting protease from an indigenously isolated *Bacillus subtilis*. *Letters in Applied Microbiology*. 46:513–518.
- El-Baky, H., Link, D., Nimtz, M., y Gunter, R. (2011). PsoP1, a milk clotting Aspartic Peptidase from the Basidiomycete Fungus *Piptoporus soloniensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 28:10311–10316.
- Falconer, R.J., Marangon, M., Van Sluyter, S.C., Neilson, K.A., Chan, C., y Waters, E.J. (2010). Thermal stability of thaumatin-like protein, chitinase, and invertase isolated from Sauvignon blanc and Semillon juice and their role in haze formation in wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58:975–980.
- Fitzgerald, P.M.D., McKeever, B.M., Van Middlesworth., J.F., Springer, J.P., Heimbach, J.C., Chih-Tai, L., Herber, W.K., Dixon, R.A.F., y Darke, P.L. (1990). Crystallographic analysis of a complex between human immunodeficiency virus type 1 protease and acetyl-pepstatin at 2.0Å resolution. *The Journal of Biological Chemistry*. 265:14209–14191.
- Fox, J.W., Shannon, J.D., y Bjarnason, J.B. (1991). Proteinases and their inhibitors in biotechnology. Enzymes in biomass conversion. ACS Symposium Series. 460:62–79.
- Fruton, J. (2002). A history of pepsin and related enzymes. *The Quarterly Review of Biology*. 77:127–147.
- Fukasawa, K.M., Hata, T., Ono, Y., y Hirose J. (2011). Metal preferences of zinc-binding motif on metalloproteases. *Journal of Amino Acids*. 2011:1–7.
- Germano, S., Pandey, A., Osaku, C.A. (2003). Characterization and stability of proteases from *Penicillium* sp produced by solid-state fermentation. *Enzyme and Microbial Technology*. 32:246–251.
- Govind, N.S., Mehta, B., Sharma, M., y Modi, V.V. (1981). Protease and carotenogenesis in *Blakeslea trispora*. *Phytochemistry*. 20:2483–2485.
- Gupta R., Beg Q.K., Lorenz P. (2002) Bacterial alkaline proteases: molecular approaches and industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 59:15–32.

- Hajji, M., Hmidet, N., Jellouli, K. (2010). Gene cloning and expression of a detergent stable alkaline protease from *Aspergillus clavatus* ES1. *Process Biochemistry*. 45:1746–1752.
- Hameed, A., Keshavarz, T., Evans, C.S. (1999). Effect of dissolved oxygen tension and pH on the production of extracellular protease from a new isolate of *Bacillus subtilis* K2, for use in leather processing. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 74:5–8.
- Horimoto Y., Dee D., Yada R. (2009). Multifunctional aspartic peptidase prosegments. *New Biotechnology*. 25:318-324.
- Jacob, M., Jaros, D., y Rohm, H. (2011). Recent advances in milk clotting enzymes. *International Journal of Dairy Technology*. 64:14-34.
- Juturu, V y Wu, J.C. (2012). Microbial xylanases: Engineering, production and industrial applications. *Biotechnology Advances*. 30:1219-1227.
- Kalisz, H.M. (1988). Microbial proteinases. *Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology*. 36:1–65.
- Kamal, S., Rehman, S., y Iqbal, H.M.N. (2017). Biotechnological valorization of proteases: from hyperproduction to industrial exploitation: *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 36:511–522.
- Koka, R., y Weimer, B.C. (2000). Investigation of the ability of a purified protease from *Pseudomonas fluorescens* R098 to hydrolyze bitter peptides from cheese. *International Dairy Journal*. 10:75–79.
- Landbo, A.K., Pinelo, M., Vikbjerg, A., Let, M., y Meyer, A.S. (2006) Protease-assisted clarification of black currant juice: synergy with other clarifying agents and effects on the phenol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54:6554–6563.
- Li, J., Chi, Z., Liu, Z., Yue, L., Peng, Y., y Wan, L. (2009). Cloning and characterization of a novel aspartic protease gene from marine-derived *Metschnikowia reukaufii* and its expression in *E. coli*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 159:119– 132.
- Machalinski, C., Pirpignani, M.L., Marino, C., Mantegazza, A., y Bonino, M.B.J. (2006). Structural aspects of the *Mucor bacilliformis* proteinase, a new member of the aspartyl-proteinase family. *Journal of Biotechnology*. 123:443– 452.
- Maheshwari, R., Bharadwaj, G., Bhat, M.K. (2000). Thermophilic fungi: their physiology and enzymes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 64:461–488.
- Mandujano- González, V., Arana-Cuenca, A., Anducho-Reyes, M., Téllez-Jurado, A., González-Becerra, A., y Mercado-Flores, Y. (2013). Biochemical study of the extracellular aspartyl protease Eap1 from the phytopathogen fungus *Sporisorium reilianum*. *Protin Expression and Purification*. 92:214-222.
- Mandujano-González, V., Villa-Tanaca, L., Anducho-Reyes, M.A., y Mercado-Flores, Y. (2016). Secreted fungal aspartic proteases: A review. *Revista Iberoamericana de Micología*. 33:76–82.
- Mercado-Flores, Y., Guerra- Sánchez, G., Villa-Tanaca, L., y Hernández-Rodríguez, C. (2003). Purification and characterization of an extracellular non-aspartyl acid protease (pumAe) from *Ustilago maydis*. *Current Microbiology*. 47:408-11.
- Merheb, C.W., Cabral, H., Gomes, E., y Da Silva, R. (2007). Partial characterization of protease from a thermophilic fungus, *Thermoascus aurantiacus*, and its hydrolytic activity on bovine casein. *Food Chemistry*. 104:127– 131.
- Merheb-Dini, C., Gomes, E., Boscolo, M., y Silva, R. (2010). Production and characterization of a milk-clotting protease in the crude enzymatic extract from the newly isolated *Thermomucor indicae-seudaticae* N31. *Food Chemistry*. 120:87– 93.
- Mótyán, J.A., Tóth, F., y Tözsér, J. (2013). Research applications of proteolytic enzymes in molecular biology. *Biomolecules*. 3:923–942.

- Nguyen, J.T., Hamada, Y., Kimura, T., y Kiso, Y. (2008). Design of potent aspartic protease inhibitors to treat various diseases. *Archiv der Pharmazie, Chemistry in life sciences*. 341:523–535.
- Northrop, D. (2001). Follow the protons: a low-barrier hydrogen bond unifies the mechanisms of the aspartic proteases. *Accounts of Chemical Research*. 34:790–797.
- Ongley S.E., Bian X., Neilan B.A., Muller R. (2013). Recent advances in the heterologous expression of microbial natural product biosynthetic pathways. RSC publishing. *Natural Product Reports*. 30:1121–1138.
- Pérez-Rodríguez, J., Viguera-Morales, Y.S., Téllez-Jurado, A., Ibarra-García, J.A., Álvarez-Cervantes, J., y Mercado-Flores, Y. (2018). Expresión heteróloga de xilanasas y aspartil proteasas de hongos. En: Ciencias Biológicas y de la Salud. Proceedings TII. Ed. Trejo-Macotela, F. R. *ECORFAN-México*. pp. 12-24.
- Pichova, I., Pavlickova, L., Dostal, J., Dolejsi, E., Hruskova-Heidingsfeldova, O., Weber, J., Ruml, T., y Soucek, M. (2001). Secreted aspartic proteases of *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, *Candida parapsilosis* and *Candida lusitaniae*. Inhibition with peptidomimetic inhibitors. *European Journal of Biochemistry*. 268:2669–2677.
- Pinelo, M., Zeuner, B., y Meyer, A.S. (2010). Juice clarification by protease and pectinase treatments indicates new roles of pectin and protein in cherry juice turbidity. *Food and Bioproducts Processing*. 88:259–265.
- Poldermans, B. (1990). Proteolytic enzymes. En: Proteolytic enzymes in industry: production and applications. Ed. Gerhartz, W. Weinheim, Germany: VCH Publishers. pp. 108–123.
- Poza, M., Prieto-Alcedo, M., Sieiro, C., y Villa, T.G. (2004). Cloning and expression of clt genes encoding milk-clotting proteases from *Myxococcus xanthus* 422. *Applied and Environmental Microbiology*. 70:6337–6341.
- Poza, M., Sieiro, C., Carreira, L., Barros-Velazquez, J., y Villa, T.G. (2003). Production and characterization of the milk-clotting protease of *Myxococcus xanthus* strain 422. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 30:691–698.
- Puri, S., Beg, Q.K., y Gupta, R. (2002). Optimization of alkaline protease production from *Bacillus sp.* using response surface methodology. *Current Microbiology*. 44:286–290.
- Rani, K., Rana, R., y Datt, S. (2012). Review on latest overview of proteases. *International Journal of Current Research in Life Sciences*. 2:12–18.
- Rao, M.B., Tanksale, A.M., Ghatge, M.S., y Deshpande, V. (1998). Molecular and biotechnological aspects of microbial proteases. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 62:597–635.
- Rawlings, N.D., Barret, A.J., y Bateman, A. (2012). MEROPS: the database of proteolytic enzymes their substrates and inhibitors. *Nucleic Acids Research*. 40:343–350.
- Rawlings, N.D., y Barrett, J. (1993). Evolutionary families of peptidases. *Biochemical Journal*. 290:205–218.
- Rawlings, N.D., y Bateman, A. (2009). Pepsin homologues in bacteria. *BMC Genomics*. 10:437–448.
- Rizzello, C.G., De Angelis, M., Di Cagno, R., Camarca, A., Silano, M., Losito, I., De Vincenzi, M., De Bari, M.D., Palmisano, F., Maurano, F., Gianfrani, C., y Gobbetti, M. (2007). Highly efficient gluten degradation by lactobacilli and fungal proteases during food processing: new perspectives for celiac disease. *Applied and Environmental Microbiology*. 73:4499–4507.
- Roseiro, L.B, Barbosa, M., Ames, J.M., y Wilbey, R.A. (2003). Cheesemaking with vegetable coagulants the use of *Cynara L* for the production of ovine cheeses. *International Journal of Dairy Technology*. 56:76–85.
- Sabotic J., Kos J. (2012). Microbial and fungal protease inhibitors—current and potential applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 93:1351–1375.

- Sandhya, C., Sumantha, A., Szakacs, G., y Pandey, A. (2005). Comparative evaluation of neutral protease production by *Aspergillus oryzae* in submerged and solid-state fermentation. *Process Biochemistry*. 40:2689–2694.
- Santos, L.O., Garcia-Gomes, A.S., Catanho, M., Sodr , C.L., Santos, A.L.S., Branquinha, M.H., y D’Avila-Levy, C.M. (2013). Aspartic Peptidases of Human Pathogenic Trypanosomatids: Perspectives and Trends for Chemotherapy. *Current Medicinal Chemistry*. 20:3116–3133.
- Sato, S., Tokuda, H., Koizumi, T., y Nakanishi, K. (2004). Purification and characterization of an extracellular protease having milk-clotting activity from *Enterococcus faecalis* TUA2495L. *Food Science and Technology Research*. 10:44–50.
- Shah, M.A., Mir, S.A., y Paray, M.A. (2014). Plant proteases as milk-clotting enzymes in cheesemaking: A review. *Dairy Science & Technology*. 94:5–16.
- Sharma M., Kumar A. (2013). Xylanases: An overview. *British Biotechnology Journal*. 3:1–28.
- Shieh, C.J., Phan Thi, L.A., y Shih, I.L. (2009). Milk-clotting enzymes produced by culture of *Bacillus subtilis natto*. *Biochemical Engineering Journal*. 43:85–91.
- Shindo, S., Kashiwagi, Y., y Shiinoki, S. (1998). Sake brewing from liquefied-rice with immobilised fungal mycelia and immobilised yeast cells. *Journal of the Institute of Brewing*. 104:277–281.
- Singh, R., Singh, A., y Sachan, S. (2019). Enzymes Used in the Food Industry: Friends or Foes? En: Enzymes in Food Biotechnology. Production, Applications, and Future Prospects. Ed. Kaddus, M. Academic Press. USA. pp. 827–843.
- Sumantha, A., Larroche, C., y Pandey, A. (2006). Microbiology and Industrial Biotechnology of Food-Grade Proteases: A Perspective. *Food Technology and Biotechnology*. 44:211–220.
- Sun, S.Y., y Xu, Y. (2009). Membrane-bound ‘synthetic lipase’ specifically cultured under solid-state fermentation and submerged fermentation by *Rhizopus chinensis*: a comparative investigation. *Bioresource Technology*. 100:1336–1342.
- Theron, L.W., y Divol, B. (2014). Microbial aspartic proteases: current and potential applications in industry. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 98:8853–8868.
- Tubesha, Z.A., y Al-Delaimy, K.S. (2003). Rennin-like milk coagulant enzyme produced by a local isolate of *Mucor*. *International Journal of Dairy Technology*. 56:237–241.
- Tyndall, J.D.A., Nall, T., y Fairlie, D.P. (2005). Proteases universally recognize β -strands in their active sites. *Chemical Reviews*. 105:973–1000.
- Veerapandian, B., Cooper, J., Sali, A., Blundell, T., Rosati, R., Dominy, B., Damon, D., y Hoover, D. (1992). Direct observation by X-ray analysis of the tetrahedral intermediate of aspartic proteinases. *Protein Science*. 1:322–328.
- Venera, G.D., Machalinski, C., Zum rrega, H., Biscoglio, M.J., y Bonino, D.J. (1997). Further characterization and kinetic parameter determination of a milk-clotting protease from *Mucor bacilliformis*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 68:207–216.
- Verma, S., Dixit, R., y Pandey, K. C. (2016). Cysteine Proteases: Modes of Activation and Future Prospects as Pharmacological Targets. *Frontiers in pharmacology*. 7:107.
- Ward O. (2012). Production of recombinant proteins by filamentous fungi. *Biotechnology Advances*. 30:1119–1139.
- Wu, W., y Chen, X.L. (2011). Extracellular metalloproteases from bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 92:253–262.

Capítulo II Biofloculación de la microalga de agua dulce *chlorella sorokiniana* asistida por hongos filamentosos

Chapter II Bioflocculation of the freshwater microalgae *chlorella sorokiniana* assisted by filamentous fungi

TOSCANO-PALOMAR, Lydia¹ †*, STOYTICHEVA-STILIANOVA, Margarita², MEDINA-PALOMERA, Amalia¹ y ARREDONDO-ESPINOZA, Michelle¹

¹*Instituto Tecnológico de Mexicali*

²*Universidad Autónoma de Baja California*

ID 1^{er} Autor: *Lydia, Toscano-Palomar* / **ORC ID:** 0000-0002-2472-4826, **Researcher ID Thomson:** O-1442-2018, **CVU CONACYT ID:** 306380

ID 1^{er} Coautor: *Margarita, Stoytcheva-Stilianova* / **ORC ID:** 0000-0002-8281-9823, **Researcher ID Thomson:** A-6530-2018 y **CVU CONACYT ID:** 215808

ID 2^{do} Coautor: *Amalia, Medina-Palomera* / **ORC ID:** 0000-0003-3382-7365, **CVU CONACYT ID:** IT16D841

ID 3^{er} Coautor: *Michelle, Arredondo-Espinoza* / **ORC ID:** 0000-0002-1703-0324, **Researcher ID Thomson:** F-8751-2019

DOI: 10.35429/H.2019.4.16.38

L. Toscano, M. Stoytcheva, A. Medina y M. Arredondo

toscano.lydia@itmexicali.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Díaz, L. Cruz. (Dir.) La ciencia y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2019.

Resumen

Hoy en día, el cultivo conjunto de células de hongos y microalgas se considera una tecnología potencial que podría minimizar el costo de recolección y los insumos de energía en el enfoque de las algas en los biocombustibles. En el presente estudio; el co-cultivo de cinco hongos filamentosos seleccionados con la microalga *Chlorella sorokiniana* para formar glóbulos celulares se evaluó en diferentes condiciones tales como el contenido de fuente de carbono orgánico (glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa) y de nitrógeno (urea, peptona, extracto de levadura y nitrato de sodio) con y sin la presencia de una fuente de carbono alternativa (paja de trigo); y una relación inicial de esporas fúngicas / células microalgales en crecimiento mixotrófico. Se realizaron mediciones de la actividad enzimática de celulasa y del potencial zeta para comprender mejor el proceso de co-floculación. Se encontró que *Aspergillus flavus* era el más eficaz para la co-floculación en medio de cultivo BG-11 suplementado a pesar de su pH alcalino (7.5-8.3) bajo co-cultivo mixotrófico, pudiendo cosechar hasta el 96% de las células de microalgas (concentración inicial de la microalga 4.2×10^7 células mL⁻¹) en 48 h cuando el cultivo se suplementó con 5, 10 y 1 g L⁻¹ de fructosa, NaNO₃ y KH₂PO₄, respectivamente. También se estudió la eficacia de la cosecha en términos de densidad óptica a 750 nm, así como la velocidad de consumo de los azúcares, el pH y la actividad de la enzima celulasa (2,3 U ml⁻¹ valor máximo) con el tiempo. La cepa *A. flavus* investigada en este trabajo podría surgir como un método eficiente y económicamente viable en la cosecha de microalgas para la producción de biocombustibles, así como en la producción de otros compuestos valiosos a partir de metabolitos fúngicos extracelulares.

Co-cultivo, Co-floculación, Cosecha de microalga, Fongos filamentosos

Abstract

Nowadays, co-cultivation of fungal and microalgal cells is considered as a potential technology that could be able to minimize the harvesting cost and energy inputs in the algae-to-biofuel approach. In the present study; co-cultivation of five selected filamentous fungus and microalgae *Chlorella sorokiniana* to form cell pellets was evaluated under different conditions such as organic carbon (glucose, fructose, sucrose, and maltose) and nitrogen (urea, peptone, yeast extract and sodium nitrate) source content with and without the presence of alternative carbon source (wheat straw); and initial fungal/microalgae cells ratio for mixotrophic growing. In addition, cellulase activity and zeta potential measurements were carried out in order to get a better understanding of the pelletization process. *Aspergillus flavus* was found most efficient for pelletizing in the nutrient supplemented spent BG-11 in spite of its alkaline pH (7.5-8.3) under mixotrophic growing, being able to harvest up to 96% of the microalgal cells (4.2×10^7 cells mL⁻¹ initial algal concentration) within 48h at supplementation of 5, 10 and 1 g L⁻¹ of fructose, NaNO₃ and KH₂PO₄, respectively. The harvesting efficiency in terms of optical density at 750 nm as well as the variation of residual sugars, pH, and cellulase enzyme activity (2.3 U mL⁻¹ maximum value) with time was also studied. *A. flavus* strain investigated in this work could emerge as an efficient, and economically viable method in microalgae harvesting for biofuel production as well as in the production of other valuable compounds from extracellular fungal metabolites.

Co-culture, Co-pelletization, Filamentous fungi, Microalgae harvest

1. Introducción

La biomasa algal es considerada una fuente renovable de energía prometedora para la producción de biocombustibles y para la producción de sustancias químicas (Foley, et al., 2011; Gonçalves, Pires & Simões, 2013). El cultivo de las microalgas, a diferencia de los cultivos tradicionales de semillas oleaginosas, puede proporcionar más biomasa con un mayor contenido de lípidos utilizando menos agua en un área de tierra más pequeña cuyo cultivo puede realizarse en tierras no agrícolas, evitando así la competencia con la producción agrícola (Ahmad, Yasin, Derek & Lim, 2011). Sin embargo, independientemente de estas ventajas, la falta de un método económico para la recolección de cultivos de las microalgas es uno de los cuellos de botella en su comercialización en la industria de los biocombustibles debido principalmente a la alta tasa de dilución de estos cultivos, al tamaño de las células y a la carga de la superficie celular electronegativa (Uduman, Qi, Danquah, Forde & Hoadley, 2010).

La recolección de microalgas por sedimentación y filtración simple es solo posible para especies más grandes debido al pequeño tamaño de las células de microalgas (2-20 μm) lo que representa hasta el 20-30% del costo total de la producción de biomasa (Barros, Gonçalves, Simões, & Pires, 2015). La recolección de microalgas actualmente involucra métodos mecánicos, químicos, biológicos y, en menor medida, eléctricos. Es muy común combinar dos o más de estos métodos para obtener una mayor tasa de separación a costos más bajos (Milledge & Heaven, 2013).

Varios estudios han demostrado que es posible utilizar hongos filamentosos como un medio para la recolección de microalgas (Zhang & Hu, 2012; Vandamme, Foubert & Muylaert, 2013; Zhou, et al., 2013; Prajapati, Kumar, Malik & Choudhary, 2014; Wrede, et al., 2014). Estos estudios concuerdan en que los hongos filamentosos poseen una capacidad única para formar agregados de microalgas-hongos junto con la producción de cantidades considerables de enzimas extracelulares, incluida la celulasa. La asociación de microalgas y hongos filamentosos ocurre naturalmente en los líquenes. Simbióticamente, las microalgas fijan el CO_2 y producen compuestos orgánicos, promoviendo el crecimiento de los hongos que, a cambio, brindan protección a las microalgas al retener el agua y servir de soporte para los nutrientes minerales (Gultom & Hu, 2013). La biofloculación de microalgas asistida por hongos filamentosos a través del co-cultivo entre las especies se basa en la adhesión de células de algas en las hifas del micelio de los hongos, aunque el mecanismo de acción no se conoce bien, parece estar respaldado por las diferencias en la carga superficial entre las células algales y fúngicas (Zhang & Zhang, 2016). El co-cultivo de la microalga *Chlorella sorokiniana* con la especie del hongo filamentoso *Isaria fumosorosea* para lograr la bio-floculación asistida ha sido recientemente reportado como un proceso integrado para la producción hidrotérmica de metano (Mackay, Gomes, Holliger, Bauer & Schwitzguébel, 2015).

Recientemente, Zou, Luo & Li, 2016, investigaron los efectos del contenido de glucosa y la crema de levadura en el comportamiento de los sistemas de simbiosis de agregados celulares de hongo-*Chlorella* sp. Estos estudios revelaron la capacidad de los hongos filamentosos para atraer células de la microalga formando flóculos de biomasa en presencia de fuentes de carbono orgánico como la glucosa. También indican que el co-cultivo de algas y hongos en la biofloculación son altamente sensibles a las condiciones de cultivo (autótrofas / heterótrofas) y requieren altos aportes de glucosa para apoyar el crecimiento de hongos con un tiempo de proceso relativamente largo (mínimo 48 h) para lograr una importante extracción de microalgas (Ummalyma, et al., 2017). En este trabajo, se analizaron cinco cepas fúngicas filamentosas (*A. flavus*, *A. niger*, *A. oryzae*, *P. chrysogenum* y *T. harzianum*) para determinar su eficacia de floculación contra la cepa *Chlorella sorokiniana* de microalgas utilizando otras fuentes de carbono y nitrógeno que la glucosa y crema de levadura, respectivamente. El nivel de lípidos y la composición de ácidos grasos se analizaron en gránulos de algas y hongos cultivados en condiciones heterotróficas y mixotróficas.

2. Materiales y Métodos

2.1 Preparación de los monocultivos

La cepa *Chlorella sorokiniana* se obtuvo de la colección NAABB/LANL, se caracterizó e identificó como *Chlorella* DOE 1412 (Lammers, et al., 2017). Las microalgas se cultivaron en medio BG-11 modificado en condiciones estériles. La composición química del medio BG-11 modificado fue la siguiente: NaCl (5 g L^{-1}), NaNO_3 (1.5 g L^{-1}), K_2HPO_4 (0.04 g L^{-1}), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0.075 g L^{-1}), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0.036 g L^{-1}), ácido cítrico (0.006 g L^{-1}), citrato de amonio férrico (0.006 g L^{-1}), EDTA (0.001 g L^{-1}), Na_2CO_3 (0.02 g L^{-1}) y mezcla de metales traza (1.0 mL). La mezcla de metales traza consistió en H_3BO_3 (2.86 g L^{-1}), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (1.81 g L^{-1}), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0.222 g L^{-1}), $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0.39 g L^{-1}), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0.079 g L^{-1}) y $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0.05 g L^{-1}). Para iniciar un cultivo de algas, se inocularon 3 l de medio BG-11 con 150 ml de cultivo de *C. sorokiniana*, de la reserva de inóculo. El cultivo se mantuvo en un matraz Erlenmeyer de 4 L utilizado como foto-biorreactor a temperatura ambiente ($22 \text{ }^\circ\text{C}$) y las lámparas fluorescentes se dispusieron a un lado del foto-biorreactor para suministrar iluminación con un fotoperíodo de 12 h. Se proporcionó agitación magnética para mezclar. Las condiciones de crecimiento del cultivo microalgal fue fotoautotrófico hasta alcanzar una densidad óptica (medida a 750 nm, denominada OD_{750}) ≈ 1.2 y se mantuvieron a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ en la oscuridad hasta el momento del experimento de biofloculación el mismo día. La tasa de crecimiento (μ , día⁻¹) se analizó mediante la producción de biomasa y se calculó de la siguiente manera: $\mu = [\ln(\text{DW}_t) - \ln(\text{DW}_0)] / t$, en la que DW_t y DW_0 fueron la biomasa del día t y el día 0, respectivamente.

Para el estudio de la biofloculación algal asistida por hongos filamentosos se utilizaron cinco cepas de hongos, aisladas de suelo agrícola e identificadas como: *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Penicillium chrysogenum* y *Trichoderma harzianum* mediante análisis morfológico e identificación molecular para la estimación de la eficacia de biofloculación. Las especies de hongos se almacenaron en agar de dextrosa de papa (PDA). Para la activación, las esporas almacenadas se cultivaron a 29 ± 1 °C durante cinco días en placas con PDA. Se añadió una solución estéril de glicerina al 0,1% para la preparación de la suspensión de esporas. Esta suspensión de esporas se utilizó como inóculo para el co-cultivo después de determinar la concentración de esporas.

2.2 Identificación Molecular de los hongos filamentosos

Las regiones espaciadoras transcritas internas (ITS) del ADN ribosomal fúngico (ADNr) se utilizaron para la identificación de los hongos. El ADN de las cepas fúngicas se extrajo de acuerdo con: Lacap, Hyde & Liew., 2003; Almakarem, Heilman, Conger, Shtarkman & Rogers, 2012. Las regiones ITS4-ITS5 del rDNA de cada aislamiento se amplificaron mediante PCR utilizando los cebadores universales, ITS4: TCCTCCGCTTATTGATATGC e ITS5: GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG (White, Bruns, Lee & Taylor, 1990). Las secuencias obtenidas se alinearon utilizando el programa BioEdit (versión 7.2) y se analizaron utilizando el nucleótido BLAST (Herramienta de búsqueda básica de alineación local) disponible en la base de datos del NCBI (National Center for Biotechnology Information por sus siglas en Inglés). La identificación a nivel de especie se basó en más del 95% de la identidad entre las secuencias ITS de referencia.

2.3 Diseño experimental

En el presente estudio se realizaron tres series diferentes de experimentos para las cepas fúngicas seleccionadas en función de su capacidad de formación de agregados celulares: 1) Determinación de la concentración óptima de inóculo fúngico, 2) Diferentes fuentes de carbono y nitrógeno en co-cultivos 3) Crecimiento de co-cultivos por agitación rotatoria y por agitación por borboteo de aire. Estos se describen en las secciones siguientes. En todos los experimentos, las biomásas fúngicas iniciales utilizadas fueron similares a las reportadas por otros investigadores para su uso en procedimientos relevantes para el co-cultivo de microalgas y hongos en la formación de los agregados celulares (Wrede, et al., 2014; Gultom, Zamalloa & Hu, 2014). El tiempo de tratamiento en los diferentes experimentos se seleccionó en base al tiempo necesario para formar agregados celulares estables.

2.4 Eficiencia de formación de agregados miceliales

En la determinación de la habilidad para formar agregados miceliales por las cepas fúngicas, los experimentos se realizaron en matraces Erlenmeyer de 500 mL de capacidad usando 150 mL de cultivo. Se utilizó como medio GB11 gastado como medio de cultivo, obtenido por separación de cultivo maduro de microalgas, el cual fue esterilizado para su posterior uso. El medio BG11 estéril fue suplementado con glucosa (5 g L^{-1}), nitrógeno como extracto de levadura (5 g L^{-1}) y fosfato como KH_2PO_4 (1.0 g L^{-1}).

El pH se ajustó a 5.5 por adición de soluciones de ácido sulfúrico 2M o hidróxido de sodio 2M. La habilidad de los hongos para formar agregados miceliales se determinó a diferentes concentraciones iniciales de esporas (4×10^4 , 8×10^4 y 4×10^5 esporas mL^{-1}). Estos cultivos fúngicos se incubaron con agitación rotatoria (120 rpm) a 29 ± 1 °C por 72 h. El crecimiento y la formación de los agregados miceliales se registraron por observación visual.

2.5 Efecto de fuentes de carbono y nitrógeno en la formación de los co-agregados célula/micelio

Para estudiar el efecto de las fuentes de carbono y nitrógeno en la morfología de los agregados microalga/micelio, se trataron cultivos autótrofos de la microalga de *C. sorokiniana* con una densidad celular promedio de 4×10^7 células mL^{-1} con diferentes tipos de azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa, y maltosa) usando 5, 10 and 20 g L^{-1} para cada uno y suplementados con extracto de levadura (2.5 g L^{-1}) y KH_2PO_4 (1 g L^{-1}) como fuentes de nitrógeno y fosfato, respectivamente. Los cultivos de microalga suplementados fueron inoculados con suspensión de esporas fúngicas (relación espóra-célula de 1:500 hongo/microalga) y cultivados en placas de 12 pozos.

El mismo procedimiento se aplicó para la determinación de la mejor fuente de nitrógeno. Se utilizaron cuatro diferentes fuentes de nitrógeno (urea, peptona, extracto de levadura y nitrato de sodio) con concentraciones de 5, 10 and 20 g L⁻¹ y suplementados con glucosa (2.5 g L⁻¹) como fuente de carbono. El pH de los co-cultivos se ajustó a 5.5 y se incubaron en un orbital rotatorio (120 rpm) bajo condiciones mixotróficas a 29 ± 1 °C en ciclo de luz y oscuridad por periodo de 12h/12h. La densidad óptica del sobrenadante en los cultivos se midió a 750 nm y se hicieron observaciones visuales para determinar el momento de formación de co-agregados célula/micelio. Las fuentes de carbono y nitrógeno fueron llevadas a autoclave para su esterilización separadamente y agregadas a los co-cultivos bajo condiciones asépticas.

2.6 Eficiencia de Cosecha de la microalga

Los cultivos preparados de la microalga (DO 1.0 – 1.2 a 750 nm) y cultivados en medio BG11 bajo condiciones autótrofas fueron suplementados con 34 mg L⁻¹ de cloranfenicol, 10 g L⁻¹ de NaNO₃ and 1.0 g L⁻¹ de KH₂PO₄ como fuentes de nitrógeno y fosfatos, respectivamente. Los co-cultivos se iniciaron por inoculación de suspensión de esporas fúngicas hasta una relación final de espора-célula 1:500. Estos cultivos se dividieron en dos partes y se mezclaron con 5 g L⁻¹ de glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa, separadamente. Una parte fue suplementada con 1.5 g L⁻¹ de paja molida de trigo (malla 40) para inducir la producción de celulasa. Los frascos se incubaron aplicando agitación continua (120 rpm) a 29 ± 1°C bajo condiciones mixotróficas de crecimiento en ciclo luz y oscuridad de 12h/12h. Posteriores experimentos fueron conducidos en iguales condiciones aplicando burbujeo de aire para agitación y suministro de oxígeno.

El pH se mantuvo en 5.5 por adición de soluciones de ácido sulfúrico y/o hidróxido de sodio 2M. Se tomaron muestras cada 12 h para ajuste de pH, medición de velocidad de consumo de azúcares, cambio de DO₇₅₀ y actividad celulolítica a partir de aparición de biomasa fúngica.

Después de 4 días los co-cultivos se evaluaron de forma cualitativa y cuantitativa para el tamaño y la morfología de los agregados célula/micelio a través de la observación visual, el porcentaje de remoción de microalgas del sobrenadante del co-cultivo y el contenido de biomasa de hongo y de microalga. Los experimentos de control consistieron en monocultivos de microalgas y hongos que se corrieron en cada conjunto de experimentos en duplicados. Para la inoculación, el número de células de la microalga y el número de esporas del hongo se contaron utilizando un hemocitómetro (Hausser Scientific, Horsham, PA, EUA.) bajo un microscopio óptico. A menos que se indique lo contrario, la concentración inicial de inoculación de microalgas y hongos fue de 3.2 x 10⁷ células mL⁻¹ y 6.4 x 10⁴ esporas mL⁻¹, respectivamente. Para el análisis de eficiencia de cosecha de la biomasa algal (EC), se analizaron muestras de co-cultivo 10 minutos después de detener la agitación. La EC se calculó en función de los cambios en OD₇₅₀, el número de células, la biomasa y las concentraciones de clorofila de las células de algas capturadas en los medios de co-cultivo en diferentes momentos según la fórmula: EC (%) = [(AB) / A] x 100, donde A = OD₇₅₀, números de células, biomasa, concentraciones de clorofila en el tiempo 0; B = OD₇₅₀, números de células, biomasa, concentraciones de clorofila en el tiempo t.

2.7 Actividad de la enzima celulasa

Una vez que los aglomerados de biomasa algal-fúngica comenzaron a formarse de acuerdo con los métodos descritos, las muestras se extrajeron a intervalos regulares (24 h) para medir la actividad enzimática de la celulasa extracelular producida.

Las muestras se centrifugaron (10, 000 rpm, 10 min) y se analizó el sobrenadante para determinar la actividad enzimática incubando 0,5 ml de extracto del cultivo con 0,5 ml de carboximetilcelulosa (CMC) como sustrato en solución tampón de citrato 0,05 M (pH 4,8) a 50 ° C durante 60 min. La reacción se terminó mediante la adición de 3 ml de reactivo de ácido dinitrosalicílico. Los tubos se colocaron en un baño de agua en ebullición durante 10 min. y se enfrió a temperatura ambiente. El azúcar reductor formado por la hidrólisis del sustrato durante la incubación de los ensayos se midió leyendo la absorbancia a 540 nm frente a una curva de calibración estándar de glucosa (Miller, 1959; Zhang, Hong & Ye, 2009). Una unidad de actividad enzimática se define como la cantidad de enzima capaz de liberar 1 μmol de azúcar reductor por minuto en las condiciones del ensayo.

2.8 Análisis de muestras

Después de 96 h de cultivo, se recolectó la biomasa de la co-floculación y se analizó la distribución de la biomasa, el diámetro promedio de los pellets, la eficiencia de cosecha (EC) en los co-cultivos. La biomasa total se determinó gravimétricamente secando las muestras a 60 ° C durante 24 h. Con el fin de diferenciar la biomasa de algas y hongos en muestras de sedimento de co-cultivo, la biomasa de algas de biomasa de algas se determinó indirectamente midiendo la clorofila *a* y la clorofila *b*, [*Chl (a + b)*] concentración. La concentración de clorofila se determinó espectrofotométricamente (espectrofotómetro Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS, EUA.) Mediante extracciones con solución de metanol (90% v / v) con tiempos de contacto de 24 h de una cantidad de biomasa seca y molida de los flóculos o agregados con agitación rotatoria de 200 rpm a 60 ° C. Se generaron curvas estándar de la concentración de *Chl (a + b)* frente al peso seco de biomasa algal ($R^2 = 0.998$) para correlacionar la concentración de la clorofila con el peso seco de la microalga (Becker, 1994).

La biomasa fúngica se determinó por la diferencia entre el peso total de biomasa seca y el peso de biomasa algal medida. Los aglomerados de biomasa se separaron por filtración utilizando una tela filtrante de nailon de malla 30 y la biomasa separada se colocó en una placa de vidrio para medir el diámetro con una escala. La concentración de azúcares residuales en el medio se estimó cada 12 h utilizando el método del ácido dinitrosalicílico (DNS) (Miller, 1959). Se realizaron extracciones y análisis de rendimiento de lípidos y análisis de composición de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) de algas, hongos y de agregados de algas/micelio.

La biomasa seca se procesó con una mezcla de 10 ml de cloroformo y metanol (2:1 v / v) para extraer el aceite microbiano mediante extracción asistida por microondas (Sistema de reacción acelerada por microondas MARS-X, Matthews, NC, EE. UU.). Finalmente, se generó FAME mediante reacción de transesterificación en un baño de agua a 60 ° C (Modelo 202, Isotemp Fisher Scientific, Hampton, NH, EUA.) Durante 10 minutos con una solución 3 M de HCl / metanol. El producto de transesterificación (FAME) se disolvió en diclorometano (DCM) y se analizó por cromatografía de gases en un sistema Agilent 7890A GC acoplado a un detector selectivo de masa (MSD) Agilent 5975C con Detector de triple eje (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA) (Gong & Jiang, 2011). Los parámetros utilizados en el análisis de FAMEs fueron los siguientes: gas portador He, flujo 1,0 ml min⁻¹, columna: Omegawax 250, Supelco, Bellefonte (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm), temperatura del horno: comenzó a 90 ° C y aumentó a 240 ° C, temperatura de la fuente de espectrometría de masas (MS): 180 ° C. Se recogieron los espectros de masas de impacto electrónico de la muestra. Los FAMEs se determinaron al comparar su patrón de fragmentación con la biblioteca de referencia espectral de masas NIST.

2.9 Análisis de carga de superficie celular

La carga superficial de las células de la microalga y de las esporas de los hongos se midió a diferentes valores de pH en condiciones de temperatura ambiente (5, 6, 7 y 8) mediante la medición del potencial zeta utilizando un analizador de potencial zeta (Malvern, Zetasizer Nano ZS, Houston, TX, EUA.) Debido al pequeño tamaño de las esporas de hongos y de las células de la microalga (3-50 µm), la medición de la carga superficial se pudo realizar directamente sin reducción del tamaño de partícula, mientras que los agregados de hongos y de hongo / alga se trituraron después de congelarse con nitrógeno líquido.

2.10 Tinción al Rojo Nilo

Para la tinción con Rojo Nilo se realizó para la observar las gotas de aceite intracelulares presentes en los agregados de hongo / microalga. Los agregados del co-cultivo fueron separados por centrifugación (6.000 rpm, 5 min) y se resuspendieron en 1 mL de DMSO al 20% que contenía 5 µL de solución madre de Rojo Nilo (0,10 mg / ml de Rojo Nilo disuelto en acetona) y se incubó a 50 ° C con agitación a 150 rpm durante 5 min. Los gránulos teñidos se observaron luego por microscopía de fluorescencia usando un Olympus BX61 con una cámara adjunta (Olympus DP72) para gotitas de aceite dentro de las células de la microalga. El Rojo Nilo tiene excitación a 543 nm y emisión a 555 - 650 nm.

3. Resultados

3.1 Hongos filamentosos con capacidad de formación de agregados miceliales

Se observó que las cepas fúngicas candidatas (*A. flavus*, *A. niger*, *A. oryzae*, *P. chrysogenum* y *T. harzianum*) mostraron micelio fúngico en placas de PDA después de un cultivo de 5 días, lo que sugiere que estas cepas pertenecen a los hongos filamentosos.

Estas cepas de hongos filamentosos se identificaron según la morfología de las colonias y las imágenes microscópicas (no mostradas aquí) de colonias y conidios combinados con el resultado BLAST de la biblioteca de genes de hongos. Las cepas fúngicas se investigaron más para determinar la capacidad de formación de agregados miceliales mediante el crecimiento de esporas fúngicas en medios gastados BG11 cuya composición química demostró ser ($\mu\text{g mL}^{-1}$): carbohidratos 13.70; proteína 286.46; nitrógeno total 2.73; fósforo total 5.71, complementado con glucosa (5 g L^{-1}), extracto de levadura (5 g L^{-1}) y fosfato (KH_2PO_4 , 1.0 g L^{-1}) y el pH ajustado a 6. Se encontró que solo la cepa fúngica *T. harzianum* formó agregados irregulares sueltos y esponjosos, mientras que el resto de las cepas fúngicas demostraron capacidad de formación de agregados esféricos y densos (Fig. 1) después de 3 días de cultivo, dicha observación está de acuerdo con los informes que indican que la formación de agregados miceliales por hongos filamentosos en cultivos sumergidos es específica de la especie (Gultom & Hu, 2013; Gibbs, Seviour, & Schmid, 2000).

Figura 2.1 Comparación de la capacidad de los hongos filamentosos para formar agregados miceliales en medio gastado BG-11, complementado con glucosa, fosfato de potasio y nitrato de sodio como fuentes de carbono, fósforo y nitrógeno, respectivamente. Del 1 al 5, *A. flavus*, *A. niger*, *A. oryzae*, *P. chrysogenum* and *T. harzianum*.



Fuente: Elaboración Propia

3.2 Efecto de la concentración inicial de esporas de hongos en el proceso de granulación

Para observar el efecto de la concentración de inóculo fúngico en el tamaño y número de agregados producidos, se inocularon diferentes concentraciones iniciales de esporas fúngicas basadas en una concentración constante de microalgas para la cosecha de la microalga ($\approx 4.0\text{E} + 07$ células / mL).

La concentración de inóculo de las esporas de hongos se ajustó en función a la relación de número de esporas de hongo con número de células de la microalga en 1:100, 1:500 y 1:1000. Estas relaciones corresponden a concentraciones de esporas de $4.0\text{E} + 05$, $8.0\text{E} + 04$ y $4.0\text{E} + 04$ esporas / mL respectivamente.

Los cultivos sumergidos de las cepas fúngicas seleccionadas se realizaron en los medios identificados en la sección anterior como medios BG-11 agotados y suplementados para la formación de los agregados. Las tres concentraciones de esporas diferentes formaron agregados esféricos y densos en cuatro de las 5 cepas de hongos seleccionadas. La cepa *T. harzianum* formó agregados esponjosos y dispersos.

El número de agregados aumentó y el diámetro disminuyó en todos los cultivos con el incremento de la concentración de esporas cuando se usó glucosa y extracto de levadura como fuentes de carbono y nitrógeno respectivamente (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Crecimiento micelial y estructura de agregados en medio gastado BG-11 suplementado con glucosa (5 g L⁻¹), NaNO₃ (10 g L⁻¹) y KH₂PO₄ (1 g L⁻¹) a pH (\approx 5.5) para diferentes relaciones de esporas de hongo y células de microalga después de 72 h de fermentación sumergida

Agregados en base a relación Hongo y Microalga (espora/células)									
Hongo filamentoso	1:100			1:500			1:1000		
	Forma	Tamaño (mm)	Agregado (#)	Forma	Tamaño (mm)	Agregado (#)	Forma	Tamaño (mm)	Agregado (#)
<i>Aspergillus flavus</i>	Compacto & esférico	2 \pm 0.5	350	Compacto & esférico	7 \pm 1.0	180	Compacto & esférico	7 \pm 1.0	120
<i>Aspergillus niger</i>	Compacto & esférico	2 \pm 0.5	380	Compacto & esférico	6 \pm 0.5	160	Compacto & esférico	6 \pm 0.5	130
<i>Aspergillus oryzae</i>	Compacto & esférico	2 \pm 1.0	340	Compacto & esférico	8 \pm 1.0	180	Compacto & esférico	9 \pm 1.0	140
<i>Penicillium chrysogenum</i>	Compacto & esférico	1 \pm 0.5	360	Compacto & esférico	2 \pm 0.5	220	Compacto & esférico	2 \pm 1.0	190
<i>Trichoderma harzianum</i>	Filamentoso & disperso	-	-	Filamentoso & disperso	-	-	Filamentoso & disperso	-	-

150 mL de medio por cultivo

Los valores de la tabla son la media de dos réplicas, con excepción del tamaño del agregado. El tamaño del agregado es la media de la medición de 100 agregados miceliales de cada cultivo con desviaciones estándar de $\alpha = 0.05$, $n = 2$.

Fuente: Elaboración Propia

Debido a que el tamaño del agregado disminuyó según el aumento de la cantidad de inóculo del hongo, pudimos confirmar que el tamaño del inóculo del hongo influye en la morfología de los agregados miceliales. Las mismas observaciones de hongos filamentosos como *A. niger* y *A. terreus* se han reportado (Gultom, Zamalloa & Hu, 2014; Shin, Lee, Jeong & Chun, 2017).

3.3 Efecto de las fuentes de carbono y nitrógeno en la formación de flóculo micelio/microalga

Para evaluar el efecto de las fuentes de carbono y nitrógeno en la morfología de los agregados de micelio / microalga, cuatro diferentes fuentes de carbono (glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa) y de nitrógeno (urea, extracto de levadura, peptona y nitrato de sodio) usando 3 concentraciones diferentes (5, 10 y 20 g L⁻¹) de cada fuente se utilizaron para las cepas de hongos filamentosos seleccionados y se cultivaron conjuntamente con cultivo maduro de la microalga *Chlorella sorokiniana* en placas de 12 pocillos. Como se muestra en la Figura 2.2, solo los co-cultivos de *Trichoderma harzianum* no dieron lugar a formas de agregados esféricos y densos, permaneciendo como biomasa filamentosa verde.

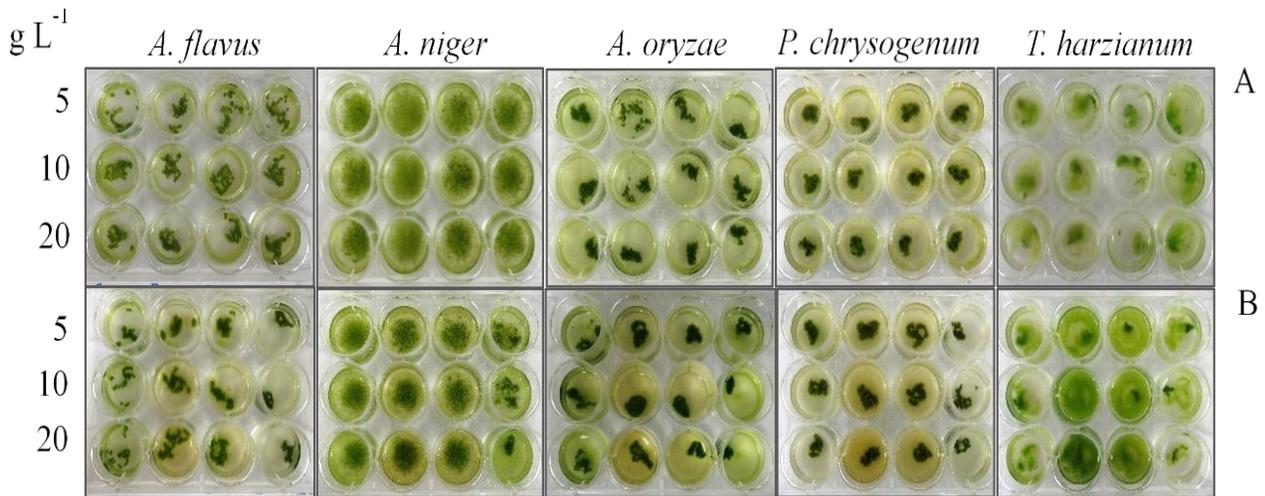
El resto de los co-cultivos formaron agregados miceliales que tenían aproximadamente 1 mm de diámetro. A las 24 h, *A. flavus*, *A. oryzae* y *P. chrysogenum* en co-cultivo con *Chlorella sorokiniana* mostraron una buena agregación de micelio verde y un sobrenadante más claro, lo que indica el atrapamiento de células de microalgas por el micelio fúngico. *A. niger* mostró un proceso de agregación más lento, pero aun así se formaron pequeñas esferas densas de biomasa.

Los flóculos formados durante las 24 h iniciales del co-cultivo, bajo las condiciones iniciales de crecimiento mixotrófico (medio de cultivo agotado BG11 suplementado, pH 5,5), mantuvieron su morfología durante todo el período de cultivo (48 h). Las cuatro fuentes de carbono probadas (glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa) en las placas de 12 pocillos demostraron ser fuentes de carbono adecuadas para *A. flavus*, *A. niger*, *A. oryzae* y *P. chrysogenum* para co-flocular con *Chlorella sorokiniana*.

Se observó que, con la glucosa como fuente de carbono, la microalga *Chlorella sorokiniana* exhibe un crecimiento mucho más rápido (crecimiento exponencial durante 36 h, llegando a la fase estacionaria después de 48 h) que con otras fuentes de carbono como la fructosa, sacarosa y maltosa (Qiao & Wang, 2009; Gomez, Höffner & Barton, 2016). Esto es un inconveniente para la germinación de las esporas de hongos debido a la competitividad entre hongos y microalga por la glucosa.

Se registró una disminución de 60 a 90% en DO_{750} en la co-floculación de las especies de hongos filamentosos, *A. flavus*, *A. niger*, *A. oryzae* y *P. chrysogenum* con la microalga *Chlorella sorokiniana* cuando se usaron nitrato de sodio y urea como fuentes de nitrógeno. En general, las otras dos fuentes de nitrógeno, el extracto de levadura y la peptona, fueron menos efectivas para disminuir la DO_{750} , tal vez porque se logra una mayor biomasa de algas cuando las fuentes de nitrógeno orgánico están presentes en el co-cultivo (Kim, Mujtaba & Lee, 2016).

Figura 2.2 Morfología de agregados de micelio / microalga a las 24 h de co-cultivo en placa de 12 pozos suplementados con diferentes concentraciones de fuentes de carbono y nitrógeno (5, 10, and 20 $g L^{-1}$). Formados a partir de inóculo de suspensión de esporas de hongo filamentosos en la relación espora/célula 1:500. (A) Para cuatro diferentes fuentes de carbono. De izquierda a derecha; glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa. (B) Para cuatro diferentes fuentes de nitrógeno. De izquierda a derecha; urea, extracto de levadura, peptona y nitrato de sodio



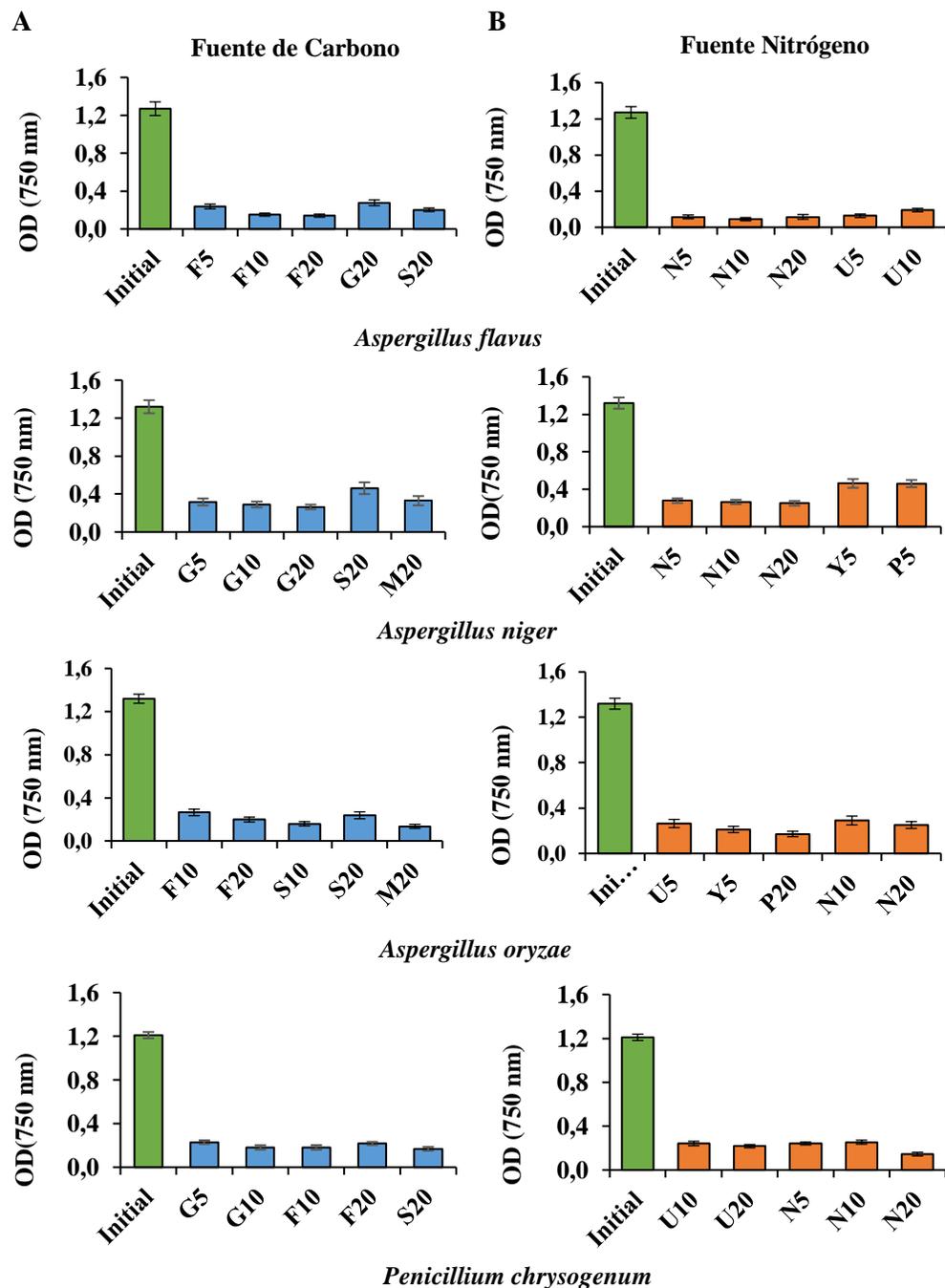
Fuente: Elaboración Propia

Las densidades ópticas a 750 nm de longitud de onda de los co-cultivos se midieron para determinar los efectos de las diferentes fuentes de carbono y nitrógeno en la agregación de microalgas al micelio fúngico (Gráfico 2.1 A y B).

Este primer análisis del efecto de las fuentes de carbono y nitrógeno sobre la capacidad del hongo para formar agregados micelio/microalga bajo fermentación sumergida mostró que una fuente de nitrógeno inorgánico es fundamental para la eficiente extracción de la microalga.

La idoneidad de las fuentes de nitrógeno inorgánico para formar micelio fúngico también se ha observado en otros trabajos al probar diferentes fuentes para encontrar los requisitos fisiológicos óptimos para el crecimiento de *P. stipticus* para su uso como bioindicador / biosensor (Prasher, Chandel & Chauhan, 2014).

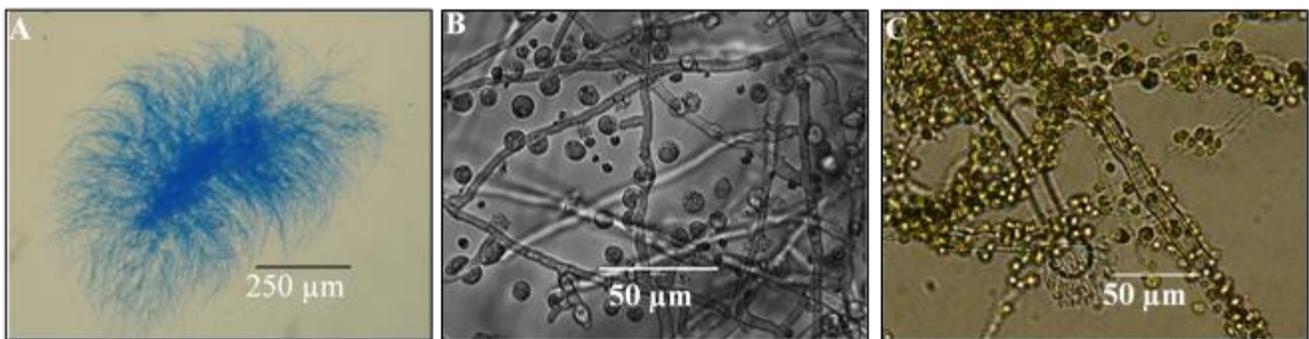
Gráfico 2.1 Efecto de Fuentes de carbono (A) y de nitrógeno (B) en la eficiencia de cosecha de la microalga *C. sorokiniana* harves en base a disminución de DO750 (750 nm) Después de 48 h de co-cultivo de la microalga con *A. flavus*, *A. niger*, *A. oryzae* y *P. chrysogenum*. El crecimiento de los co-cultivos se realizaron bajo condiciones mixotróficas en placas de 12 pozos. (A) Cuatro diferentes fuentes de carbono fueron probadas para la co-floculación micelial/algas: Las letras G, F, S, y M significan glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa, respectivamente y (B) cuatro diferentes fuentes de nitrógeno; U, Y, P y N para urea, extracto de levadura, peptona y nitrato de sodio, respectivamente. Para cada diferente suplemento de carbono y nitrógeno se usaron tres diferentes concentraciones: 5, 10 y 20 g L⁻¹ (barras: SD \pm 1, n = 2)



Fuente: Elaboración Propia

Las características morfológicas de la agregación de hongos y algas se observaron utilizando microscopios con diferentes aumentos (Figura 2.3). Las micrografías mostraron cómo un germinado primario (Figura 2.3 A) de *A. niger* comienza a formarse después de 24 h de inoculación de esporas en el cultivo de algas y un agregado micelio/microalga completo de *A. flavus* (Figura 2.3 B). La visualización adicional de los lípidos intracelulares en las células de la microalga atrapadas en un flóculo utilizando la tinción con Rojo Nilo confirmó que las células de la microalga se incrustaron en el micelio de las hifas fúngicas (Figura 3 C).

Figura 2.3 Visualización microscópica de la estructura de los agregados micelio/microalga: (A) Microscopia de luminosa de flóculo micelial primario de *A. niger* por tinción con azul de lactofenol. (B) Imagen de co-flóculo de *A. flavus/Chlorella* por microscopía de fluorescencia. Se observan las células de la microalga adheridas a las hifas miceliales del hongo. (C) Imagen de agregado micelio-microalga *A. oryzae/Chlorella* por microscopia de fluorescencia por tinción al Rojo Nilo para la observación de lípidos intracelulares (color amarillo brillante).



Fuente: Elaboración Propia

3.4 Análisis de potencial zeta

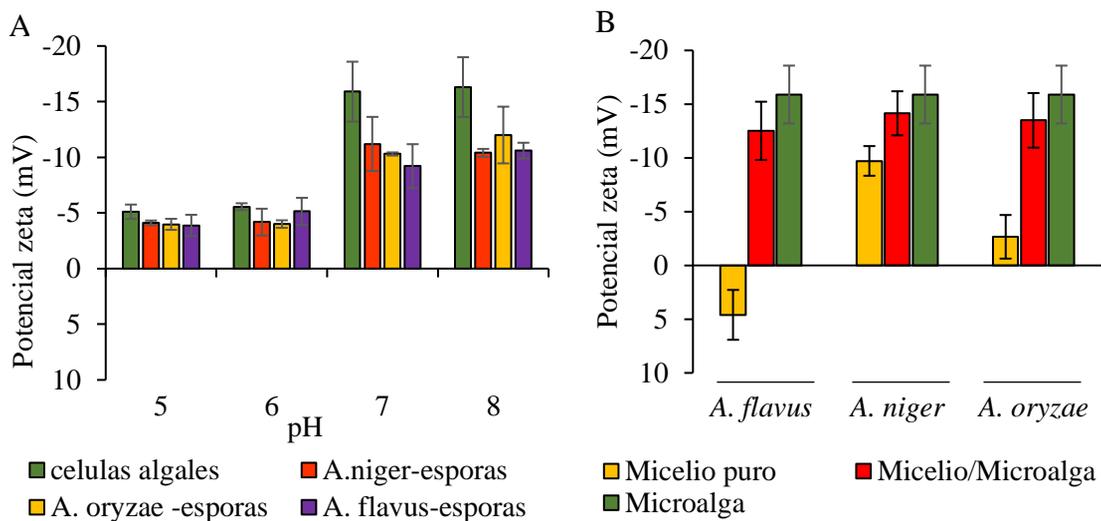
La co-floculación hongo / microalga es un proceso en el cual las hifas de los hongos sirven como floculante en la separación de las células de la microalga en el cultivo. La atracción entre el micelio aglomerado de los hongos y las células de la microalga se puede explicar a través del potencial zeta en cada superficie celular (Gultom & Hu, 2013). Sobre la base de la teoría DVLO (Derjaguin, Landau, Verwey y Overbeek), la interacción entre las partículas cargadas coloidales se describe mediante la repulsión electrostática y las fuerzas de Van der Waals (Gregory, 2005).

Se dice que esta repulsión entre partículas es fuerte cuando los valores de potencial zeta son más de ± 25 mV, y en contraste, cuando el potencial zeta es cercano a cero, las partículas se atraen entre sí debido a las fuerzas de Van der Waals. En términos de carga superficial, se informó que los potenciales zeta y las eficiencias de floculación dependían del pH [9]. El efecto del pH sobre la carga superficial de las células de la microalga *C. sorokiniana* y las esporas de hongos filamentosos a diferentes pH, de 5 a 8 se muestra en la Gráfico 2.2-A.

El potencial zeta de las células de microalgas y las esporas fúngicas fue negativo en todos los análisis de pH. Estaba claro que la carga superficial de las células de microalgas era más negativa (hasta -16.3 mV) que las esporas fúngicas (hasta -11.3 para *A. niger*) a un pH más alto. Estos resultados confirman otros estudios que informaron una carga superficial más negativa a un pH alto (Zamalloa, Gultom, Rajendran & Hu, 2017).

Para analizar si los agregados miceliales de *A. flavus*, *A. niger* y *A. oryzae* tienen efecto sobre la captura de células de *Chlorella sorokiniana*, se midieron los potenciales zeta de estos agregados en cultivos puros de hongos filamentosos y en co-cultivos hongo /microalga en medio BG-11 gastado. Los agregados de micelio / microalga mostraron valores de potencial zeta negativos más bajos (-12.5 a -14.1 mV) que el valor observado en las células de la microalga, tal vez debido a la reducción de la carga superficial negativa por la carga superficial menos negativa e incluso positiva (*A. flavus*) del micelio fúngico (Gráfico 2.2-B), promoviendo la co-floculación entre células de microalgas y micelio fúngico.

Gráfico 2.2 (A) Potenciales zeta: Células de Microalga *Chlorella sorokiniana* y esporas de *A. flavus*, *A. niger* y *A. oryzae* a diferentes pH. (B) Potenciales zeta de agregados miceliales puros, micelio/alga y células algales para su comparación a pH 5.5 ± 0.5 (barras: SD ± 1 , $n = 100$).



Fuente: Elaboración Propia

3.5 Escalamiento de la co-floculación algal-fúngica

Sobre la base de los resultados preliminares (efecto de las fuentes de carbono y nitrógeno en la formación de co-flóculos micelio/microalga) se llevaron a cabo experimentos adicionales a escala en frascos de 500 ml de capacidad con la variable de fuente de carbono (glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa) y se mantuvo constante la fuente de nitrógeno (nitrato de sodio, 10 g L^{-1}), complementado con KH_2PO_4 , (1 g L^{-1}), cloruro de sodio (5 g L^{-1}), pH inicial ($\approx 5,5$) y temperatura de co-floculación de $29 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, utilizando las cepas de *A. flavus*, *A. oryzae* y *A. niger* por separado. Se diseñaron dos series de experimentos en condiciones de crecimiento mixotrófico (12 h / 12 h, período oscuro y claro). Una serie de experimentos se realizó con agitación a 120 rpm, y en la otra serie de experimentos se aplicó burbujeo de aire (350 ml min^{-1} por matraz) a los co-cultivos como medio de agitación. Ambos conjuntos de experimentos se repitieron agregando 1.5 g de paja de trigo L^{-1} estéril (malla 40). Cada experimento se realizó por duplicado por duplicado.

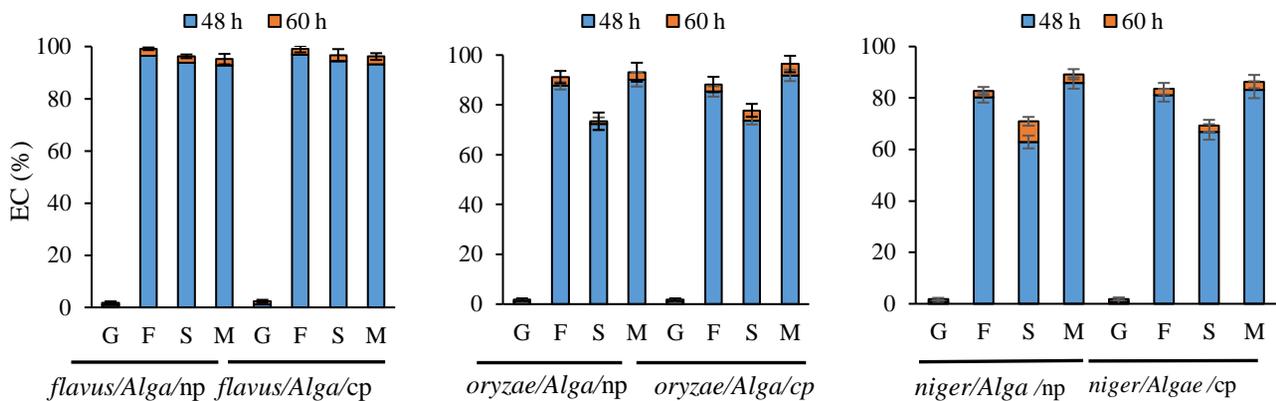
Del efecto de las fuentes de carbono, se observó crecimiento de hongos en todas las condiciones, excepto en los cultivos de glucosa, donde se observó un importante crecimiento de la microalga y un nulo crecimiento micelial. Se corrieron paralelamente a las experimentaciones de co-floculación, cultivos de control de la microalga sola con las cuatro fuentes de carbono diferentes. La comparación de la tasa de crecimiento específica (μ) entre estos controles mostró un valor más alto para el control del cultivo de glucosa sobre los otros azúcares en condiciones de crecimiento mixotrófico (0.1609 , 1.0464 , 0.2397 , 0.1737 y 0.1610 d^{-1} para el control de blanco, glucosa, fructosa, sacarosa y de maltosa respectivamente). Tal comportamiento podría explicarse por una alta competitividad algal para la glucosa con cepas de hongos (Liu, et al., 2010).

3.6 Co-floculación en matraces con agitación rotatoria.

Para los experimentos escalados de co-floculación, se utilizó la relación esporas / células de 1: 500 para las cepas de hongos filamentosos *A. flavus*, *A. oryzae*, *A. niger* y la microalga *C. sorokiniana*. Los co-cultivos del medio se suplementaron con NaNO_3 (10 g L^{-1}), KH_2PO_4 (1 g L^{-1}) y como fuente de carbono (5 g L^{-1}), se incubaron a $29 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, agitando a 120 rpm. *A. flavus* mostró hasta un 96% de co-floculación después de 48 h de co-cultivo cuando se utilizó fructosa como fuente de carbono sin diferencias obvias en la eficiencia de floculación entre cultivos con y sin paja de trigo. *A. oryzae* y *A. niger* presentaron su mayor eficiencia de cosecha en 90% y 85% respectivamente con maltosa como fuente de carbono. Las concentraciones de células microalgales capturadas aumentaron ligeramente después de las 48 h a las 60 h de co-pelletización.

La Figura 2.6 muestra los resultados de la eficiencia de la co-peletización para las cepas de hongos elegidas. Después de las 60 h de co-floculación la densidad óptica del sobrenadante a 750 nm, aumentó ligeramente (disminución de la eficiencia de recolección), lo que puede explicarse por la liberación de células de algas de los flóculos y / o por el crecimiento de células de algas no capturadas en los medios (Gultom & Hu, 2013; Zhang & Zhang, 2016; Ummalyma, et al, 2017).

Gráfico 2.3 Eficiencia de cosecha de la microalga *C. sorokiniana* por co-floculación con *A. flavus*, *A. oryzae* y *A. niger* en base a la reducción de la OD750 después de 48 h y 60 h de co-cultivo, np cultivo sin paja y cp cultivo con paja (barras: SD \pm 1, n= 2)



Fuente: Elaboración Propia

La razón de la ausencia de flóculos de micelio en los cultivos con glucosa podría explicarse por la tendencia de estos cultivos a tener un pH alcalino (8-9). Los medios de pH básicos parecen inhibir la agregación de esporas de hongos. Por lo tanto, la agregación de esporas fue más baja a un pH alto que a un pH bajo (Zhou, et al., 2013; Zhang & Zhang, 2016; Nair, Lennartsson & Taherzadeh, 2016). La Tabla 2.2 muestra los valores promedio de pH y la morfología de los co-flóculos de todos los cultivos en condiciones de crecimiento mixotrófico mediante incubación con agitación rotatoria a temperatura constante. El pH del co-cultivo inicial se ajustó a 5.5 antes de la inoculación de las esporas de hongos, considerando trabajos previos para inducir la agregación micelial de hongos más rápida, y se midió cada 12 h (Zhou, et al., 2013; Nair, Lennartsson & Taherzadeh, 2016).

Tabla 2.2 Perfiles de pH y forma de los agregados de microalga/micelio en la co-floculación bajo condiciones mixotróficas de crecimiento

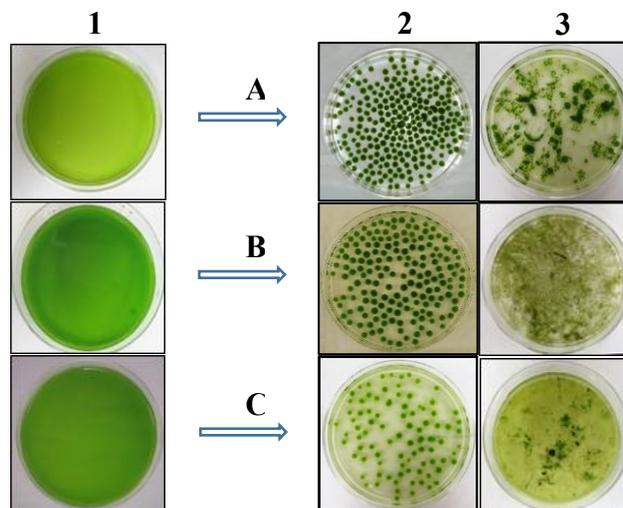
Co-cultivo Alga/hongo	Aspergillus flavus			Aspergillus oryzae			Aspergillus niger		
	AFF	Agregado Forma	pH	AFF	Agregado Forma	pH	AFF	Agregado Forma	pH
Control	x	NF	6.9	x	NF	7.1	x	NF	7.0
G/np	x	filamentos	8.7	x	filamentos	8.8	x	filamentos	8.5
F/np	o	esféricos	6.1	o	esféricos	6.0	o	esféricos	5.3
S/np	o	esféricos	5.9	o	esféricos	6.0	o	esféricos	5.5
M/cp	o	esféricos	5.8	o	esféricos	5.9	o	esféricos	5.5
G/cp	x	filamentos	7.9	x	filamentos	8.2	x	filamentos	8.4
F/cp	o	flóculo amorfo	6.3	o	flóculo amorfo	5.9	o	flóculo amorfo	6.0
S/cp	o	flóculo amorfo	5.9	o	flóculo amorfo	5.7	o	flóculo amorfo	5.5
M/cp	o	flóculo amorfo	5.8	o	flóculo amorfo	5.9	o	flóculo amorfo	5.6

NF; Flóculo no presente; AFF; Habilidad de formación de flóculo (“x” no-formadora de agregados; “o” formadora de agregados, Control; Co-cultivos microalga/hongo de control sin suplemento de azúcares en el medio de cultivo. G, F, S, M, cp y np; co-cultivos suplementados con glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa, con paja de trigo y sin paja de trigo, respectivamente.

Fuente: Elaboración Propia

Se observó que, en algunos cultivos a los que se añadió glucosa como fuente de carbono, el medio de pH aumentaba hasta valores alcalinos. A estas condiciones de co-cultivo de pH alcalino, no se formaron flóculos o la formación fue de flóculos esponjosos muy pequeños. La presencia de paja de trigo en los co-cultivos de alga / hongos como fuente alternativa de carbono para la formación de agregados miceliales, no se observó diferencia en la eficiencia de la recolección de la alga, solamente en la morfología de los co-flóculos (Figura 4).

Figura 4 Co-floculación microalga/micelio fúngico en condiciones de crecimiento mixotrófico a $29 \pm 1^\circ\text{C}$, 120 rpm de agitación con 60 h de incubación. (A) *A. flavus*; (B) *A. oryzae*; (C) *A. niger*. Co-cultivos Alga/Hongo de 1 - 3; Co-Cultivo Control sin fuente de carbono, co-cultivo usando fuente de carbono orgánico y co-cultivo usando fuente de carbono orgánico con suplemento de paja de trigo.



Fuente: Elaboración Propia

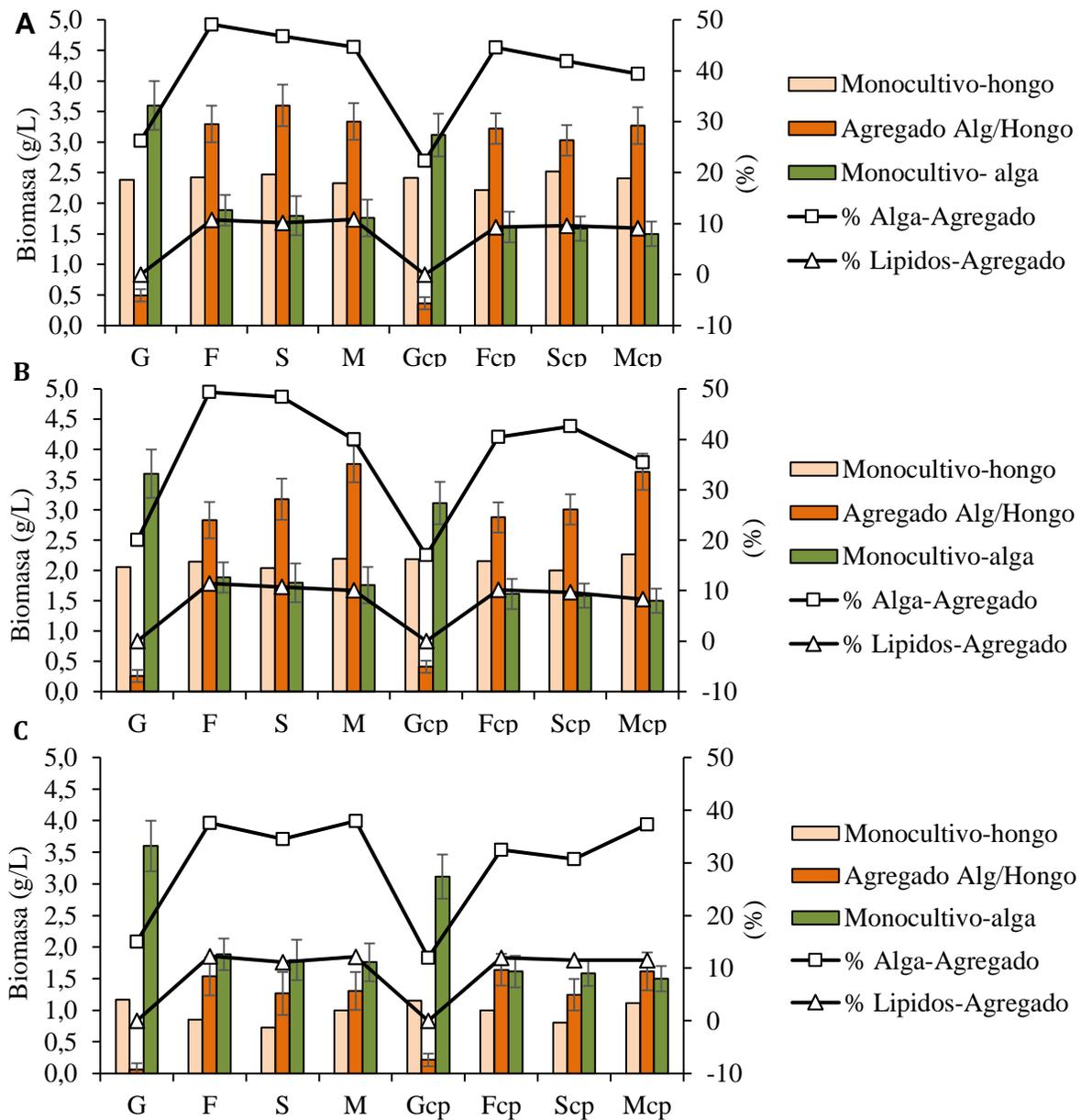
Se produjeron flóculos amorfos sueltos en los co-cultivos suplementados con paja de trigo, tal vez debido a una mayor producción de metabolitos y / o menores tasas de transferencia de oxígeno, que producen agregados esponjosos (Ferreira, Mahboubi, Lennartsson & Taherzadeh, 2016). La elección de la fuente de carbono, excepto la glucosa, no mostró una influencia significativa en la eficiencia de la recolección de las células de microalgas para los co-cultivos de *A. flavus*. Para los co-cultivos de *A. oryzae* y *A. niger* en crecimiento mixotrófico con agitación rotatoria, los cultivos de maltosa mostraron eficiencias de cosecha de la microalga ligeramente mayores en comparación con las eficiencias de cosecha donde se usaron la fructosa y la sacarosa cuando el pH del cultivo se mantuvo en 5.5 - 6.0.

3.7 Producción de biomasa y composición de agregados micelio/microalga

Los cultivos mixotróficos combinan características de cultivos autótrofos y heterótrofos. El co-cultivo en las condiciones mixotróficas donde las células de microalgas tienen acceso tanto a carbono ligero como orgánico puede ser un proceso muy complicado. *Chlorella sorokiniana* puede crecer tanto en luz como en carbono orgánico a diferencia de algunas especies de microalgas, que solo pueden crecer de forma heterótrofa si se proporciona azúcar (Li, et al., 2014; Perez, Escalante, de-Bashan & Bashan, 2011). En condiciones mixotróficas, los hongos formarán una relación simbiótica con células de microalgas autótrofas mientras compiten por nutrientes con células de microalgas heterótrofas (Gultom, Zamalloa & Hu, 2014). La biomasa fúngica en estos co-cultivos mixotróficos depende mucho más de la cepa fúngica y de la fuente de carbono en el co-cultivo en comparación con los cultivos puros de hongos, donde la producción de biomasa fue muy consistente para los cuatro azúcares usados (Gráfico 2.4). El contenido de biomasa de la microalga atrapada en los flóculos miceliales fue de aproximadamente 40-50% p / p (base en peso seco) para *A. flavus* y *A. oryzae*, mientras que para *A. niger* fue menor (30-40% p / p). Aquellos co-cultivos en los que la glucosa era la fuente de carbono se observó que *C. sorokiniana* tuvo una mayor producción de biomasa y una biomasa de co-floculación insignificante, principalmente debido a la competitividad de la microalga por la glucosa como fuente de carbono. De los cultivos de hongos puros, todas las cepas de hongos mostraron una producción consistente de biomasa para las cuatro diferentes fuentes de carbono utilizadas en este estudio.

También en el Gráfico 2.4, el contenido de lípidos en los flóculos formados es aproximadamente la mitad ($\approx 12\%$) del contenido normal de lípidos en los cultivos puros de microalgas, lo cual es consistente con el contenido de células algales en el agregado micelial, N. Muradov et al., 2015 informaron resultados similares.

Gráfico 2.4 Comparación de la producción de biomasa (g L^{-1}) en co-cultivos alga/micelio y monocultivos puros de microalga u hongo después de 60 h. Composición de biomasa algal en co-flóculos y contenido de lípidos (% p/p). A) *A. flavus*, B) *A. oryzae*, and C) *A. niger* para diferentes azúcares sin y con paja (Glucosa, Fructosa, Sacarosa, Maltosa; cp significa con paja; barras: $\text{SD} \pm 1$, $n = 2$).

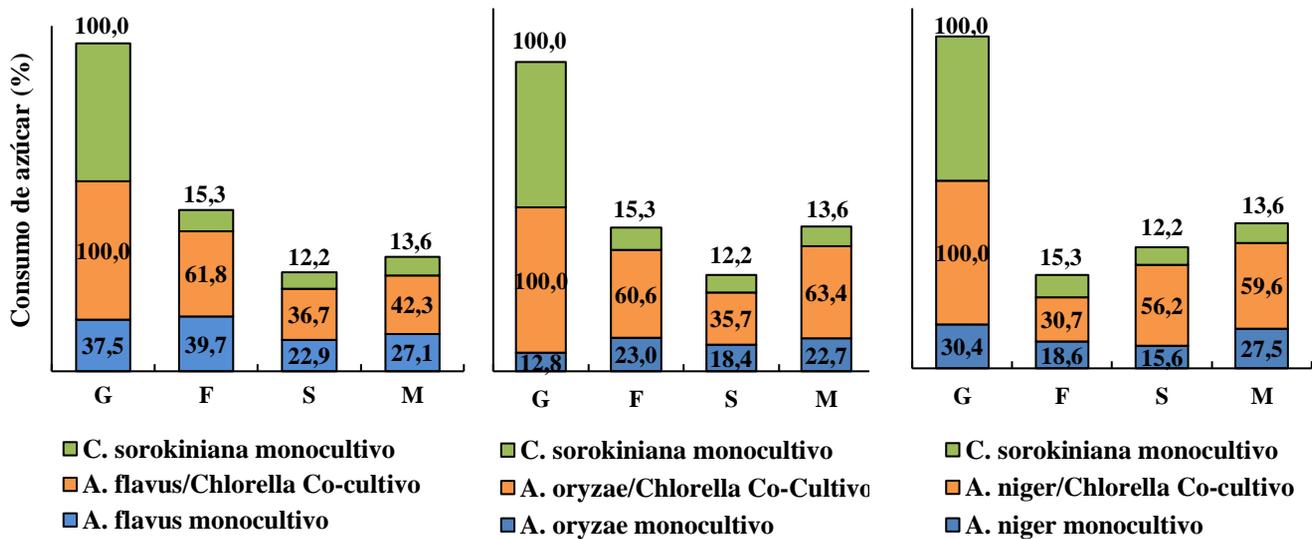


3.8 Consumo de azúcares

Se encontró que la formación completa de los agregados micelio/microalga en condiciones de agitación mixotrófica era a las 48 h, pH 5.0-5.5. El porcentaje de consumo de azúcares de los co-cultivos fue diferente según el tipo de azúcar y de la especie fúngica. Los cultivos puros de la microalga *C. sorokiniana* mostraron un mayor consumo de glucosa comparado con las otras 3 fuentes de carbono (fructosa, sacarosa y maltosa), esto también explica la mayor producción de biomasa de algas cuando se agregó glucosa como única fuente de carbono bajo condiciones de agitación mixotrófica. Similares resultados se observaron en el perfil de consumo de glucosa de los co-cultivos de algas / hongos (Gráfico 2.5), lo que indica una competencia por la glucosa entre las esporas de hongos y las células de la microalga, agotando toda la glucosa (5 gL^{-1}) en menos de 48 h.

El resto de los azúcares estaban presentes en un porcentaje mayor después de 24 h, por lo que las esporas de hongos germinados tenían suficiente suministro de carbono para la producción de micelio y la formación de agregado micelial. A partir de cultivos de hongos puros que crecieron en las mismas condiciones, se mostró un porcentaje diferente de consumo de azúcar en un rango de 12.8 a 37.5% después de un cultivo de 48 h. *A. flavus* y *A. oryzae* presentaron un mayor porcentaje de consumo de azúcar en fructosa (39.7 y 23%, respectivamente), mientras que *A. niger* mostró una mayor preferencia por la glucosa (30.4%). Todas las cepas fúngicas mostraron un porcentaje relativamente alto de consumo de azúcar en comparación con la maltosa (22,7 - 27,5%).

Gráfico 2.5 Porcentaje de consumo de azúcares con respecto a la concentración inicial (5 gL^{-1}) de monocultivos y co-cultivos hongo / microalga después de 48 h en condiciones de crecimiento mixotrófico con agitación rotatoria



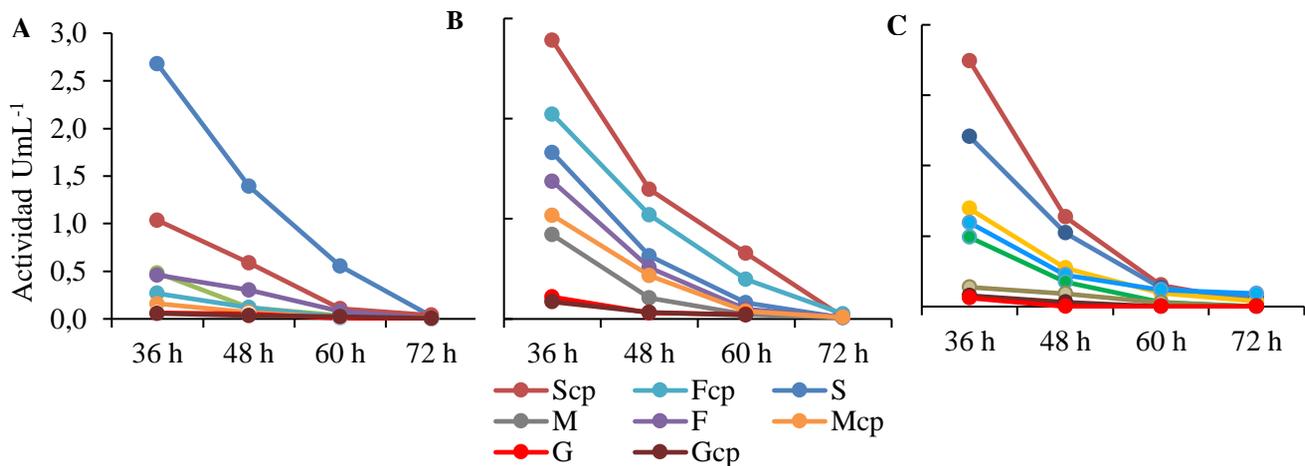
Fuente: Elaboración Propia

3.9 Análisis de la actividad enzimática de la lipasa extracelular en co-cultivos de hongo / microalga

La degradación enzimática de la pared celular se ha investigado como un método importante de ruptura de células algales en la extracción y recuperación de componentes intracelulares como los lípidos, debido a la selectividad de degradación de las enzimas. Entre las enzimas utilizadas en la degradación de las paredes celulares de microalgas, se encuentran las celulasas y las lipasas (Sander, & Murthy, 2009). La presencia de estos sistemas enzimáticos en la recolección de algas puede aumentar la susceptibilidad de la celulosa algal a la hidrólisis enzimática y al tratamiento previo de la biomasa a partir de las microalgas para una mayor extracción de lípidos. Muchos investigadores confirmaron que algunas cepas de hongos filamentosos pueden producir diferentes enzimas de degradación durante su crecimiento celular y la enzima se excreta en el medio de cultivo para degradar el polisacárido para apoyar el crecimiento celular (Colla, et al., 2015; Mellon, et al., 2007; Treichel, et al., 2010). En nuestro estudio, suspensión de esporas de las especies *A. flavus*, *A. niger* y *A. oryzae* cultivados en co-cultivos con *C. sorokiniana* en crecimiento mixotrófico condujeron a la producción de agregados o flóculos de hongos / microalga que mostraron rendimientos altos de captura de microalgas en 48 h. La actividad de celulasa extracelular en el sobrenadante de cultivos de co-floculación se detectó para la mayoría de los cultivos. La actividad de la celulasa fue mayor en la etapa de agregación temprana (dentro de las 36 h), tal vez debido a la degradación fúngica de la fracción de la pared celular de la celulosa, y / o la descomposición de material algal y su uso como fuente de carbono y energía (Fraga, et al., 2008).

La aplicación de paja de trigo en la floculación algal asistida por hongos mostró un aumento inducido en las actividades de celulasa, lo que podría ser un factor positivo para reducir la formación de compuestos químicos anti-algales (Wrede, et al., 2014). El Gráfico 2.6 muestra los perfiles de actividad enzimática de celulasa de co-cultivos de algas / hongos para diferentes fuentes de carbono. En general, los co-cultivos suplementados con paja de trigo presentaron mayor actividad de celulasa que los que no lo tenían. Entre las fuentes de carbono utilizadas, la sacarosa parece inducir una mayor producción de celulasa, mientras que la glucosa mostró poca o ninguna producción, principalmente porque no se produjeron agregados miceliales en los co-cultivos.

Gráfico 2.6 Perfil de actividades enzimáticas de celulasa extracelular a partir de co-cultivos hongo/microalga; (A) *A. flavus/Chlorella*, (B) *A. niger/Chlorella*, y (C) *A. oryzae/Chlorella*. F, G, M, S, y cp. significan fructosa, glucosa, maltosa, sacarosa y con paja de trigo, respectivamente. Los valores son promedios de tres mediciones independientes con una $P < 0.05$ de significancia



Fuente: Elaboración Propia

3.10 Producción de lípidos en pellets de hongos / microalgas y análisis de perfil de ácidos grasos

Los agregados fúngicos de monocultivo con diferentes fuentes de carbono en condiciones de crecimiento mixotrófico mostraron un rango de contenido de lípidos de 2.1 - 3.8% en peso seco con un rango de rendimiento de lípidos de 18 - 83 mg L⁻¹ después de 60 h de fermentación sumergida en medio gastado BG11 (Tabla 2.3).

Aunque, el rango de contenido de lípidos de los monocultivos de hongos es bastante estrecho, su rango de rendimiento de lípidos es todo lo contrario. Esto se debe a su alto contenido de contenido de biomasa (Figura 8). *A. flavus* y *A. oryzae* mostraron valores de biomasa en base seca más altos y, por lo tanto, valores de rendimiento de lípidos más altos en comparación con monocultivos de *A. niger*.

La cepa *C. sorokiniana* como monocultivo mostró una concentración de lípidos promedio de 15% bajo crecimiento autótrofo, y hasta un contenido de lípidos de 19% cuando se cambia a crecimiento mixotrófico por la adición de una fuente de carbono orgánico en período 12 h /12 h de luz y oscuridad. El contenido de lípidos de los agregados de biomasa hongo/microalga mostró perfiles complejos que dependen de: 1) producción de biomasa, 2) contenido de lípidos en monocultivos y co-cultivos de hongos y algas, y 3) las eficiencias de cosecha de las células de la microalga por los agregados miceliales.

Después de 60 h de co-cultivo de cepas de los hongos seleccionadas con la microalga, la concentración de lípidos en los co-flóculos mostró ser más baja que en los monocultivos algales, pero más alta que los valores de concentración de lípidos en monocultivos de hongos.

Se encontró que los rendimientos totales de lípidos (mg L⁻¹) en la mayoría de los agregados de hongos / algas de *C. sorokiniana* con *A. flavus* y *A. oryzae* son similares a la suma de los contenidos de lípidos en los monocultivos de la microalga y de los hongos separados. Los rendimientos de lípidos (mg L⁻¹) después de co-cultivar *Chlorella* con *A. niger*, fueron los más bajos de todos los co-cultivos (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Producción y rendimiento de lípidos en monocultivos de *Chlorella sorokiniana*, hongos filamentosos seleccionados y en agregados microalga/micelio de co-cultivos de *C. sorokiniana* y hongos

Fuente de carbono	Monocultivos, 60 h fermentación								Fungi/Microalgae co-cultures, 60 h fermentation							
	<i>A. flavus</i>		<i>A. niger</i>		<i>A. oryzae</i>		<i>C. sorokiniana</i>		<i>A. flavus</i>		<i>A. niger</i>		<i>A. oryzae</i>			
	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)		
G	3.10 ± 0.2	73.8 ± 3.0	3.60 ± 0.2	42.0 ± 1.4	3.70 ± 0.3	76.2 ± 3.1	19.12 ± 1.0	688.1 ± 25	-	-	-	-	-	-		
F	2.06 ± 0.1	49.9 ± 1.5	2.42 ± 0.2	20.5 ± 0.6	3.06 ± 0.2	65.5 ± 2.2	19.03 ± 1.0	359.4 ± 15	10.71 ± 0.5	353.0 ± 15	12.30 ± 0.5	188.8 ± 5	11.44 ± 0.4	323.9 ± 13		
S	2.45 ± 0.2	60.6 ± 2.0	2.51 ± 0.1	18.1 ± 0.5	2.55 ± 0.1	52.1 ± 1.5	18.64 ± 1.0	334.9 ± 10	10.17 ± 0.4	366.2 ± 18	11.12 ± 0.3	140.7 ± 4	10.71 ± 0.3	340.3 ± 15		
M	2.47 ± 0.3	57.5 ± 1.5	2.39 ± 0.2	23.8 ± 0.7	3.81 ± 0.2	83.7 ± 3.0	18.21 ± 1.0	320.3 ± 12	10.82 ± 0.6	361.2 ± 15	12.18 ± 0.4	158.9 ± 4	10.08 ± 0.3	378.6 ± 17		
Gcp	2.75 ± 0.2	66.4 ± 2.0	2.55 ± 0.2	29.4 ± 1.0	3.75 ± 0.3	82.1 ± 3.6	17.30 ± 1.0	538.8 ± 22	-	-	-	-	-	-		
Fcp	2.10 ± 0.1	46.5 ± 1.5	2.10 ± 0.1	20.8 ± 0.6	3.12 ± 0.2	67.1 ± 2.5	16.71 ± 1.0	269.3 ± 10	9.33 ± 0.4	300.5 ± 13	12.03 ± 0.4	197.5 ± 6	10.19 ± 0.4	293.1 ± 10		
Scp	2.25 ± 0.1	56.6 ± 1.5	2.33 ± 0.1	18.7 ± 0.5	2.77 ± 0.1	55.5 ± 2.0	15.43 ± 1.0	244.5 ± 9	9.59 ± 0.5	290.6 ± 10	11.53 ± 0.3	143.6 ± 3	9.65 ± 0.5	290.3 ± 11		
Mcp	2.48 ± 0.3	59.6 ± 2.0	2.41 ± 0.2	26.9 ± 0.8	3.61 ± 0.3	81.9 ± 3.2	16.70 ± 1.0	250.5 ± 11	9.09 ± 0.3	297.3 ± 12	11.48 ± 0.4	185.4 ± 5	8.26 ± 0.3	299.9 ± 12		
CO ₂	-	-	-	-	-	-	*14.93 ± 1.0	*284.7 ± 13	-	-	-	-	-	-		

Fuente de carbono	Monocultivos, 60 h fermentación								Co-cultivo hongo/ <i>Chlorella</i> , 60 h fermentación							
	<i>A. flavus</i>		<i>A. niger</i>		<i>A. oryzae</i>		<i>C. sorokiniana</i>		<i>A. flavus</i>		<i>A. niger</i>		<i>A. oryzae</i>			
	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)	Lípidos (%)	Rendimiento (mg/L)		
G	3.10 ± 0.2	73.8 ± 3.0	3.60 ± 0.2	42.0 ± 1.4	3.70 ± 0.3	76.2 ± 3.1	19.12 ± 1.0	688.1 ± 25	-	-	-	-	-	-		
F	2.06 ± 0.1	49.9 ± 1.5	2.42 ± 0.2	20.5 ± 0.6	3.06 ± 0.2	65.5 ± 2.2	19.03 ± 1.0	359.4 ± 15	10.71 ± 0.5	353.0 ± 15	12.30 ± 0.5	188.8 ± 5	11.44 ± 0.4	323.9 ± 13		
S	2.45 ± 0.2	60.6 ± 2.0	2.51 ± 0.1	18.1 ± 0.5	2.55 ± 0.1	52.1 ± 1.5	18.64 ± 1.0	334.9 ± 10	10.17 ± 0.4	366.2 ± 18	11.12 ± 0.3	140.7 ± 4	10.71 ± 0.3	340.3 ± 15		
M	2.47 ± 0.3	57.5 ± 1.5	2.39 ± 0.2	23.8 ± 0.7	3.81 ± 0.2	83.7 ± 3.0	18.21 ± 1.0	320.3 ± 12	10.82 ± 0.6	361.2 ± 15	12.18 ± 0.4	158.9 ± 4	10.08 ± 0.3	378.6 ± 17		
Gcp	2.75 ± 0.2	66.4 ± 2.0	2.55 ± 0.2	29.4 ± 1.0	3.75 ± 0.3	82.1 ± 3.6	17.30 ± 1.0	538.8 ± 22	-	-	-	-	-	-		
Fcp	2.10 ± 0.1	46.5 ± 1.5	2.10 ± 0.1	20.8 ± 0.6	3.12 ± 0.2	67.1 ± 2.5	16.71 ± 1.0	269.3 ± 10	9.33 ± 0.4	300.5 ± 13	12.03 ± 0.4	197.5 ± 6	10.19 ± 0.4	293.1 ± 10		
Scp	2.25 ± 0.1	56.6 ± 1.5	2.33 ± 0.1	18.7 ± 0.5	2.77 ± 0.1	55.5 ± 2.0	15.43 ± 1.0	244.5 ± 9	9.59 ± 0.5	290.6 ± 10	11.53 ± 0.3	143.6 ± 3	9.65 ± 0.5	290.3 ± 11		
Mcp	2.48 ± 0.3	59.6 ± 2.0	2.41 ± 0.2	26.9 ± 0.8	3.61 ± 0.3	81.9 ± 3.2	16.70 ± 1.0	250.5 ± 11	9.09 ± 0.3	297.3 ± 12	11.48 ± 0.4	185.4 ± 5	8.26 ± 0.3	299.9 ± 12		
CO ₂	-	-	-	-	-	-	*14.93 ± 1.0	*284.7 ± 13	-	-	-	-	-	-		

**C. sorokiniana* en crecimiento autótrofo

Fuente: Elaboración Propia

La composición de los ácidos grasos medidos como metil ésteres de ácidos grasos (FAMES) en los lípidos extraídos de monocultivos de biomasa seca y co-cultivos de agregados microalga / hongo secos se muestra en la Tabla 2.4. Los ácidos grasos de lípidos fúngicos se representaron principalmente por ácido palmítico (C16: 0), ácido esteárico (C18: 0), ácido oleico (C18: 1), ácido linoleico (C18: 2), que concuerdan con otros estudios (Fraga, et al., 2008; Suutari, 1995; Nemeč, Jernejc & Cimerman, 1997).

Los lípidos de microalgas puros mostraron diferentes perfiles de ácidos grasos que los monocultivos de hongos. La composición de ácidos grasos de los lípidos de los agregados microalga / hongo se reporta por la mezcla de los ácidos grasos presentes tanto en hongos como en la microalga *Chlorella*. En todos los casos, tanto *Chlorella sorokiniana* como las cepas de hongos contribuyeron a la concentración de ácido linoleico (C18: 2). *A. oryzae* fue un contribuyente principal del ácido linoleico (C18: 2) junto con la microalga *C. sorokiniana* bajo crecimiento mixotrófico.

Table 2.4 Perfil de ácidos grasos de *Chlorella sorokiniana*, *A. flavus*, *A. niger*, and *A. oryzae*. Los lípidos se extrajeron de biomasa separada de monocultivos y co-cultivos

Especie	Crecimiento	Tiempo (h)	Composición relativa de ácidos grasos (%) en peso						
			16:0	16:1	16:2	18:0	18:1	18:2	18:3
<i>Chlorella sorokiniana</i>	Fotoautotrófico	240	22.10	5.77	4.51	3.25	4.62	27.51	32.24
	Mixotrófico		25.81	2.46	5.47	2.71	14.76	32.25	16.54
<i>Aspergillus flavus</i>	Mixotrófico-Monocultivo	120	16.80	0.80	0.00	10.66	15.29	52.05	4.40
	Mixotrófico-Co-cultivo		28.19	1.59	1.38	3.56	12.49	37.96	14.83
<i>Aspergillus niger</i>	Mixotrófico-Monocultivo	120	18.59	0.91	0.00	13.27	21.16	41.51	4.56
	Mixotrófico-Co-cultivo		26.07	2.14	4.12	2.56	14.20	34.19	16.72
<i>Aspergillus oryzae</i>	Mixotrófico-Monocultivo	120	17.41	0.91	0.00	4.90	12.80	56.67	7.31
	Mixotrófico-Co-cultivo		25.49	1.55	4.09	1.63	13.01	37.70	16.53

C16:0 palmítico; C16:1 palmitoleico; C16:2 7,10-hexadecadienoico; C18:0 esteárico; C18:1 oleico; C18:2 linoleico; C18:3 linolénico.

Fuente: Elaboración Propia

3.11 Co-floculación agitada con aire contra co-floculación con agitación rotatoria

Para explorar más a fondo el potencial de aplicación de la co-floculación, se probó la co-floculación de hongos / algas utilizando burbujas de aire como proveedor de oxígeno y agitador del co-cultivo. Para encontrar la técnica de inoculación de hongos más adecuada, se investigaron dos alternativas:

- Inoculación directa de las esporas fúngicas a los frascos con cultivo algal maduro
- Inoculación con pre-cultivo fúngico de esporas germinadas a los frascos con cultivo algal maduro

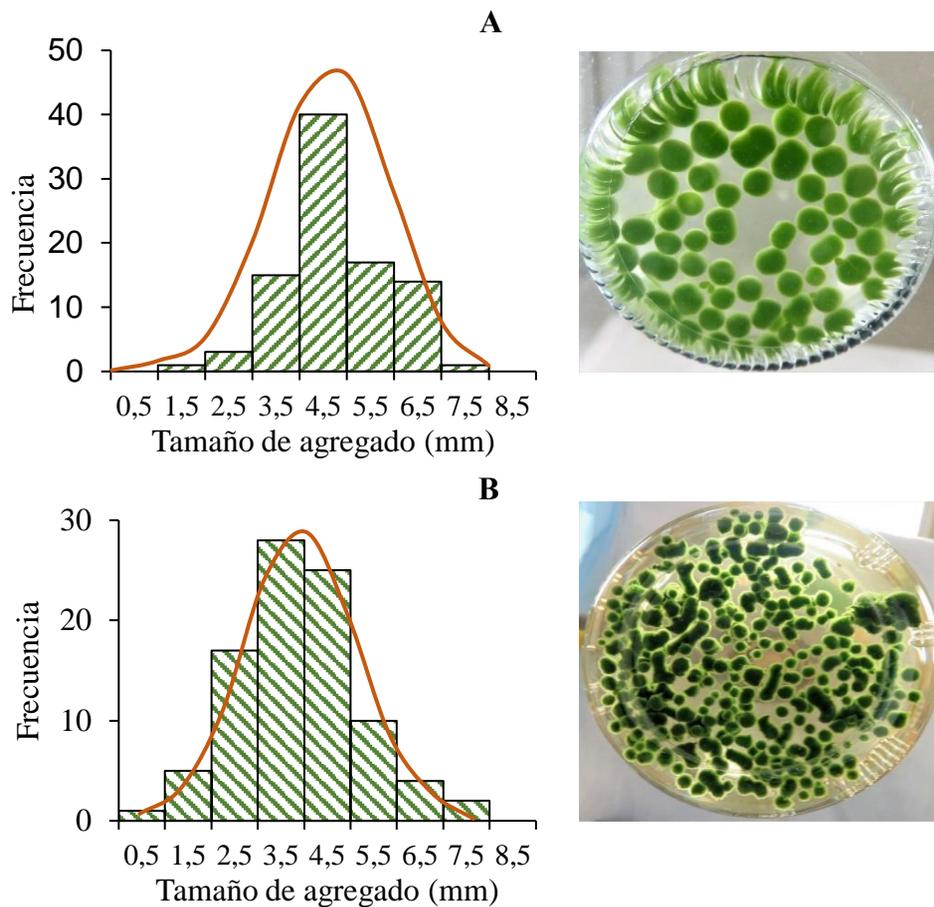
Ambas alternativas, se probaron con las tres cepas de hongos seleccionados (*A. flavus*, *A. niger* y *A. oryzae*) y las mismas condiciones que en el cultivo mixotrófico. La inoculación con esporas directas en los matraces de cultivo fracasó debido a la fuerte tendencia de las esporas a flotar en la superficie del caldo. Creemos que esta tendencia fue incrementada por la formación de espuma y la baja intensidad de agitación por el burbujeo de aire en los co-cultivos, lo que hace que los resultados de un experimento como este no tengan sentido.

La inoculación de cultivos de la microalga con pre-cultivo de esporas mixotróficas que consisten en esporas de hongos germinados en matraces con agitación rotatoria y otro co-cultivo de burbujeo de aire, resultó para los tres co-cultivos de hongos y de *Chlorella* en la formación de flóculos esféricos verdes suspendidos por la aireación. El burbujeo de aire se ajustó a una velocidad de aireación de 2.5 vvm (volumen_{aire} / volumen_{medio} / min.).

La temperatura y el pH se mantuvieron a 29 ± 1.0 °C y 5.5 ± 0.05 , respectivamente, durante el co-cultivo (72 h) y las muestras se colectaron cada 12 h. En comparación con los co-cultivos con agitación rotatoria, no se observaron diferencias significativas en función de la eficiencia de cosecha ni en la biomasa de los agregados microalga / micelio finales.

Los diámetros promedio de los agregados microalga / micelio en los co-cultivos con agitación rotatoria y con burbujeo de aire fueron de 5.19 ± 1.27 mm y 4.38 ± 1.35 mm, respectivamente (Figura 2.5). Sin embargo, se observó una reducción más rápida de los azúcares (fructosa 100%, sacarosa 60% y maltosa 70% después de 48 h de co-cultivo) en el burbujeo de aire, en comparación con los co-cultivos con agitación rotatoria.

Figura 2.5 Distribución de tamaño de flóculos *Chlorella*/micelio formados por co-cultivos después de 60 h y apariencia de agregados microalga / micelio en (A) co-floculación con agitación rotatoria y (B) co-floculación por agitación con borboteo de aire.



Fuente: Elaboración Propia

4. Conclusiones

En este estudio, los co-cultivos mixotróficos de *C. sorokiniana* con hongos filamentosos para la separación de microalgas por formación de agregados de hongos mostraron las mejores eficiencias de cosecha cuando se usó la cepa de *Aspergillus flavus* en comparación con las cepas de *A. oryzae* y *A. niger*, 98.6, 93.2, y 88.3% después de 60 h de co-cultivo, respectivamente.

La fructosa y la maltosa demostraron ser las mejores fuentes de carbono orgánico para la co-floculación eficiente de hongos / microalga cuando los cultivos se complementaron con fuentes de nitrógeno y fosfato inorgánicos (5 y 10 g L⁻¹, respectivamente). También se encontró que la co-floculación de algas y hongos en el crecimiento de burbujas de aire condujo a una utilización eficiente de azúcares y agregados densos más verdes.

El rango de pH de 5.5 a 6.0 mostró ser un pH adecuado para la formación de agregados de hongos / microalga sin comprometer la integridad de las células algales. Esto indica la viabilidad del uso de co-cultivos mixotróficos de hongos / algas que crecen a 30 °C como método económico de cosecha de la microalga *C. sorokiniana*.

El tamaño del flóculo formado por agitación rotatoria fue mayor que el flóculo formado por agitación por borboteo de aire y así se incrementa también el contenido de biomasa algal atrapada. La utilización de fuentes alternativas de carbono como la paja de trigo en el co-cultivo hongo/microalga tuvo como beneficio un incremento en la producción de enzimas celulasas sintetizadas por el crecimiento del hongo filamentoso. Por lo tanto, este trabajo proporciona una perspectiva económica y eficiente para explorar la cosecha de microalgas.

Se recomienda hacer estudios de optimización de los parámetros físicos y nutricionales utilizados en el desarrollo de los co-cultivos de las cepas *Aspergillus flavus* y *Chlorella sorokiniana* para su co-floculación.

5. Agradecimientos

La autora Lydia Toscano Palomar agradece al Consejo de Ciencia y Tecnología de México por el soporte otorgado y a todas las personas que colaboraron académica y económicamente en la realización del presente trabajo Posdoctoral.

6. Referencias

- Ahmad, A. L., Yasin, N. M., Derek, C. J. C., & Lim, J. K. (2011). Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(1), 584-593.
- Almakarem, A. S. A., Heilman, K. L., Conger, H. L., Shtarkman, Y. M., & Rogers, S. O. (2012). Extraction of DNA from plant and fungus tissues in situ. *BMC research notes*, *5*(1), 266.
- Barros, A. I., Gonçalves, A. L., Simões, M., & Pires, J. C. (2015). Harvesting techniques applied to microalgae: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *41*, 1489-1500.
- Becker, E. W. (1994). *Microalgae: biotechnology and microbiology* (Vol. 10). Cambridge University Press.
- Colla, L.M., et al., (2015). Production and characterization of lipases by two new isolates of *Aspergillus* through solid-state and submerged fermentation. *BioMed research international*, 2015.
- Ferreira, J. A., Mahboubi, A., Lennartsson, P. R., & Taherzadeh, M. J. (2016). Waste biorefineries using filamentous ascomycetes fungi: Present status and future prospects. *Bioresource technology*, *215*, 334-345.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Balzer, C. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, *478*(7369), 337-342.
- Fraga, M.E., et al., (2008). Characterization of *Aspergillus* species based on fatty acid profiles. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, *103*(6), 540-544.
- Gibbs, P. A., Seviour, R. J., & Schmid, F. (2000). Growth of filamentous fungi in submerged culture: problems and possible solutions. *Critical reviews in biotechnology*, *20*(1), 17-48.
- Gomez, J.A., Höffner, K. and Barton P.I. (2016). From sugars to biodiesel using microalgae and yeast. *Green Chemistry*, *18*(2), 461-475.
- Gonçalves, A. L., Pires, J. C., & Simões, M. (2013). Green fuel production: processes applied to microalgae. *Environmental chemistry letters*, *11*(4), 315-324.
- Gong, Y., & Jiang, M. (2011). Biodiesel production with microalgae as feedstock: from strains to biodiesel. *Biotechnology letters*, *33*(7), 1269-1284.
- Gregory, J. (2005). *Particles in water: properties and processes*. CRC Press.
- Guerrero, J., Yagüe, E., & Estevez, M. P. (1992). Cellulase production by lichens. *Journal of plant physiology*, *140*(4), 508-510.
- Gultom, S., & Hu, B. (2013). Review of microalgae harvesting via co-pelletization with filamentous fungus. *Energies*, *6*(11), 5921-5939.
- Gultom, S.O., C. Zamalloa, and B. Hu. (2014). Microalgae harvest through fungal pelletization—co-culture of *Chlorella vulgaris* and *Aspergillus niger*. *Energies*, *7*(7), 4417-4429.

- Kim, G., Mujtaba, G., & Lee, K. (2016). Effects of nitrogen sources on cell growth and biochemical composition of marine chlorophyte *Tetraselmis* sp. for lipid production. *Algae*, 31(3), 257-266.
- Lacap, D. C., Hyde, K. D., & Liew, E. C. Y. (2003). An evaluation of the fungal 'morphotype' concept based on ribosomal DNA sequences. *Fungal Diversity*.
- Lammers, P.J., et al., (2017). Review of the cultivation program within the National Alliance for Advanced Biofuels and Bioproducts. *Algal research*, 22, 166-186.
- Li, T., Zheng, Y., Yu, L., & Chen, S. (2014). Mixotrophic cultivation of a *Chlorella sorokiniana* strain for enhanced biomass and lipid production. *Biomass and Bioenergy*, 66, 204-213.
- Liu, J., et al. (2010). Production potential of *Chlorella zofingienensis* as a feedstock for biodiesel. *Bioresource technology*, 101(22), 8658-8663.
- Mackay, S., Gomes, E., Holliger, C., Bauer, R., & Schwitzguébel, J. P. (2015). Harvesting of *Chlorella sorokiniana* by co-culture with the filamentous fungus *Isaria fumosorosea*: A potential sustainable feedstock for hydrothermal gasification. *Bioresource technology*, 185, 353-361.
- Mellon, J. E., Cotty, P. J., & Dowd, M. K. (2007). *Aspergillus flavus* hydrolases: their roles in pathogenesis and substrate utilization. *Applied microbiology and biotechnology*, 77(3), 497-504.
- Milledge, J. J., & Heaven, S. (2013). A review of the harvesting of micro-algae for biofuel production. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 12(2), 165-178.
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical chemistry*, 31(3), 426-428.
- Muradov, N., et al., (2015). Fungal-assisted algal flocculation: application in wastewater treatment and biofuel production. *Biotechnology for biofuels*, 8(1), 24.
- Nair, R. B., Lennartsson, P. R., & Taherzadeh, M. J. (2016). Mycelial pellet formation by edible ascomycete filamentous fungi, *Neurospora intermedia*. *AMB Express*, 6(1), 31.
- Nemec, T., Jernejc, K., & Cimerman, A. (1997). Sterols and fatty acids of different *Aspergillus* species. *FEMS Microbiology Letters*, 149(2), 201-205.
- Perez-Garcia, O., Escalante, F. M., de-Bashan, L. E., & Bashan, Y. (2011). Heterotrophic cultures of microalgae: metabolism and potential products. *Water research*, 45(1), 11-36.
- Prajapati, S. K., Kumar, P., Malik, A., & Choudhary, P. (2014). Exploring pellet forming filamentous fungi as tool for harvesting non-flocculating unicellular microalgae. *BioEnergy Research*, 7(4), 1430-1440.
- Prasher, I.B., Chandel, V.C. & Chauhan, R. (2014). Effect of carbon and nitrogen sources on growth and luminescence of *Panellus stipticus* (Bull.) P. Karst. *Journal of Advanced Botany and Zoology*, 1(4), 4.
- Qiao, H. and Wang, G. (2009). Effect of carbon source on growth and lipid accumulation in *Chlorella sorokiniana* GXNN01. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. 27(4), 762-768.
- Sander, K. B., & Murthy, G. S. (2009). Enzymatic degradation of microalgal cell walls. In *2009 Reno, Nevada, June 21-June 24, 2009* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Shin, W. S., Lee, D., Kim, S., Jeong, Y. S., & Chun, G. T. (2017). Development of Miniaturized Culture Systems for Large Screening of Mycelial Fungal Cells of *Aspergillus terreus* Producing Itaconic Acid. *Journal of microbiology and biotechnology*, 27(1), 101-111.

- Suutari, M. (1995). Effect of growth temperature on lipid fatty acids of four fungi (*Aspergillus niger*, *Neurospora crassa*, *Penicillium chrysogenum*, and *Trichoderma reesei*). *Archives of microbiology*, *164*(3), 212-216.
- Treichel, H., de Oliveira, D., Mazutti, M. A., Di Luccio, M., & Oliveira, J. V. (2010). A review on microbial lipases production. *Food and bioprocess technology*, *3*(2), 182-196.
- Uduman, N., Qi, Y., Danquah, M. K., Forde, G. M., & Hoadley, A. (2010). Dewatering of microalgal cultures: a major bottleneck to algae-based fuels. *Journal of renewable and sustainable energy*, *2*(1), 012701.
- Ummalyma, S.B., et al., (2017). Bioflocculation: an alternative strategy for harvesting of microalgae—an overview. *Bioresource technology*, *242*, 227-235.
- Vandamme, D., Foubert, I., & Muylaert, K. (2013). Flocculation as a low-cost method for harvesting microalgae for bulk biomass production. *Trends in biotechnology*, *31*(4), 233-239.
- White, T. J., Bruns, T., Lee, S. J. W. T., & Taylor, J. L. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR protocols: a guide to methods and applications*, *18*(1), 315-322.
- Wrede, D., et al., (2014). Co-cultivation of fungal and microalgal cells as an efficient system for harvesting microalgal cells, lipid production and wastewater treatment. *PLoS One*, *9*(11), e113497.
- Zamalloa, C., Gultom, S. O., Rajendran, A., & Hu, B. (2017). Ionic effects on microalgae harvest via microalgae-fungi co-pelletization. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *9*, 145-155.
- Zhang, J. and J. Zhang, (2016). The filamentous fungal pellet and forces driving its formation. *Critical reviews in biotechnology*, *36*(6), 1066-1077.
- Zhang, J., & Hu, B. (2012). A novel method to harvest microalgae via co-culture of filamentous fungi to form cell pellets. *Bioresource Technology*, *114*, 529-535.
- Zhang, Y. P., Hong, J., & Ye, X. (2009). Cellulase assays. In *Biofuels* (pp. 213-231). Humana Press, Totowa, NJ.
- Zhou, W., et al., (2013). Filamentous fungi assisted bio-flocculation: a novel alternative technique for harvesting heterotrophic and autotrophic microalgal cells. *Separation and Purification Technology*, *107*, 158-165.
- Zou, Y., Luo, S., & Li, W. (2016, April). Effects of glucose and yeast cream content on the Pelletization Behavior of Fungi-*Chlorella* Sp. Symbiosis System. In 2015 4th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Engineering. Atlantis Press.

Capítulo III Adaptación de higuera (*Ricinus communis* L.) Bajo condiciones de invernadero

Chapter III Higuera (*Ricinus communis* L.) Plants adaptation under greenhouse conditions

JUÁREZ-MENDOZA, Lucila^{1†*}, MARTÍNEZ-MEDINA, Alma Leidy¹, DÍAZ-ARRIAGA, Francisco Ramón¹ y VÁZQUEZ-LEÓN, Lucio Abel²

¹Tecnológico Nacional de México/I.T. Tehuacán

²Universidad del Papaloapan

ID 1^{er} Autor: *Lucila, Juárez-Mendoza* / **ORC ID:** 0000-0002-7823-7951

ID 1^{er} Coautor: *Alma Leidy, Martínez-Medina* / **ORC ID:** 0000-0003-1604-131X

ID 2^{do} Coautor: *Francisco Ramón. Díaz-Arriaga* / **ORC ID:** 0000-0002-2576-2074

ID 3^{er} Coautor: *Lucio Abel, Vázquez-León* / **ORC ID:** 0000-0003-3979-308X

DOI: 10.35429/H.2019.4.39.49

L. Juárez, A. Martínez, F. Díaz y L. Vázquez

d_ib_lucilajm@ittehuacan.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Díaz, L. Cruz. (Dir.) La ciencia y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2019.

Resumen

Las plantas de higuierilla (*Ricinus communis* L.), también conocidas como plantas de ricino, son cultivos energéticos no comestibles, y todas las partes de la planta pueden usarse para la producción múltiple de biocombustibles. Las plantas de higuierilla poseen un enorme potencial de adaptación a diversos hábitats, incluidos los sitios problemáticos, debido a su plasticidad, sin embargo, en la región central de México los cultivos disponibles son silvestres. La tecnología de invernadero se está convirtiendo en una solución cada vez más indispensable y viable para los métodos modernos de producción de cultivos. El presente capítulo destaca el trabajo realizado sobre diferentes aspectos de la adaptación de las plantas de higuierilla bajo condiciones de invernadero. Se evaluó el crecimiento y el rendimiento de producción de cuatro variedades (Guanajuato Oíl, RC-40, K855 y Criolla) de plantas de higuierilla en invernadero con ventilación natural, impulsada por la diferencia de presión. Se cultivaron 40 plantas en un área de 70 m². El *tezontle* (en náhuatl, *tezt* significa piedra y *zontli* significa cabello) se usó como sustrato, que es una piedra volcánica nativa. La formulación nutricional de Steiner se utilizó para proporcionar los elementos necesarios en el desarrollo de la planta. Se utilizó el método de riego por goteo para todas las plantas. Se aplicó el análisis de varianza unidireccional (1W-ANOVA) y la prueba de rango de Tukey para el análisis de datos. Se obtuvieron resultados favorables y óptimos en el crecimiento y el rendimiento de producción de al menos una variedad de plantas de higuierilla.

Planta de higuierilla, Alternativas de bioenergía, Producción en invernadero, Crecimiento de plantas, Rendimiento de producción

Abstract

Higuierilla plants (*Ricinus communis* L.), also called castor plants, are non-edible energy crop, and all parts of the plant can be used for multiple biofuel production. Higuierilla plants possess an enormous adaptive potential in diverse habitats including problematic sites due to their plasticity, however in México central region the available crops are wild. Greenhouse technology is becoming an increasingly indispensable and a viable solution for modern methods of crop production. Present chapter highlights the work carried out on different aspects of higuierilla plants adaptation under greenhouse conditions. Was evaluated the growth and production yield of four varieties (Guanajuato Oíl, RC-40, K855 and Criolla) of higuierilla plants into naturally ventilated greenhouse, driven by pressure difference. 40 plants were cultivated in an area of 70 m². The *tezontle* (in Nahuatl, *tezt* means stone and *zontli* means hair) was used as substrate, which is a native volcanic stone. Steiner's nutritional formulation was used to provide the necessary elements for the development of the plant. Drip irrigation method for all the plants was used. The one-way analysis of variance (1W-ANOVA) and Tukey's range test were applied. Favorable and optimal results were obtained in the growth and production yield of at least one variety of Higuierilla plants.

Higuierilla plants, Bioenergy alternatives, Greenhouse production, Plant growth, Production yield

1. Introducción

El uso de biocombustibles resulta una de las principales propuestas impulsadas para la disminución del impacto ambiental generados por los combustibles fósiles durante los últimos años. A nivel internacional la producción de biocombustibles en la última década presentó un incremento que va de los 18,000 millones de litros producidos en el 2000, a 129,000 millones de litros producidos en 2011. El uso de biocombustibles para la generación de energía sólo abarca el 5% del total producido por las energías renovables a nivel mundial (Castiblanco y Etter, 2013). Dentro de los principales biocombustibles producidos a nivel mundial se encuentran el bioetanol, biodiesel, biometano y biohidrógeno (Acosta y Chaparro-Giraldo, 2009).

México es uno de los países que poco a poco ha logrado incursionar en el mercado de los energéticos debido a sus condiciones climáticas y localización geográfica. En 2013, la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) identificó los cultivos potenciales para la producción de biodiesel entre los que destaca la higuierilla (*Ricinus communis* L.), con el propósito de generar las bases que permitan su introducción como componente de volumen de gasolina (SAGARPA, 2009).

Dadas las características de la planta, la higuera resulta tener potencial para su producción y uso como materia prima en la obtención de biocombustibles en la región de Tehuacán, Puebla, México, la cual cuenta con la riqueza natural necesaria para la producción de esta planta, cuya presencia se ha observado de manera silvestre (Rico-Ponce *et al.*, 2011). Sin embargo, la producción de higuera para la obtención de biocombustibles no puede estar limitada a regiones geográficas y condiciones climáticas, deben también considerarse las tecnologías necesarias que permitan su producción en distintas zonas agroclimáticas.

En las últimas décadas, se han introducido soluciones viables tecnológicas e innovadoras, como la agricultura de invernadero a gran escala, que mejoran tanto el rendimiento como la calidad de los cultivos. Un invernadero es una estructura agrícola que puede extender la temporada de producción al proporcionar condiciones controladas de microclima interior apropiadas para el cultivo de varios tipos de cultivos (Ghani *et al.*, 2019; Ghoulem *et al.*, 2019). Por lo tanto, el uso de invernaderos brindaría la oportunidad de controlar el cultivo de higuera para su aprovechamiento como fuente de biocombustible.

En comparación con la agricultura de campo abierto, un invernadero puede proporcionar un alto grado de control climático y proteger los cultivos del interior de los cambios desfavorables en las condiciones ambientales como la temperatura, la humedad, la radiación solar, etc. Por lo tanto, el cultivo en invernadero requiere tener en cuenta estos factores concurrentes, parámetros que finalmente permiten equilibrar el retorno del rendimiento y los costos operativos y de capital relacionados (Ghani *et al.*, 2019; Ghoulem *et al.*, 2019).

En el presente trabajo, se realizó el estudio de adaptación de 4 variedades de higuera (*Ricinus communis* L.) bajo condiciones de invernadero, con el fin de proponer una estrategia general para el aprovechamiento de este recurso bioenergético y con ello no limitar su producción a través de especímenes silvestres. Además, en el presente capítulo se expone la importancia del cambio climático y el reto que adquiere el sector bioenergético para buscar estrategias que permitan minimizar el impacto ambiental de las actividades que requieren combustibles para su desarrollo. Posteriormente se detallan algunos reportes que dejan evidencia de la viabilidad del uso de la higuera como cultivo bioenergético. Finalmente se presenta la estrategia experimental abordada por el equipo de investigación y se discuten los resultados obtenidos durante el estudio de adaptación de higuera bajo condiciones de invernadero.

2. Cambio climático y el reto en el sector bioenergético

Dentro de las problemáticas más importantes en la última década a nivel mundial desde la perspectiva social, ambiental y económica, destaca la contaminación ambiental y su relación con el cambio climático. De acuerdo con la *ECODES* (Fundación ecología y desarrollo) el cambio climático es uno de los problemas ambientales más graves al que se enfrenta la humanidad.

El calentamiento global es un problema que amenaza a los ecosistemas mundiales, comprometiendo el desarrollo sostenible y el bienestar de la humanidad. Los estudios científicos muestran que el planeta se enfrentará a desastres humanos y naturales irreversibles si la concentración atmosférica de CO₂ continúa por encima de 350 partes por millón. En el último informe publicado el 8 de octubre de 2018 en Incheon, Corea del Sur, el Grupo *Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (IPCC, por sus siglas en inglés) argumenta que el incremento en la temperatura de la tierra, de 1.5 °C, se verá reflejado en un aumento en tormentas, incendios forestales, sequías, olas de calor e inundaciones en todo el mundo. Además, se informó que podrían alcanzarse en 11 años una elevación de la temperatura de 2 °C si no se reducen las emisiones de CO₂ (IPCC, 2018).

Los efectos de no plantear alternativas a la reducción de las emisiones de CO₂ serían perceptibles en todos los ecosistemas, así como en comunidades y economías humanas. Los efectos más notables incluirían tormentas de alta intensidad, olas de calor peligrosas, aumento en el nivel del mar, y la perturbación a gran escala de las infraestructuras y los patrones migratorios de las diferentes especies en el mundo. Por ello en el informe especial del IPCC se describen alternativas para limitar el calentamiento global, a través, de la reducción del 50% del uso de combustibles fósiles en menos de 15 años y eliminar su uso casi por completo en 30 años.

Esto significa que ningún hogar, negocio o industria tendrá calefacción por gas o petróleo; ningún vehículo se desplazará con diésel o gasolina; todas las centrales eléctricas de carbón y gas se clausurarán; la industria petroquímica tendrá que convertirse en industria química verde; y la industria pesada como la producción de acero y aluminio tendrá que utilizar fuentes de energía sin carbono o tecnología de captura de emisiones de CO₂ que almacenará de forma permanente. Además, se considera que entre 1 y 7 millones de km² de tierra tendrán que convertirse para empezar a plantar cultivos que se utilicen como fuente de bioenergía (IPCC, 2018).

El uso de los biocombustibles surge a finales del siglo XIX y nace a la par del uso de los hidrocarburos como fuente de energía. Al inicio surgieron las ideas de usar aceites vegetales como combustible para motores de combustión interna. Uno de los primeros, en 1895, fue el Dr. Rudolf Diesel quien desarrolló el primer motor diésel, cuyo prototipo ya estaba previsto que funcionara con aceites vegetales, como por ejemplo el aceite de maní. Años más tarde, Henry Ford hizo el primer diseño de su automóvil modelo T en 1908, en el que esperaba utilizar el etanol como combustible. Sin embargo, los elevados precios del maíz (de donde se obtenía el biocombustible) junto con los altos costos de almacenamiento y las dificultades en el transporte, hicieron hacer a un lado proyecto y en ese momento el petróleo irrumpió en el mercado siendo más barato, más eficiente y más disponible. Debemos entender por biocombustibles a aquellos combustibles que se obtienen a partir de biomasa, es decir, a cualquier combustible obtenido a partir de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos. En la actualidad los biocombustibles representan la alternativa que ayudaría a combatir el cambio climático y sus efectos (Salinas-Callejas y Gasca-Quezada, 2009).

En la actualidad los biocombustibles más usados y desarrollados son el etanol y el biodiesel. En el caso del etanol, también llamado etanol de biomasa, es un alcohol producido a partir de la fermentación de azúcares como el maíz, la caña de azúcar, remolacha, cebada, entre otros cultivos energéticos. Por otra parte, el biodiesel es un combustible alternativo similar al diésel convencional o "fósil", el cual se obtiene a partir del procesamiento de aceites vegetales obtenidos de plantas oleaginosas como la soya, colza, girasol, cártamo, palma de aceite, y la higuera (Salinas-Callejas y Gasca-Quezada, 2009; Berman *et al.*, 2011; Naik *et al.*, 2018). El proceso utilizado para convertir estos aceites en biodiesel se llama transesterificación. El biodiesel también se puede describir como "carbono neutral". Esto significa que el combustible no produce una producción neta de carbono en forma de CO₂ (Naik *et al.*, 2018)

3. Higuera (*Ricinus communis L.*) como cultivo bioenergético

La planta de higuera (*Ricinus communis L.*) es un miembro de la familia de las espuelas (Euphorbiaceae) que se encuentra en los países tropicales (Naik *et al.*, 2018). Este cultivo oleaginoso no comestible es de los más prometedores, debido a su alta producción y rendimiento anual de semillas, y que además puede cultivarse en tierras marginales y en un clima semiárido (Berman *et al.*, 2011). India es el mayor productor de semillas de higuera con una producción global total de 1.85 millones de toneladas anuales, que representa aproximadamente el 80% de la producción mundial total (Naik *et al.*, 2018). Sin embargo, las semillas de higuera son venenosas para los humanos y los animales, ya que contienen la proteína tóxica ricina, aunque están ausentes del propio aceite (Berman *et al.*, 2011).

La higuera es un cultivo considerado energético y con un sobresaliente potencial, debido a que todas las partes de la planta se pueden utilizar para la producción múltiple de biocombustibles. La semilla de higuera es una rica fuente de aceite que se utiliza en más de 10 industrias diferentes, además de la producción de biodiesel. Después de extraer el aceite de la semilla, más del 50% de la biomasa se deja en forma de torta desengrasada como desecho industrial. Las otras partes de la planta son tallo y hojas que son biomasa lignocelulósica y pueden usarse para la producción de biocombustibles. Dado que la biomasa lignocelulósica es muy difícil de hidrolizar por acción enzimática, requiere un pretratamiento eficiente para hacerla susceptible a la acción enzimática. Se han informado varios métodos en la literatura para el pretratamiento y la degradación de la biomasa para reducir los azúcares y la posterior producción de biocombustibles a partir de higuera (Naik *et al.*, 2018).

Por lo tanto, existe suficiente evidencia científica de que las plantas de higuera, y principalmente sus semillas, se pueden usar como materia prima alternativa a la industria del biodiesel, en especial cuando se mezclan con diésel convencional (Berman *et al.*, 2011; Naik *et al.*, 2018). Sin embargo, el nivel máximo de mezcla se limita al 10% debido a los altos niveles de ácido ricinoleico (Berman *et al.*, 2011).

En México, el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) es la organización que ha realizado numerosos estudios en cuanto al cultivo de higuera (*Ricinus communis* L.) y que forman parte de una cobertura nacional llamada “Estudio de Insumos para la Obtención de Biocombustibles en México” que tiene como objetivo principal generar y adaptar tecnologías de producción, entre las que destaca la planta de higuera, para la obtención de insumos rentables de alta calidad para la producción de biocombustibles (biodiesel y etanol) en las regiones agroclimáticas del país (Zamarripa *et al.*, 2009).

Existen diversas organizaciones campesinas interesadas en la producción de biodiesel a partir de la higuera, el reto es que sin importar la zona geográfica en la que se requiera su obtención, su cultivo pueda realizarse con los máximos índices de producción. Resulta de inmensa importancia realizar un estudio sobre el desarrollo de la higuera (*Ricinus communis* L.) bajo la tecnología de producción en invernaderos, lo que permitiría, además, evitar los cruces de variedades de esta planta y mejorar la producción de la semilla para la obtención de biodiesel. Pero sobre todo generar los conocimientos suficientes para que regiones geográficas con diferentes condiciones agroecológicas puedan ser productoras de la planta de higuera para su uso en la industria de biocombustibles. A continuación, se presenta la estrategia experimental y se discuten los resultados obtenidos.

4. Materiales y métodos

El trabajo se llevó a cabo en el invernadero del Instituto Tecnológico de Tehuacán (ITT) ubicado en la ciudad de Tehuacán, en el estado de Puebla. El invernadero en el que se estableció la producción de higuera es de tipo cenital, presenta las medidas de 10 m de largo, 7 m de ancho y una altura de 5 m. Dando una superficie de siembra de 70 m². De acuerdo con el área útil de siembra del invernadero, se introdujeron un total de 40 plantas/ 70 m², separadas las plantas entre sí por 1 m. La separación en los pasillos fue de 1 m, colocando una planta por bolsa.

Para realizar el proceso de nutrición de la planta, se implementó el sistema de riego por goteo que se encuentra conectado a un depósito con una capacidad de 1100 L, lo cual permitió suministrar la solución nutritiva. En cuanto a los requerimientos nutricionales se consideró lo establecido por Cabrales *et al.*, (2011) quienes reportaron que la mayor cantidad de los nutrientes requeridos por la planta se da en la primera fase de crecimiento hasta el inicio de la floración, en donde el N, P y K son los principales elementos para el éxito de la siembra. Por lo que, al inicio de la siembra hasta los primeros 20-30 días se aplicaron los requerimientos necesarios para la planta utilizando un promotor de sistema radicular ROOTEX.

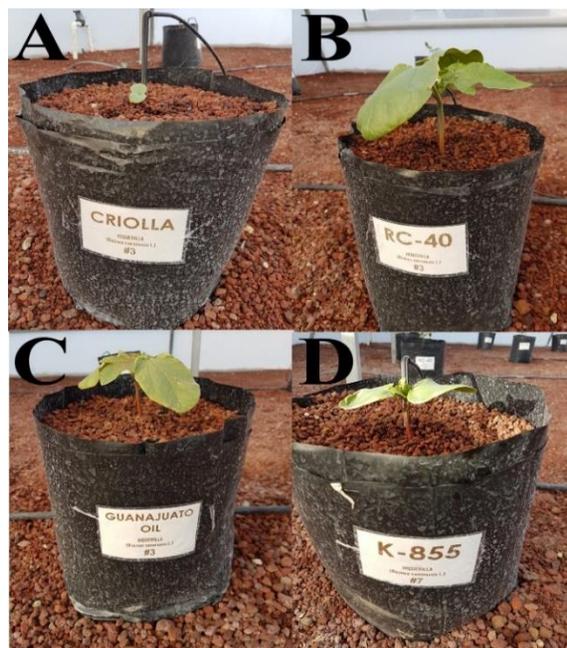
El sustrato utilizado para la siembra de la planta de higuera (*Ricinus communis* L.) fue el tezontle rojo, ya que con este sustrato cumple con los requerimientos edáficos de la planta, como son la textura franco-arenosa y el buen drenaje. Bajo esos criterios, el tezontle rojo fue cernido con una malla de 7 mm. Por ser una planta de alta resistencia, la siembra de las semillas se realizó directamente sobre el sustrato. Previamente el sustrato se humedeció y se le aplicó una solución enraizadora, posteriormente se colocó una semilla por cada contenedor a una profundidad de 5 a 7 cm que se cubrió con el mismo sustrato, y finalmente se realizó un riego ligero con agua. Durante los primeros días de siembra la planta se mantuvo con un riego constante en el contenedor de 160 a 190 mL/día, así como en la superficie de la nave hasta los primeros 25 días, para posteriormente ir disminuyendo y llegar a 80-100 mL/día, ya que la planta prospera en climas cálidos y secos con precipitación de 700 a 1200 mm anuales y con baja humedad relativa (Rico-Ponce *et al.*, 2011).

La siembra se realizó con cuatro variedades diferentes de higuera (*Ricinus communis* L.): Criolla (Figura 4.1A), RC-40 (Figura 4.1B), K-855 (Figura 4.1C) y Guanajuato Oíl (Figura 4.1D), las cuales fueron proporcionadas y donadas por la organización campesina Meztly olin A.C. Las variedades de higuera fueron sembradas bajo las mismas condiciones, lo que permitió evaluar su crecimiento para posteriormente valorar su adaptación bajo las condiciones de invernadero. En la Figura 3.1 se observan las cuatro variedades sembradas y en proceso de crecimiento. Cada una de estas variedades presenta características específicas en cuanto a su desarrollo, por lo tanto, se dio seguimiento a los días necesarios para su germinación a partir de su siembra, al tamaño alcanzado en los primeros 195 días de desarrollo y a la producción de semillas durante 195 días de desarrollo (contados a partir de que emergieron las plantas). Específicamente en cuanto a la producción de semillas, se hizo el conteo del número de semillas obtenidas por cada variedad y se registró la cantidad en gramos.

Durante el proceso de crecimiento se realizaron podas de saneamiento a las plantas de higuerrilla, las hojas dañadas fueron removidas de manera manual con ayuda de tijeras, con ello se benefició la aireación de la planta para evitar algún microambiente que fuera aprovechado por hongos o cualquier otra enfermedad o plaga. La cosecha se realizó manualmente cortando el racimo seco con ayuda de tijeras. Durante el corte y la cosecha se observaron frutos secos, por lo menos el 85% de los frutos del cultivo ya se encontraban bajo esas condiciones. Un método que se utilizó y permitió obtener mayor cantidad de frutos secos, fue la colocación de bolsas de papel (Figura 3.2), la cual permitió la respiración de la planta y a su vez disminuyó la pérdida de la semilla, ya que el fruto tiende a liberarlas.

Finalmente, el análisis de varianza unidireccional (1W-ANOVA) y la prueba de rango de Tukey se realizaron para el análisis estadístico de los resultados experimentales, con el fin de determinar las diferencias entre las variedades de higuerrilla evaluadas, con respecto a los días de germinación, la tasa de crecimiento y la producción de semillas (en número y cantidad en gramos). Para llevar a cabo estos análisis estadísticos, se utilizó el software Minitab 16.

Figura 3.1 Plantas de higuerrilla (*Ricinus communis L.*) sembradas en invernadero del TecNM/ITTehuacán. Variedades evaluadas: Criolla (A), RC-40 (B), K-855 (C) y Guanajuato Oil (D)



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2 Planta de higuerrilla (*Ricinus communis L.*) con cubierta de papel para la obtención de fruto seco



Fuente: Elaboración propia

5. Resultados y discusión

Se realizó la evaluación de cuatro variedades de higuera (*Ricinus communis* L.) bajo condiciones de invernadero (Figura 3.1), en las que se consideraron las variables de los días de germinación, el crecimiento de la planta (en cm), el número de semillas obtenidas por cada planta y variedad, así como la cantidad en gramos obtenida de cada una de ellas.

En la Tabla 3.1 se observa el análisis de varianza (ANOVA) de los resultados experimentales de la duración entre la siembra directa y la germinación de la planta. El resultado obtenido nos indica que existieron diferencias en los días necesarios para la germinación. Las variedades que necesitaron menos tiempo de germinación fueron la RC-40, la K-855 y la Guanajuato Oil (Tabla 3.2). En la Tabla 3.2 se observa que la variedad criolla fue significativamente diferente al resto de las variedades evaluadas, en cuanto al período de germinación. Se ha reportado que en cultivos a campo abierto la semilla de higuera tarda de 8 a 12 días para germinar, según la variedad de la que se trate (González-Ávila *et al.*, 2011). Por lo tanto, los resultados obtenidos en el presente trabajo (Tabla 3.2) superan el intervalo de días de germinación de plantas de higuera cultivados a campo abierto. Las opciones viables para obtener rápidamente la planta bajo condiciones de invernadero serían las variedades la RC-40, la K-855 y la Guanajuato Oil; las cuales tardan de 24 a 26 días para germinar (Tabla 3.2).

Tabla 3.1 Análisis de varianza (ANOVA) de los resultados experimentales de germinación de semillas de cuatro variedades de higuera (*Ricinus communis* L.)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	533.875	3	177.958	16.60	0.000	2.866
Dentro de los grupos	385.900	36	10.719	H1 Alguna media es diferente $\alpha = 0.05$		
Total	919.775	39				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.2 Días para la germinación de semillas de cuatro variedades de higuera (*Ricinus communis* L.) cultivadas bajo condiciones de invernadero

Variedad de higuera	Días de germinación	Agrupación
<i>Criolla</i>	33.10	A
<i>K-855</i>	25.50	B
<i>Guanajuato Oil</i>	24.40	B
<i>RC-40</i>	24.30	B

Las medias ($n = 10$) de los resultados experimentales que no comparten letras son significativamente diferentes ($p > 0.05$) con la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 3.3 se muestra el ANOVA para comparar el crecimiento de las cuatro variedades de higuera, dando como resultado diferencias en el crecimiento de las plantas, a pesar de que todas las plantas se desarrollaron bajo las mismas condiciones. Las variedades que presentaron mayor crecimiento en los 5-6 meses de siembra fueron la RC-40 y la K-855 (Tabla 3.4). En la Tabla 3.4 se observa que la variedad RC-40 presenta el mayor crecimiento significativo que el resto de las variedades.

La Tabla 3.5 muestra el ANOVA del número de semillas obtenidas de las cuatro variedades sembradas de higuera. Las variedades Criolla y K-855 produjeron mayor cantidad de semillas que las otras variedades (Tabla 3.6).

La Tabla 3.7 presenta el ANOVA de los resultados de producción de semillas en gramos de las distintas variedades. De acuerdo con este análisis estadístico, existe diferencia en la cantidad de semillas producidas por cada una de las variedades. Las variedades K-855 y RC-40 presentaron la mayor cantidad en gramos de semillas (Tabla 3.8), a pesar de que la variedad RC-40 presentó el menor número de semillas, junto con la variedad Guanajuato-Oil (Tabla 3.6).

Tabla 3.3 Análisis de varianza (ANOVA) de los resultados experimentales de crecimiento de cuatro variedades de higuera (*Ricinus communis* L.)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	45522.6	3	15174.200	26.985	0.000	2.866
Dentro de los grupos	20243.4	36	562.317	H1 Alguna media es diferente $\alpha = 0.05$		
Total	65766	39				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.4 Crecimiento de cuatro variedades de higuera (*Ricinus communis* L.) cultivadas bajo condiciones de invernadero

Variedad de higuera	Altura de la planta (cm) a 195 días a partir de la germinación	Agrupación
RC-40	152.60	A
K-855	102.60	B
Guanajuato Oil	74.30	BC
Criolla	66.50	C

Las medias ($n = 10$) de los resultados experimentales que no comparten letras son significativamente diferentes ($p > 0.05$) con la prueba de Tukey.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.5 Análisis de varianza (ANOVA) de los resultados experimentales del número de semillas producidas por cuatro variedades de higuera (*Ricinus communis* L.)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	40396.10	3.00	13465.37	16.99	0.00	2.87
Dentro de los grupos	28537.40	36.00	792.71	H1 Alguna media es diferente $\alpha = 0.05$		
Total	68933.50	39.00				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.6 Número de semillas producidas por cuatro variedades de higuera (*Ricinus communis* L.) cultivadas bajo condiciones de invernadero

Variedad de higuera	Número de semillas producidas por planta durante 195 días	Agrupación
Criolla	151.60	A
K-855	121.50	A
Guanajuato Oil	81.10	B
RC-40	72.80	B

Las medias ($n = 10$) de los resultados experimentales que no comparten letras son significativamente diferentes ($p > 0.05$) con la prueba de Tukey.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.7 Análisis de varianza (ANOVA) de los resultados experimentales de la cantidad producida de semillas por cuatro variedades de higuera (*Ricinus communis* L.)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	10184.89	3.00	3394.96	24.71	0.00	2.87
Dentro de los grupos	4946.48	36.00	137.40	H1 Alguna media es diferente $\alpha = 0.05$		
Total	15131.37	39.00				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.8 Cantidad producida de semillas por cuatro variedades de higuierilla (*Ricinus communis* L.) cultivadas bajo condiciones de invernadero.

Variedad de higuierilla	Cantidad producida de semillas (g) por planta durante 195 días	Agrupación
K-855	61.75	A
RC-40	52.76	A
Guanajuato Oíl	34.26	B
Criolla	20.71	B

Las medias ($n = 10$) de los resultados experimentales que no comparten letras son significativamente diferentes ($p > 0.05$) con la prueba de Tukey.

Fuente: Elaboración Propia

Es importante señalar que se han realizado diversos estudios acerca de los procesos de siembra de la higuierilla en campo abierto en México, principalmente encabezados por el INIFAP (González-Ávila *et al.*, 2011; Rico-Ponce *et al.*, 2011; Montes-Hernández *et al.*, 2018), sin embargo, no se ha especificado la cantidad de semillas y los gramos obtenidos en su producción, lo que dificulta la comparación entre los resultados de siembra en campo abierto y lo obtenido en el presente trabajo bajo condiciones de invernadero.

De acuerdo con el proceso realizado y a las derivaciones obtenidas en este trabajo a partir de la producción de la planta de higuierilla (*Ricinus communis* L), se puede mencionar que se obtuvieron diversos e interesantes resultados que pueden favorecer y comprender la siembra de esta planta bajo condiciones de invernadero. Los resultados permitirán a futuros proyectos tomar decisiones sobre la variedad ideal para la siembra de acuerdo con las necesidades de los productores. Pero, sobre todo, se pretende que los resultados sirvan para incentivar la producción de este cultivo energético y en consecuencia emprender acciones que favorezcan la disminución de la crisis ambiental en la que nos encontramos, a partir de la producción de biocombustible de higuierilla, sin importar la zona geográfica en la que se localice su cultivo.

A partir del 2009 se reportó con el uso de biocombustibles una reducción de Gases de Efectos de Invernadero (GEI) del orden de 100,00 millones de toneladas métricas (Sandoval-Guerra, 2019), por lo tanto, la producción de higuierilla bajo condiciones de invernadero se coloca como una opción importante para enfrentar los efectos del cambio climático, pues se asegura un suministro constante de una materia prima con gran potencial para producción de biodiesel.

En la actualidad existen múltiples fuentes alternativas de donde proviene el biodiesel, en particular de tres cultivos: la palma, la soja y la colza, estos tres cultivos proveen el 75% de la oferta mundial de aceite (Vega, 2010). Con los resultados de este trabajo, se pretende posicionar la planta de higuierilla (*Ricinus communis* L.) como una oportunidad de aprovechamiento como materia prima para la producción del biodiesel. El comportamiento del mercado nacional mexicano de importación de aceite de higuierilla durante el período 2011-2015 fue de 2,852 a 3,723 toneladas, que en costos se valoran de los 1.87 hasta 2.78 USD/kg (Montes-Hernández *et al.*, 2018). De este modo, los resultados que se presentan permitirán a los productores facilitar la elección de la variedad de acuerdo con sus necesidades particulares.

6. Conclusiones

Bajo las condiciones de invernadero estudiadas, fue viable el cultivo de las cuatro variedades de higuierilla evaluadas, lo cual permite incrementar las perspectivas de aprovechamiento de este recurso bioenergético. Sin embargo, se presentaron diferentes grados de adaptación de acuerdo con la variedad de la planta. Las variedades de K-855, RC-40 y Guanajuato Oíl requieren de menor cantidad de días para el brote de sus plantas. No obstante, Guanajuato Oíl no supera en crecimiento a las variedades RC-40 y K-855, las cuales presentan la mayor tasa de crecimiento. Mientras que las variedades Criolla y K-855 fueron las que generaron mayor número de semillas, sin embargo, la mayor cantidad en gramos de semillas fue producida por las variedades K-855 y RC-40. Por lo tanto, el cultivo de higuierilla bajo condiciones de invernadero se coloca como una opción para su producción continua y asegurar una fuente renovable de energía.

7. Recomendaciones

Algunas recomendaciones que se pueden hacer de acuerdo con los resultados del trabajo realizado, es contemplar la posibilidad de aumentar la densidad de siembra dentro del invernadero. Al mismo tiempo es importante tener presente cual es el objetivo de la producción de la higuierilla, si el número de semillas a producir, los gramos de semillas por planta obtenidos, o el follaje de la planta; ello permitirá la elección de la variedad ideal para cada caso particular. Además, se debe considerar que los datos podrían ser diferentes en invernaderos automatizados, inclusive podría mejorarse la producción, pues en ellos es posible controlar con mayor exactitud todas las variables involucradas en la producción. El siguiente paso en esta investigación es evaluar el perfil químico del aceite producido por cada variedad evaluada bajo condiciones de invernadero.

8. Agradecimientos

Se hace un amplio agradecimiento a la Organización Campesina Meztly Ollin A.C por brindarnos las variedades de Higuierilla (*Ricinus communis* L.) Criolla, Guanajuato Oíl, RC-40 y K-855, con las cuales se logró realizar el trabajo presentado. También se agradece entrañablemente al Instituto Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán por todas las facilidades prestadas en materiales, instalaciones y recursos económicos que permitieron el desarrollo exitoso del presente proyecto de investigación.

9. Referencias

- Acosta, O. y Chaparro-Giraldo, A. (2009). Biocombustibles, seguridad alimentaria y cultivos transgénicos. *Revista de Salud Pública*, **11**, 290-300.
- Berman, P.; Nizri, S. y Wiesman, Z. 2011. Castor oil biodiesel and its blends as alternative fuel. *Biomass and Bioenergy* **35**(7):2861-2866.
- Vega, O. (2010). Atlas de la Agroenergía y los biocombustibles en las Américas. IICA, Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles. San José, Costa Rica.
- Cabrales, R.A.; Marrugo, J.L. y Plaza, G.A. (2011). Evaluation of seed yield and oil contents in four materials of *Ricinus communis* L. *Agronomía Colombiana*, **29**(1), 43-48. Recuperado el 14 de agosto de 2019 a partir de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652011000100006&lng=en&tlng=en.
- Castiblanco, C. y Etter, A. (2013). Biofuels as a new energy paradigm: The key points of debate after a decade. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, **10**(SPE70), 69-92.
- Ghani, S.; Bakochristou, F.; ElBialy, E.M.A.A.; Gamaledin, S.M.A.; Rashwan, M.M.; Abdelhalim, A.M. y Ismail, S.M. (2019). Design challenges of agricultural greenhouses in hot and arid environments – A review. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, **12**(1), 48-70.
- Ghoulem, M.; El Moueddeb, K.; Nehdi, E.; Boukhanouf, R. y Kaiser Calautit, J. (2019). Greenhouse design and cooling technologies for sustainable food cultivation in hot climates: Review of current practice and future status. *Biosystems Engineering*, **183**, 121-150.
- González-Ávila, A.; García-Mariscal, K.D.L.P.; Hernández-García, M.A.; Rico-Ponce, H.R.; Hernández-Martínez, M.; Solís-Bonilla, J.L. y Zamarripa-Colmenero, A. (2011). Guía para cultivar Higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Jalisco. Folleto técnico Núm. 1. SAGARPA. INIFAP. Jalisco, México. Recuperado el 14 agosto de 2019 a partir de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/3447/3523%20higuierilla.pdf?sequence=1>
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2018). *Sexto Informe de Evaluación sobre el Calentamiento Global*. Incheon, Corea del Sur.

Montes-Hernández, S.; Camarena-Hernández, M.G.; Hernández-Martínez, M. y Medina-Cazares, T. (2018). Producción de semilla de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Guanajuato. Folleto técnico Núm. 10. SAGARPA. INIFAP. Guanajuato, México. Recuperado el 14 agosto de 2019 a partir de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4467/4774%20Producci%C3%B3n%20de%20semilla%20de%20higuierilla%20%28Ricinus%20communis%20L.%29%20en%20Guanajuato.pdf?sequence=1>

Naik, S. N., Saxena, D. K., Dole, B. R., & Khare, S. K. (2018). Chapter 21 - Potential and Perspective of Castor Biorefinery. In T. Bhaskar, A. Pandey, S. V. Mohan, D.-J. Lee & S. K. Khanal (Eds.), *Waste Biorefinery* (pp. 623-656): Elsevier.

Rico-Ponce, H.R.; Tapia-Vargas, L.M.; Teniente-Oviedo, R.; González-Ávila, A.; Hernández-Martínez, M.; Solís-Bonilla, J.L. y Zamarripa-Colmenero, A. (2011). Guía para cultivar higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 1. INIFAP. CIRPAC. Michoacán, México. Recuperado el 14 agosto a partir de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/3452/3556%20Guia%20higuierilla%20Apatzingan%20CIRPAC.pdf?sequence=1>

SAGARPA. (2009). Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico. Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México.

Salinas-Callejas, E. y Gasca-Quezada, V. (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*, **157**, 75-82.

Sandoval-Guerra, M.A. (2019). Evaluación bioeconómica de la producción y consumo de biocombustibles en Guatemala. Tesis de posgrado. Doctorado en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 167 pp. Recuperado el 14 de agosto a partir de http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/2889/1538%20sandoval_m%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zamarripa-Colmenero, A.; Ruíz-Cruz, P.A.; Solís-Bonilla, J.L.; Martínez-Herrera, J.; Olivera de los Santos, A. y Martínez-Valencia, B. (2009). Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L. en el trópico de México. Folleto Técnico Núm. 12. INIFAP. Chiapas, México. Recuperado el 14 de agosto a partir de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3428>

Capítulo IV Investigación en México sobre medicamentos biotecnológicos, ingeniería de tejidos y biosensores para diagnóstico

Chapter IV Research in Mexico regarding to biotechnological drugs, tissue engineering and biosensors for diagnostics

VALLEJO-CARDONA, Alba Adriana†*, OCHOA-RUIZ, Andrea Gabriela y CAMACHO-VILLEGAS, Tanya Amanda

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco

ID 1st Author: *Alba Adriana, Vallejo-Cardona* / **ORC ID:** 0000-0002-4568-3787, **CVU CONACYT ID:** 50109

ID 1st Coauthor: *Andrea Gabriela, Ochoa-Ruiz* / **ORC ID:** 0000-0001-9873-6144, **CVU CONACYT ID:** 601997

ID 2nd Coautor: *Tanya Amanda, Camacho-Villegas* / **ORC ID** - 0000-0002-0540-0287 **CVU CONACYT ID:** 164427

DOI: 10.35429/H.2019.4.50.66

A. Vallejo, A. Ochoa y T. Camacho

avallejo@ciatej.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Díaz, L. Cruz. (Dir.) La ciencia y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2019.

Abstract

Research groups who develop scientific advances in bioinformatics and biotechnological drugs, biomaterials for tissue engineering and diagnostics methods based in nanotechnology already exist in Mexico. This chapter presents basic and introductory aspects of the definitions and outreach of each discipline, as well as an extensive list of the research groups and institutions where pertinent studies are carried out to provide an update about the main focus of each investigation team. The information provided may be useful to create inter and multidisciplinary teams and thereby foster substantial improvements in these research areas. In addition, national regulations required on the field of biotechnological drugs, biomaterials for tissue engineering and diagnostics devices are presented with the objective that related and innovative projects could be taken to the market for the benefit of our society.

Bioinformatics, Biotechnological drugs, Tissue engineering, Diagnostic devices, Innovation, Research lines

1. Introduction

In the 60's and 70's, significant studies started to bloom and sparked new research areas that have now revolutionized the biomedical field, such as, genome sequencing studies which led to the development of biotechnological drugs (Maxson Jones, Ankeny, & Cook-Deegan, 2018); the study of stem cells for regenerative medicine (Anzaldúa Arce et al., 2007); and the research in nanotechnology which gave to biosensors (Qing et al., 2019).

The genome sequence of *C. elegans*, proposed in 1963 by the biologist Sydney Brenner from Cambridge University, began a new biotechnological era, which had another important inflexion point between 1990 and 2003 when the human genome was fully sequenced (Maxson Jones et al., 2018). The Human Genome Project began as a consortium, until 2000 when the Celera Genomics led by Dr. Craig Venter joined the cause (Martínez, 2010). Nevertheless, thanks to the “Bermuda Principles” from 1996 all this information is of public domain (Maxson Jones et al., 2018). Therefore even though Mexico did not participate in the project, important studies have been done in genomic medicine with the information provided by it (Martínez, 2010), for instance, the search for biomarkers for the diagnostic and treatment of multiple diseases (Manzanarez-Ozuna, Flores, Gutiérrez-López, Cervantes, & Juárez, 2018; Weissglas-Volkov et al., 2010).

The information derived from genome sequencing led to great advances in genetic and protein engineering. This gave rise to the development in 1975 of the first biotechnological drugs, which were human recombinant insulin produced in *E.coli* (Vecchio, Tornali, Bragazzi, & Martini, 2018). Biotechnological drugs are now available in the Mexican market, for example Cetuximab® also known as the commercial name Erbitux®. This drug consists of a monoclonal antibody used to treat diverse types of cancer, specially colon, rectum, head and neck (Peralta et al., 2018). There is already regulation for the proper manufacture of both biotechnological drugs (Arriola Peñalosa, 2012) and biocomparable ones (López Silva, 2012).

The design and development of biotechnological drugs have been accomplished as a result of the advance of new disciplines, such as bioinformatics, which has provided tools for both *in silico* analysis of sequencing information and the design of software that allows tridimensional protein analysis (Patel & Panchal, 2014). As for regenerative medicine, an important event occurred in 2006 when Takahashi and Yamanaka discovered that mouse fibroblast cells could return to a pluripotency state, also known as “undifferentiated”, with the introduction of four transcription factors: Oct3/4, Sox2, c-Myc y Klf4 (Takahashi & Yamanaka, 2006). This discovery opened the possibility to create autologous tissues and avoid the rejection of allografts and transplants (Serrato Ochoa, Nieto Aguilar, & Aguilera Méndez, 2015).

Regenerative medicine is comprised of three disciplines: 1) cellular therapy, 2) *in situ* guided regeneration and 3) tissue engineering, which has had a more significant impact in recent years. Tissue engineering consists of the integration of stem cells, biomaterials and transcription factors in a system to mimic tissue and organ function based in similar structures generated *in vitro* (Kim, 2017; Serrato Ochoa et al., 2015).

The FDA has already approved artificial skin and cartilage; however, its application in the clinic is still scarce due to the high cost of treatments. At laboratory scale, arteries, skin grafts, cartilage, bladder and trachea have been implanted. However, more research is needed about the functionality and safety of the implantation of other organs created *in vitro*, such as heart, lung and liver (NIBIB, 2013), in order to fully replace organ donation.

Biosensors and devices to improve disease diagnostics have emerged due to the integration of nanotechnology, microfluidics and diverse signal transduction systems, which employ serum, saliva, blood, among other biological fluids. The main objective is to generate more accessible, sensitive and efficient diagnostic systems (Bhalla, Jolly, Formisano, & Estrela, 2016).

The advances in bioinformatics, tissue engineering and biosensors are gradually changing diagnostics as well as the treatment of diseases. Therefore, this chapter is focused on providing an insight of the most important research being conducted in our country in these fields. Moreover, regulation covering these fields is also discussed. This regulatory information should be considered when developing innovative products in the laboratory which could be translated to the market, thus generating a measurable and transcendental social impact.

2. Biotechnological Drugs

The Mexican General Health Law reformed in 2009 includes as the definition of a biotechnological drug: “any substance that has been produced by molecular biotechnology; which has therapeutic, preventive or rehabilitation effect; that it is presented as pharmaceutical and it is identified by its pharmacological and physical activities, as well as by its chemical and biological properties” (Ley General de Salud, 2018). In other words, a biotechnological drug refers to a drug that is manufactured by a biological culture or live organism, which has been previously manipulated or modified by genetic engineering and biotechnological tools. The most recognized drugs consist of proteins and monoclonal antibodies for diverse therapies, such as recombinant insulin to treat diabetes or antibodies for cancer treatment (Peralta et al., 2018; Vecchio et al., 2018).

Biotechnological drugs, when compared to synthetic drugs created by chemistry, not only differs in the production process, but also the molecules of biotechnological drugs are much bigger and complex (López Silva, 2012). Therefore, quality control of the biotechnological drug production process is extremely important as for instance, changes in the agitation and oxygen transfer could considerably affect the quality of the drug (López Silva, 2012). The general production process consist of: First

- Genetic modification, insertion, depletion and/or duplication of genes in the host cells which could be bacteria or mammalian. These transformed cells constitute the “working bank” and could be denominated as “transformed clones”. Second,
- Obtaining a cell culture of the transformed clones for its growth and metabolite of interest expression derived from the genetic manipulation. The steps for the culture of the transformed clone include:
 1. Fermentation: when the culture is transferred to bioreactors with selective media to preserve gene expression and the expression of the recombinant product. This step includes several upstream sub-steps, as the characterization of the culture in volumes of 1, 5, 10, 20, 200 or 1000 L.
 2. Purification: segregation of the product of interest from the biomass (cells, culture media and residues). Depending on the product characteristics, different methods could be used, such as centrifugation, affinity chromatography, molecular exclusion and ultrafiltration, among others.
 3. Formula development and packaging: refers to treat the product to obtain drug characteristics and can be commercialized, this includes pharmacological formula development, shelf life analysis, etc. (Dr. Ricardo Montenegro, n.d.).

2.1 Human genome data analysis to target new possible drugs

Bioinformatic tools allow proper analysis and design of biotechnological drugs. Due to the advances in human genome sequencing, it is now possible to design new and more specialized pharmaceuticals, including personalized drugs. Further, *in silico* analysis allows one to predict of the tridimensional structure of the new biotechnological drugs.

Genomic Medicine has its origins in human genome sequencing, and consists in the analysis of such information to improve diagnostics and treatments. Even though Mexico did not participate in this project, related studies began in 1994 at the National Autonomous University of Mexico (UNAM, “Universidad Nacional Autónoma de México”) with a university health research program. Afterwards, in 2004, the National Institute of Genomic Medicine (INMEGEN, “Instituto Nacional de Medicina Genómica”) was funded (Martínez, 2010). Nowadays INMEGEN has 20 research lines in genomics applied to different diseases such as cardiovascular, hepatic, metabolic, atopic, autoimmune, psychiatric, neurodegenerative, cancer, bone metabolism, and infectious, among others and even has research lines in nutrigenetics and nutrigenomics. All of these research lines can be seen on their website (www.inmegen.gob.mx).

The Project of Mexican Genomic Diversity carried out by INMEGEN, was the first study in Latin America to analyze the genomic diversity of the population (Silva-Zolezzi et al., 2009). Punctual changes in one nitrogen base in the DNA sequence were analyzed; each of these changes is better known as a single nucleotide polymorphism (SNP). Many SNPs present in a chromosome that are inherited together are called haplotypes. Therefore, the study of these haplotypes in projects, such as the HapMap has been important to correlate these mutational blocks with diseases. The first international HapMap project began by the end of 2002 with samples obtained from individuals in Nigeria, Japan, China and United States and financed by public and private sources from these countries (NIH, 2013). However, as the frequency of the appearance of these haplotypes is different between ethnic groups, it is necessary to know the specific map of the Mexican population (Martínez-levy, Vásquez-medina, & Cruz-fuentes, 2010).

Several research groups and laboratories are dedicated to the analysis of the Mexican genome. One of the most important is LAMPER from the Center for Research and Assistance in Technology and Design of the State of Jalisco, A.C. (CIATEJ, “Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C) and National Council for Science and Technology (CONACYT, “Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología”) (<https://ciatej.mx/servicios-industria/medica-farmaceutica/lamper>), founded in 2006 and dedicated to develop bioinformatics tools, such as the software, SNPclinic, which predicts SNP to develop more efficient pharmaceuticals (Prado Montes de Oca, n.d.). Flores Saiffe Farías and collaborators (2015), proposed an *in silico* method to detect SNPs in functional regulators of antimicrobial peptide genes applied to the analysis on genetic variants in patients with tuberculosis and HIV/AIDS in order to discover new drugs. Genomic data bases such as ENCODE, 1kGP, GXA, among others, were useful to develop an integral analysis and predict the impact of tuberculosis and HIV/AIDS infections in the presence of SNPs in regulators of the promoters of the genes DEFBI and CAMP, which codify for antimicrobial peptides (Flores Saiffe Farías, Jaime Herrera López, Moreno Vázquez, Li, & Prado Montes De Oca, 2015).

2.2 Program design to analyze protein tridimensional structure

The most important data bases are GenBank from the United States, the European Molecular Biology Laboratory (EMBL) and the DNA Data Bank of Japan (DDBJ). In these data bases, information about genetic sequences can be found and homology, protein structure and prediction analysis can be performed. The Protein Data Bank (PDB) from the United States as well as UniProt from Europe are the most complete data bases for protein analysis, since sequences can be found and tridimensional structure simulation can be performed. Dr. Enrique Rudiño from the Biotechnology Institute (IBT) at UNAM has performed important contributions to these data bases with structural biochemistry studies of proteins and enzymes (UNAM, n.d.). Likewise, Dr. Eduardo Arturo Rodríguez Tello from the Center for Research and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute (CINVESTAV, “Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional”) Unit Tamaulipas, uses modern metaheuristic algorithms for protein structural prediction based on the study of hydrophobic forces energy implicated in the folding process (Garza-Fabre, Rodríguez-Tello, & Toscano-Pulido, 2013; Garza-Fabre, Toscano-Pulido, & Rodríguez-Tello, 2015).

Table 3 mentions different research groups focused on bioinformatics applied to biotechnological drugs relating to human health. However, the main research line for these groups is developing identifying biomarkers for the diagnosis of diseases, for example, breast cancer (Manzanarez-Ozuna et al., 2018), diabetes (Mercader et al., 2017) and cardiovascular diseases (Weissglas-Volkov et al., 2010).

Once enough information has been gathered, it is expected that new pharmaceuticals could be designed based on the Mexican human genome. New research about these potential pharmaceuticals or complementing the existing research lines regarding biomarkers is of vital importance.

3. Tissue Engineering

While biotechnological drugs aim to bring molecules to the organism to treat a disease, tissue engineering and regenerative medicine go a step further in trying to replace a damaged tissue or organ to restore its normal function. That is, instead of providing insulin to patients with diabetes type I, nowadays the possibility of regenerating a whole pancreas with β - cells perfectly organized and functional is also explored, and thereby potentially eliminating the life-long administration of insulin to a patient or even decreasing organ donation. Tissue engineering is the next step in cellular culture evolution, as it is not only based in providing the correct culture media, but in integrating a scaffold and microenvironment to modulate a specific cellular response that allows restoration of tissue functionality or complete organs.

Table 4.1 depicts diverse types, sources, advantages and disadvantages of the cells that have been used for tissue engineering research, as the cells are the first basic aspect needed for this discipline. The term “somatic cells” refers to fully differentiated cells with a specific function and lineage; on the other hand “stem cells” refers to cells that have the capacity of regenerating themselves and give rise to different types of cells depending on the microenvironment. Among stem cells, depending on the differentiation capacity, they are distinguished between totipotent, pluripotent and multipotent cells, these last ones have the least differentiation capacity (Kim, 2017). It is worth noting that totipotent stem cells can give rise to a complete embryo or organism, but as they have limited auto renewal capacity and they have been found only at an embryonic stage (Anzaldúa Arce et al., 2007) its use in tissue engineering is limited.

Table 4.1 Types of cells used in Tissue Engineering

Type of cells	Source	Advantages	Disadvantages
Allogenic somatic cells	Donor source: different from receptor	Replace damaged cells from the receptor with healthy cells from the donor.	They can generate immune response, Immunosuppressive drugs are needed, Differentiated cells with low proliferating capacity, Disease transmission risk
Autologous somatic cells	Donor source: the same patient	Rejection is minimized, No need of immunosuppressive drugs	Differentiated cells with low proliferating capacity
Embryonic stem cells	Donor source: embryo	High capacity of regeneration and differentiation (pluripotent), <i>In vitro</i> differentiation into endodermal, ectodermal and mesodermal cells, Embryoids or tridimensional structures formation	Ethical concern associated to embryo destruction, Teratoma risk formation <i>in vivo</i> , Forbidden in many countries
Fetal stem cells	Donor source: amniotic fluid and placenta	Multipotent cells mixture that express embryonic stem cells and adult cells markers, Can be differentiated in many cell lineages, No teratoma risk formation <i>in vivo</i>	Less differentiation capacity than embryonic stem cells (multipotent)
Adult stem cells	Donor source: diverse tissues and organs (spine, adipose tissue, blood, heart, nerve tissue, muscle and urine)	Free of ethical concerns, Transplanted with no risk Easy to obtain as they self-renew during all organism life-span, Differentiation into several type of tissues, Give rise to progenitor cells which are tissue-specific	Less differentiation capacity than embryonic stem cells (multipotent)
Induced Pluripotent Stem Cells (iPS)	Generated by the dedifferentiation process of adult somatic cells through the application of transcription factors	Obtained without embryos need, More differentiation capacity than adult stem cells (pluripotent)	Teratoma risk formation, Incomplete reprogramming risk

Source: Anzaldúa Arce et al., 2007; Kim, 2017; Serrato Ochoa et al., 2015; Takahashi & Yamanaka, 2006

The second essential aspect of tissue engineering is the use of biomaterials as scaffolds for cell proliferation and differentiation. The characteristics of the ideal biomaterial consist of:

1. Ability to integrate to the host tissue without inducing an adverse inflammatory response.
2. Have a porous and tridimensional structure to facilitate cellular migration and induce vascularization.
3. Depending on the case, should be biodegradable to degrade at a controlled rate and induce new tissue formation.
4. Be biocompatible, sterilizable, safe and easy to produce under good manufacture practice.

Depending on the source, biomaterials are classified in synthetic or natural. Among synthetic ones, the most used are polylactic acid (PLA), polyglycolic acid (PGA), poly (lactic-co-glycolic) acid (PLGA) and poly-caprolactone (PCL). The main advantage of these synthetic biomaterials is the ease of manufacture on a large scale with high reproducibility of their physical and chemical properties (Kim, 2017). Furthermore, their degradation rates can be controlled (Lerma et al., 2016). On the other hand, the degradation rate of natural biomaterials is difficult to control, and variations from batch to batch may exist. Nonetheless, because of its natural origin, these biomaterials, such as collagen, gelatin, alginate, fibrin, chitosan and hyaluronic acid, have more biocompatibility, (Kim, 2017; Serrato Ochoa et al., 2015).

Hydrogels are cross-linked structures designed by the mixture of different biomaterials, as for example, natural biomaterials and polyethylene glycol (PEG) which is synthetic. As they can absorb water, hydrogels can provide a microenvironment similar to native tissues. Still, their mechanical properties are weak and degrade at a faster rate (Kim, 2017). Chitosan hydrogels have been developed for diabetic foot treatment by researchers from the Autonomous Mexico State University (UAEM, “Universidad Autónoma del Estado de México”) (Narváez, 2018).

As for cell culture, differences between 3D and 2D cultures have been observed when modulating the cellular response in the presence of growth factors to guide cell differentiation. 3D cultures can create dynamic conditions with the advantage of facilitating industrial scale production, cellular adhesion and interconnection between cells, as compared with static 2D cell cultures with lower differentiation gene expression (Shekaran et al., 2015). To assess a biomaterial’s performance and to determine if it is suitable for tissue engineering, diverse techniques could be applied, as illustrated in table 4.2.

Table 4.2 Techniques to characterize biomaterials used in Tissue Engineering

Technique	Evaluation
Fourier- transformed infrared spectroscopy (FTIR)	Composition
Raman Spectroscopy	Composition
Nuclear Magnetic Resonance (NMR)	Composition
X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)	Composition
Gel Permeation Chromatography	Peso Molecular
Differential scanning calorimetry (DSC)	Thermic properties (fusion temperature, melting temperature)
X-ray Diffraction (XRD)	Microstructure and crystallinity
Scanning electron microscopy (SEM)	Microstructure
Dynamic mechanical analysis (DMA)	Mechanical properties (Young’s modulus, traction resistance)
Thermogravimetric analysis (TGA)	Degradation rate
Alkaline Phosphatase	Osteogenic differentiation
Alizarin Red	Mineralization or calcium deposits in osteogenic differentiation
Alamar Blue	Cell cytotoxicity

Source: Lerma et al., 2016; Zapata-Catzin et al., 2018

3.1 Tissue and organ modeling in Mexico

In 2016 the Mexican Network of Biomaterials and Tissue and Organ Engineering (Red Biot, A.C.) emerged to link pertinent researchers and to impulse the development of this innovative in our country. Dr. Miriam Verónica Flores Merino from the Health Science Research Department of UAEM is the president of Red Biot, A.C. (Narváez, 2018). Researchers from the Yucatan Scientific Research Center (CICY, “Centro de Investigación Científica de Yucatán”), who are part of Red Biot A.C., are developing is a research line focused on biomaterials for regenerative medicine and its application in bone and cardiovascular tissue engineering.

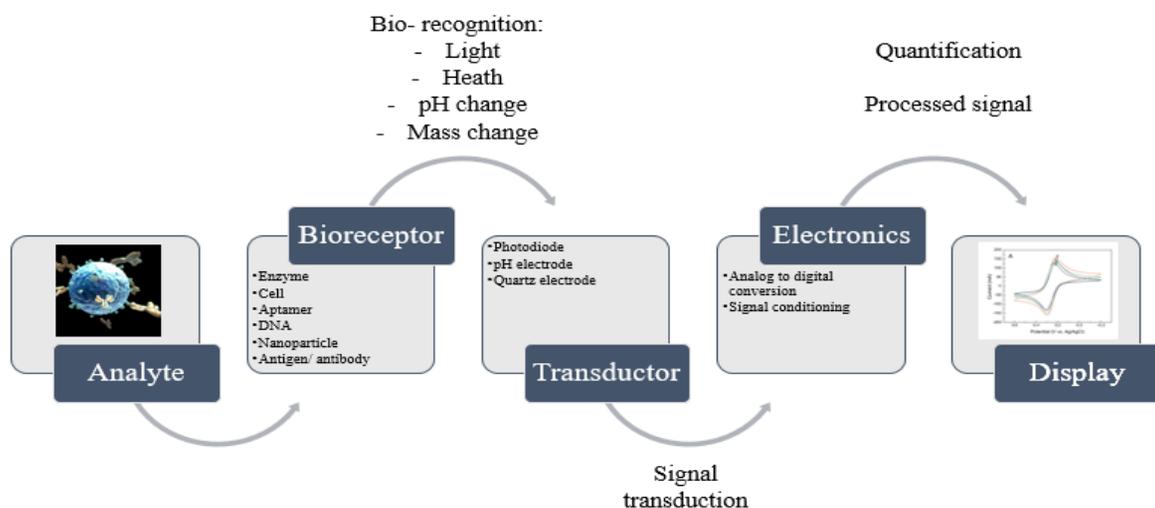
The CICY research group led by Dr. José Manuel Cervantes has developed a segmented polyurethane, which combined with β - glycerol phosphate promotes the adhesion, growth and osteogenic differentiation of human mesenchymal cells. This material is of great interest as the degradation rate can be controlled and has mechanical properties that enhance bone regeneration (Lerma et al., 2016). Another strategy used to minimize the rejection of allogenic transplant is the design of scaffolds with decellularized tissue, which refers to the removal of cellular components to preserve the extracellular matrix and feed it with the host cells. Dr. María Cristina Piña Barba from the Materials Research Institute at UNAM has worked on this strategy since 1996 (DGCS, 2016). Table 4.3 shows the main research lines for bone (Lerma et al., 2016), dental (Castro-Ceseña et al., 2016), cardiac (Zapata-Catzin et al., 2018) and skin tissues to promote wound healing (Rubio-Elizalde et al., 2019). At CIATEJ, a group led by Dr. Hugo Esquivel Solís are working on the research subline “Biomedical engineering of biotechnological drugs and tissue engineering” to develop *in vitro* kidney organoids. Additionally, biosensors and theranostic nanostructures are being developed by the research groups led by Dr. Alba Adriana Vallejo Cardona and Dr. Tanya Amanda Camacho Villegas (authors of this chapter). Also at Monterrey Institute of Technology and Higher Education (ITESM, “Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey”) there exists a research line specialized in corneal tissue engineering.

4. Biosensors

Biosensors are devices capable of transferring a biological event into a quantifiable signal (Zhu, 2017). Therefore, biosensors are formed by three parts. First, by a bioreceptor, which is a molecule that recognizes in a specific fashion the analyte of interest, for instance, the antibodies that target epitopes in a protein; second, by a transducer, which converts the energy of such a recognizing event into a measurable signal; and third, by an electronic component which presents the results to the user (Bhalla et al., 2016; Wongkaew, Simsek, Griesche, & Baeumner, 2018). The most used transducer methods are electrochemical, optical, piezoelectric and magnetic; however, the electrical, electrochemical and optical are faster, and therefore, preferred (Zhu, 2017). Advances in microfluidics have developed the design of “lab-on-a-chip” devices, capable of performing laboratory tasks in miniaturized versions and sometimes fully automated; furthermore, they consume less sample volume, are faster, easy to operate and allow multiple analyte analysis (Costantini et al., 2015). Also they can be more sensitive, selective and can perform real time measurements (Weng, Gaur, & Neethirajan, 2016).

Dr. Alfredo Márquez Lucero from Advanced Materials Research Center (CIMAV, “Centro de Investigación en Materiales Avanzados”) has created electrical “nose” and “tongue” sensors to measure glucose in diabetic patients (CIMAV, n.d.; Santana-Jiménez, Márquez-Lucero, Osuna, Estrada-Moreno, & Dominguez, 2018). Listed on Table 4.3 are several carbon nanomaterial research groups in Mexico for biosensor development.

Figure 4.1 Schematic representation of a biosensor



Source: Bhalla et al., 2016; Liu et al., 2012

An exhaustive research was done to construct Table 4.3, which is a list of institutions and investigation groups related to bioinformatics applied to the development of biotechnological drugs, tissue engineering and biomaterials, and biosensors in each state of Mexico. The majority listed are public research centers. Groups that work in different areas than the ones stated were excluded.

Table 4.3 Centers and research groups focused on Bioinformatics, Tissue Engineering and Biosensors in Mexico

State	University/ Research Center	Sub-Area	Researcher	Investigation Line	Web Page	
Baja California	Ensenada Center for Scientific Research and Higher Education (CICESE, "Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada")	Experimental and Applied Biology Division of Department of Biomedical Innovation	Dr. Alexei Fedorovich Licea Navarro	Omics sciences applied to biomedical and biotechnological development; secondary metabolites and bioactive substances	https://www.cicese.edu.mx/investigacion/personal_academico/1746	
			Dr. Ana Bertha Castro Ceseña	Composites materials developments for therapeutic applications in tissue engineering	https://www.cicese.edu.mx/investigacion/personal_academico/502239	
			Dr. Gerard Jean Fournier Pierrick	Cancer research and treatment; bone pathologies	https://www.cicese.edu.mx/investigacion/personal_academico/3445	
			Dr. Patricia Juárez Camacho	Cancer research and treatment; bone pathologies	https://www.cicese.edu.mx/investigacion/personal_academico/3444	
			Dr. Aldo Moreno Ulloa	Clinic proteomic; biomarkers study for diagnosis and progression of chronic degenerative diseases	https://www.cicese.edu.mx/investigacion/personal_academico/3503	
Coahuila	Center for Research in Applied Chemistry (CIQA, "Centro de Investigación en Química Aplicada")	Advanced Materials	Dr. Antonio Sergio Ledezma Pérez	Biosensors development; antimicrobial biomaterials with application in dentistry; bone tissue engineering	http://192.100.159.111:82/AntonioLedezma.aspx	
			Dr. Ivana Moggio	Optic biosensor development for clinical corporal fluid diagnostic	http://192.100.159.111:82/IvanaMoggio.aspx	
Chihuahua	Advanced Materials Research Center (CIMAV, "Centro de Investigación en Materiales Avanzados")	Department of Engineering and Materials Chemistry / Surface Chemistry Area	Dr. Alfredo Aguilar Eiguézabal	Nanostructured materials; carbon nanotubes, toxicity studies and biomedical applications, artificial photosynthesis	https://cimav.edu.mx/investigacion/ingenieria-y-quimica-de-materiales/quimica-superficies-nanotubos/	
		Department of Materials Engineering and Chemistry / Polymers Area	Dr. Alfredo Márquez Lucero	Nanostructured polymeric sensors: electronic "nose" and "tongue" for glucose measurement in diabetic patients	https://cimav.edu.mx/investigacion/ingenieria-y-quimica-de-materiales/area-de-polimeros-sensores/	
Mexico City (some of the research centers may have campus in Querétaro and Cuernavaca)	National Autonomous University of Mexico (UNAM, "Universidad Nacional Autónoma de México")	Center of Applied Physics and Advanced Technology (CFATA, "Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada")	Dr. Josue David Mota Morales (Nanotechnology Department)	Macro porous polymers and nanocomposites for tissue engineering	http://www.fata.unam.mx/Academicos/DrJosueMota	
			Dr. Domingo Rangel Miranda (Department of Molecular Materials Engineering)	Sensors and biosensors; medical devices innovation	http://www.fata.unam.mx/Academicos/DrDomingoRangel	
			Dr. Eric Mauricio Rivera Muñoz (Nanotechnology Department)	Ceramic biomaterials for bone tissue engineering	http://www.fata.unam.mx/Academicos/DrEricRivera	
		Biotechnology Institute (IBT, "Instituto de Biociencia y Biotecnología")	Molecular Medicine and Bioprocesses	Dr. Baltazar Becerril	Antibodies genes synthesis, expression and characterization related to amyloidosis	http://www.ibt.unam.mx/server/PRG_base?tipo:doc,dir:PRG_grupo,par:Gbb,tit:Grupo_del_Dr._Baltazar_Becerril
				Dr. Martín Gustavo Pedraza	Molecular mechanisms studies which activate and regulate inflammatory processes in central nerve system	http://www.ibt.unam.mx/server/PRG_base?tipo:doc,dir:PRG_grupo,par:Ggp,tit:Grupo_del_Dr._Martin_Gustavo_Pedraza
				Dr. Leonor Pérez	Molecular mechanism which control neuronal differentiation	http://www.ibt.unam.mx/server/PRG_base?tipo:doc,dir:PRG_grupo,par:Glm,tit:Grupo_de_la_Dra._Leonor_Perez
				Dr. Enrique Rudiño	Structural biochemistry of proteins and enzymes. His research group have provided a great number of structures to Protein Data Bank (PDB)	http://www.ibt.unam.mx/server/PRG_base?tipo:doc,dir:PRG_grupo,par:Geu,tit:Grupo_del_Dr._Enrique_Rudiño
		Biomedical Research Institute (IIB, "Instituto de Investigaciones Biomédicas")	Molecular Biology and Biotechnology	Dr. Alejandro Manuel García Carranca	Cervix organoids and oral cavity to study the interaction of VPH and stem cells	https://www.biomedicas.unam.mx/personal-academico/alejandro-manuel-garcia-carranca/
				Dr. Luis Antonio Mendoza Sierra	Modelling and simulation of regulatory networks of biological interest	https://www.biomedicas.unam.mx/personal-academico/luis-antonio-mendoza-sierra/
				Dr. Alejandro Mohar Betancourt	Breast cancer biomarkers	https://www.biomedicas.unam.mx/personal-academico/alejandro-mohar-betancourt/
IIB/ Genomic Medicine		Dr. Alejandro Zentella Dehesa	Proteomics applied to the search of breast cancer biomarkers	https://www.biomedicas.unam.mx/personal-academico/alejandro-zentella-dehesa/		
		Dr. María Eugenia Gonsebatt Bonaparte	Catechol route genes polymorphism involved in estrogen metabolism and its possible relationship with breast cancer	https://www.biomedicas.unam.mx/personal-academico/maria-eugenia-gonsebatt-bonaparte/		

			Dr. María Teresa Tusié Luna	Human genomics: genes search involved in diabetes development and other dyslipidemias related to cardiovascular risk in Mexican population	https://www.biomedicas.unam.mx/personal-academico/maria-teresa-tusie-luna/
		Materials Research Institute (IIM, "Instituto de Investigaciones en Materiales")	Dr. María Cristina Piña Barba	Biomaterials and tissue engineering	http://www.iim.unam.mx/index.php/investigacion/lineas-de-investigacion
	National Institute of Genomic Medicine (INMEGEN, "Instituto Nacional de Medicina Genómica")		Dr. Carmen Alaez Verson	Genómica del cáncer, diagnóstico de enfermedades hereditarias	https://www.inmegen.gob.mx/investigacion/investigadores/curriculum-vitae/?perfil=3186
			Dr. Bárbara Patricia Antuna Puente	Cardiovascular diseases genomics, VIH genomics among other projects related to metabolic diseases	https://www.inmegen.gob.mx/investigacion/investigadores/curriculum-vitae/?perfil=939
			Dr. Jaime Arellanes Robledo	Hepatic diseases genomics: alcoholic hepatic diseases and hepatocellular carcinoma	https://www.inmegen.gob.mx/investigacion/investigadores/curriculum-vitae/?perfil=3428
			Dr. Selma Eréndira Avendaño Vazquez	Psychiatric and neurodegenerative diseases genomics	https://www.inmegen.gob.mx/investigacion/investigadores/curriculum-vitae/?perfil=3423
			Dr. Samuel Canizales Quinteros	Metabolic diseases and intestinal microbiota genomics; native populations genomics	https://www.inmegen.gob.mx/investigacion/investigadores/curriculum-vitae/?perfil=2147
			MSc. Karol Carrillo Sánchez	Hereditary diseases genomic diagnostic	https://www.inmegen.gob.mx/investigacion/investigadores/curriculum-vitae/?perfil=9
			Dr. Gisela Ceballos Cancino	Functional genomics: signaling route characterization for he diagnostics, prognostics and/or treatment of cancer	https://www.inmegen.gob.mx/investigacion/investigadores/curriculum-vitae/?perfil=216
			Dr. Cecilia Contreras Cubas	Autoimmune diseases genomics (systemic lupus erythematosus), metabolic diseases (diabetes type 2) and microbiome	https://www.inmegen.gob.mx/investigacion/investigadores/curriculum-vitae/?perfil=2515
			Dr. Armando Cruz Rangel	Protein bio-physic-structural generation, production and characterization and its relevance in cancer, influenza, diabetes and autoimmune diseases	https://www.inmegen.gob.mx/investigacion/investigadores/curriculum-vitae/?perfil=3082
			Dr. Mirelle Vanessa González Covarrubias	Mexican patients pharmacogenetics	https://www.inmegen.gob.mx/investigacion/investigadores/curriculum-vitae/?perfil=2429
			Dr. Rafael Velázquez Cruz	Support tools in osteosarcoma and osteoporosis diagnostics	https://www.inmegen.gob.mx/investigacion/investigadores/curriculum-vitae/?perfil=36
Mexico City	National Institute of Rehabilitation (INR, "Instituto Nacional de Rehabilitación")	Tissue Engineering, Cell and Regenerative Medicine Unit	MSc. Valentín Martínez López	Production of new musculoskeletal tissue and skin for reconstructive surgery, transplant of tissues and bio-compatible structures generated <i>in vitro</i>	https://www.inr.gob.mx/i20.html
Guanajuato	Center for Research and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute (CINVESTAV, "Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional")	Irapuato Unit/ Genetic Engineering	Dr. Miguel Ángel Gómez Lim	Biopharmaceuticals production in plants	https://www.cinvestav.mx/Portals/0/sitesdocs/investigacion/UnidadIrapuatoIngenieriaGenetica.pdf
Guerrero	Guerrero Scientific and Technological Research Center (CICTEG, "Centro de Investigación Científica y Tecnológica de Guerrero")	Red Biotechnology	Dr. Beatriz Mónica Pérez Ibarra	Genetic engineering to heal or prevent certain diseases through the introduction of genetic material into human cells	http://www.cicteg.org.mx/en/areas-investigacion/biociencia/biociencia-de-investigacion/biociencia.html
Jalisco	Center for Research and Assistance in Technology and Design of the State of Jalisco (CIATEJ, "Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C.")	Medical and Pharmaceutical Biotechnology	Dr. Alba Adriana Vallejo Cardona	Biomedical engineering and biosensors, Surface modification with lipids and/or proteins through chemical and electrochemical reactions	https://ciatej.mx/investigacion/investigador/alba-adriana-vallejo-cardona-dra
			Dr. Emmanuel Díaz	Cellular reprogramming mechanisms, stem cells and gene editing through CRISPR/Cas	https://ciatej.mx/investigacion/investigador/emmanuel-diaz-dr
			Dr. Hugo Esquivel Solís	Kidney human organoids development <i>in vitro</i>	https://ciatej.mx/investigacion/investigador/hugo-esquivel-solis-dr
			Dr. Pavel Hayl Lugo Fabres	Biomedical engineering of biotechnological drugs and tissue engineering	https://ciatej.mx/investigacion/investigador/pavel-hayl-lugo-fabres-dr
			Dr. Ernesto Prado Montes de Oca	National Laboratory of Personalized Medicine (LAMPER, "Laboratorio Nacional de Medicina Personalizada"); software development and preventive medicine	https://ciatej.mx/investigacion/investigador/ernesto-prado-montes-de-ocadr

			Dr. Tanya Amanda Camacho Villegas	vNAR antibodies development and its application in POC biosensors	https://ciatej.mx/investigacion/investigador/tanya-amanda-camacho-villegas-dra
	Center for Research and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute (CINVESTAV, "Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional")	Guadalajara Unit	Dr. Antonio Ramírez Treviño	Electro mechanic microsystems (MEMS) applied to glucometers and BioMems	https://www.cinvestav.mx/Portals/0/sites/docs/investigacion/UnidadGuadalajara.pdf
	Guadalajara University (UdG, "Universidad de Guadalajara")	University Center of Exact Sciences and Engineering (CUCEI, "Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías")	Dr. Agustín Martínez Ruvalcaba	Biomaterials development	http://www.udg.mx/es/investigacion/directorio/agust-n-mart-nez-ruvalcaba
			Dr. Alejandro González Álvarez	Hydrogels synthesis and characterization	http://www.udg.mx/es/investigacion/directorio/alejandro-gonz-lez-lvarez
Morelos	Morelos Autonomous University (UAEM, "Universidad Autónoma del Estado de Morelos")	Biotechnology Research Center (CEIB, "Centro de Investigación en Biotecnología")	Dr. Elba Cristina Villegas Villarreal	Structure- function laboratory and protein engineering; bioinformatics, modelling and protein dynamics	https://www.uaem.mx/ceib/efipro.html
		Research Center in Cellular Dynamics (CIDC, "Centro de Investigación en Dinámica Celular")	Dr. Rodrigo Said Razo Hernández	Biophysics: in silico design of inhibitors for chronic degenerative diseases treatment	http://www.cidc.uaem.mx/rodrigo-said-razo-h/
Nuevo León	Autonomous University of Nuevo León (UANL, "Universidad Autónoma de Nuevo León")	Faculty of Dentistry	Dr. Casiano del Ángel Mosqueda	Tissue engineering with dental stem cells for disease treatment	https://www.uanl.mx/investigadores/casiano-del-angel-mosqueda/
		Faculty of Chemical Sciences	Dr. Isaías Balderas Rentería	Genetic polymorphism evaluation associated to hypertension, diabetes and obesity. Recombinant protein heterologous expression for biopharmaceuticals	https://www.uanl.mx/investigadores/isaias-balderas-renteria/
	Monterrey Institute of Technology and Higher Education (ITESM, "Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey")	School of Medicine	Dr. Marco Antonio Rito Palomares	Bioengineering and regenerative medicine applied to: amyotrophic lateral sclerosis; Parkinson; metabolic syndrome; diabetes; sciatica; urinary tract disorders; lung fibrosis	https://tec.mx/es/investigacion/donde-se-realiza-la-investigacion/bioingenieria-y-medicina-regenerativa
			Dr. Arturo Santos García	Devices development for metabolic diseases treatment	https://tec.mx/es/investigacion/donde-se-realiza-la-investigacion/enfermedades-metabolicas
			Dr. Jorge Eugenio Valdez García	Tissue engineering applied to corneal tissue	https://tec.mx/es/investigacion/donde-se-realiza-la-investigacion/terapias-innovadoras-en-ciencias-visuales
		School of Engineering and Sciences	Dr. Mario Moisés Álvarez	Biomedical engineering: organ-on-a-chip systems and biomaterial engineering	https://tec.mx/es/investigacion/donde-se-realiza-la-investigacion/ingenieria-biomedica
		Dr. Sergio Omar Ramírez Chapa	Nano-sensors and devices: micro/nano carbon sensors	https://tec.mx/es/investigacion/donde-se-realiza-la-investigacion/sensores-y-dispositivos	
Querétaro	Center for Research and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute (CINVESTAV, "Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional")	Querétaro Unit	Dr. Gabriel Luna Bárcenas	Biomaterials for biomedical applications	https://www.cinvestav.mx/Portals/0/sites/docs/investigacion/UnidadQuerétaro.pdf
San Luis Potosí	Potosine Institute of Scientific and Technological Research (IPICYT, "Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A. C.")	Division of Molecular Biology/ Differentiation	Dr. Antonio de León Rodríguez	Production of therapeutic proteins in bioreactor and vaccines through synthetic genes. Tissue engineering.	https://www.ipicyt.edu.mx/curricular/AntonioDeLe%C3%B3nRodr%C3%ADguez
		Division of Molecular Biology/ Therapeutic and prophylactic proteins encoded by synthetic genes	Dr. Samuel Lara González	Protein and enzymes structure-function characterization. For instance enzymes involved in the mobilization and storage of lipids in adipocytes	https://www.ipicyt.edu.mx/curricular/SamuelLaraGonz%C3%A1lez
Tamaulipas	Center for Research and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute (CINVESTAV, "Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional")	Tamaulipas Unit	Dr. Eduardo Arturo Rodríguez Tello	Modern metaheuristic algorithms development for practical resolution of problems in bioinformatics	https://www.cinvestav.mx/Portals/0/sites/docs/investigacion/UnidadTamaulipas.pdf
Yucatán	Center for Research and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute (CINVESTAV,	Mérida Unit/ Applied Physics	Dr. Juan José Alvarado Gil	Optic and photothermic spectroscopy, intelligent materials and nanomaterials in liquid, semisolid and solid matrices	https://www.cinvestav.mx/Portals/0/sites/docs/investigacion/UnidadMeridaFisicaAplicada.pdf

"Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional")			Dr. José Antonio Azamar Barrios	Carbon nanomaterials synthesis and characterization	https://www.cinvestav.mx/Portals/0/sites/default/files/2016/07/20160720_01.pdf
			Dr. José Pascual Bartolo Pérez	Solid materials characterization with electronic spectroscopies: AES, XPS, SEM y EDAX	https://www.cinvestav.mx/Portals/0/sites/default/files/2016/07/20160720_02.pdf
Yucatan Scientific Research Center (CICY, "Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.")	Materials for Regenerative Medicine	for	Dr. Juan Valerio Cauich Rodríguez	Biomaterials for blood vessels regeneration	https://www.cicy.mx/unidad-de-materiales/investigador/juan-valerio-cauich-rodriguez
			Dr. José Manuel Cervantes UC	Peripheral nerve system tissue engineering	https://www.cicy.mx/unidad-de-materiales/investigador/jose-manuel-cervantes-uc
			Dr. Fernando Hernández Sánchez	Scaffolds for cardiac, skin and urethra tissue	https://www.cicy.mx/unidad-de-materiales/investigador/fernando-hernandez-sanchez
			Dr. Nayeli Rodríguez Fuentes	Mechanotransduction and its impact in tissue regeneration activated by biomaterials	https://www.cicy.mx/unidad-de-materiales/investigador/nayeli-rodriguez-fuentes

5. Regulatory Aspects

5.1 Biotechnological Drugs

The Health Secretary ("Secretaría de Salud") is the major authority that regulates all affairs related to drugs, treatments and health in Mexico. The General Health Law ("Ley General de Salud") was reformed in 2009 to include definition of "biotechnological drugs". The Mexican Official Emergency Norm NOM-EM-001-SSA1-2012 "Biotechnological drugs and biopharmaceuticals" establishes not only the guidelines for good manufacture practice, but also the technical and scientific characteristics that they have to fulfill in order to secure their safety, efficacy and quality. Furthermore, it also mentions aspects related to labeling, biocomparability and pharmacovigilance (Arriola Peñalosa, 2012).

Afterwards, in 2014 the Mexican Official Norm NOM-257-SSA1-2014 "Biotechnological drugs" was published to substitute the emergency norm of 2012 and the access to more advanced biotechnological drugs was reinforced when more rules were published in Federation Official Report (DOF).

Likewise, the Federal Commission for Protection Against Health Risks (COFEPRIS, "Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios") through its state commissions, is the organization in charge of the sanitary regulations (legal dispositions), sanitary control (actions for sampling, inspections and sanctions) and sanitary promotion (continuous improvement) of the products, procedures, methods, establishments and services related to health supplies (Hernández Trejo, 2015).

To register and commercialize a new "biotechnological drug" a technical evaluation of both the Subcommittee for the Evaluation of Biotechnological Products (SEPB, "Subcomité de Evaluación de Productos Biotecnológicos") and the New Molecules Committee (CMN, "Comité de Moléculas Nuevas") must be conducted. The safety and efficacy have to be evaluated in pre-clinical and clinical studies, as well as quality assurance in the manufacture process. Additionally it is important to create a "Risk Management Plan" for pharmacovigilance and protect the industrial property (Hernández Trejo, 2015).

Among the legal framework it is important to distinguish between an "innovative biotechnological drug" and a "biocomparable biotechnological drug". To develop an "innovative biotechnological drug", a large investment of time and resources is necessary to bring it to market and therefore it is protected by a patent. Nonetheless, once the patent has expired, other enterprises different from the owners of the patent, can request permission to manufacture and commercialize such a drug under the denomination of "biocomparable". In the case of these "biocomparable biotechnological drugs" expenses in research and development are not likely necessary, thus, these drugs can be commercialized at a lower price. Furthermore, once these biocomparables are recognized as "bioequivalent", meaning that they have the same efficacy and safety level as the "reference innovative drugs", clinical trials may not be needed (López Silva, 2012).

Until 2012, approximately 180 biotechnological drugs were approved in Mexico (López Silva, 2012); Mentioned in Table 4.4 are some examples of biocomparable biotechnological drugs.

Table 4.4 Biocomparable Biotechnological Drugs approved by COFEPRIS at 2017

Generic Denomination	Distinctive Denomination	Sanitary Registry	Owner	Therapeutic Indication
Filgrastim	ZARZIO	395M2014 SSA	Sandoz, S.A. de C.V.	Neutropenia
Filgrastim	FILATIL	101M2001 SSA	Probiomed S.A. de C.V.	Neutropenia, myeloid leukemia
Alfa Folitropine	CORNEUMON	081M2017 SSA	Corne Laboratories, S.A. de C.V.	Ovary function stimulant
Infliximab	REMSIMA	398M2014 SSA	Celltrion Incorporated	Rheumatoid arthritis; ankylosing spondylitis; psoriatic arthritis; psoriasis; fistulizing Crohn's disease and ulcerative colitis
Interferon alfa 2b	URIFRON	458M97 SSA	Probiomed S.A. de C.V.	Antiviral
Interferon beta 1b	URIBETA	529M2001 SSA	Probiomed, S.A. de C.V.	Multiple sclerosis
Interferon beta 1b	ARABINEV	313M2017 SSA	Pisa Laboratories S.A. de C.V.	Multiple sclerosis
Insulin glargine	GALACTUS	091M2015 SSA	Pisa Laboratories S.A. de C.V.	Diabetes Mellitus type 1 and type 2
Insulin glargine	ABASAGLAR	352M2015 SSA	Eli Lilly and Mexico Company S.A. de C.V.	Diabetes Mellitus type 1 and type 2
Insulin glargine	VALVEY	078M2017 SSA	Wockhardt Limited	Diabetes Mellitus type 1 and type 2
Rituximab	RIGETUXER	301M2017 SSA	Pisa Laboratories S.A. de C.V.	Low grade non-Hodgkin lymphoma, granulomatosis with Wegener polyangiitis, microscopic polyangiitis
Somatropin	OMNITROPE	084M2010 SSA	Sandoz, S.A. de C.V.	Disorder due to inadequate secretion of endogenous growth hormone. Deficient growth associated with chronic renal failure or with Turner syndrome.

Source: Comision de autorizacion sanitaria, 2018

5.2 Tissue Engineering

As tissue engineering research is still in the development phase, there is not specific regulation in Mexico related to this field; therefore the cellular components are regulated in one legislation and biomaterials in another. Cell therapy enterprises, who inject adult or fetal stem cells, are governed by the General Health Law of Transplants (SEGOB, 2014). On the other hand, biomaterials or hydrogels which are used for wound healing, are considered “medical devices” because they are in direct contact with the organism.

Prostheses, orthoses and functional aids are regulated by Mexican Official Norm NOM-241-SSA1-2012, “Good manufacture practices for the establishments dedicated to the production of medical devices”, where they are defined as “those devices destined to substitute or complement a function, organ or tissue in the human body”. However, these existing norms will need to be updated in the future to include, in a comprehensive way, tissue engineering developments with biomaterials, cells and transcription factors in the same device.

5.3 Biosensors

Medical devices are classified as: medical equipment; prostheses, orthoses and functional aids; diagnostic agents; dentistry supplies; surgical and healing materials; and hygienic products. Furthermore, they are classified according to risk (type I, II and III), for where it is determined what devices are considered low risk and may not need a Sanitary Registry (Ruiz Noria, 2017).

One should consult the stipulations and updates listed on COFEPRIS webpage (<https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/registro-de-dispositivos-medicos-nuevos>), as well as the Health Supplies Regulation. However, the following four documents must be obtained according to an interview with COFEPRIS staff in ExpoDicLab in September 26, 2018:

1. Operating notice: is free and can be obtained immediately. There are two types of registry: commercialization registry (the one that requests the notice does not manufacture the product) or manufacture registry (the person that requests, manufactures and commercializes the product). It has to be determined the “sanitary responsible”, as well as other aspects.
2. Good manufacture practices: this certification is free if the factory is inside the Federal District, if not, traveling expenses of the reviewing official to the factory must be covered. It can be obtained in 20 labor days (week days, not including holidays) and certifies the factory where the product is manufacture. It has to satisfy Mexican Official Norm NOM-241-SSA1-2012, “Good manufacture practices for establishments dedicated to the production of medical devices”. COFEPRIS verifies the facilities and procedures. A complete production run has to be shown.
3. Sanitary Registry: has a cost of \$10,000 to \$25,000 and it expires within 5 years, as long as no changes are done to the brand or type of registry (manufacture or commerce). At least 150 days before its renewal, a Technovigilance report has to be presented. To apply for this registry the applicant must show the following:
 - a) Specify the type of device
 - b) Specify the category and classification
 - c) Demonstrate its safety and efficacy.
4. Technovigilance: is free and can be obtained in 60 labor days. The responsible individual of the factory has to be defined (the person in charge of answering to adverse incidents) and where the factory is located.

6. Conclusions

Research in bioinformatics applied to biotechnological drugs, tissue engineering and biosensors is being carried out in Mexico, however, economic resources are needed in order to continue it innovation and perform preclinical and clinical trials. Moreover, updated and specific regulation is needed to achieve commercial applications.

Programs that encourage industry with scientific research relationship would be a way to impulse new developments as well as propel existing developments to clinical trials. The creation of collaborations with international institutions to foment the interchange of knowledge, as for example the ones created by the Higher Council of Scientific Research (CSIC, “Consejo Superior de Investigación Científica”) in Spain, can drive scientific progress in developing countries. At CSIC, there are grants for clinical trials as for example, the one given to the Institute of Sanitary Research in La Fe in Valencia (<https://www.iislafe.es/es/investigacion/convocatorias/12/convocatoria-de-ayudas-economicas-para-el-desarrollo-de-ensayos-clinicos>). Another example is the Higher Council for Science and Technology (HCST) in Jordan offers a grant inviting industry to invest in science and technology projects with the objective of increasing their competitiveness (<http://www.hcst.gov.jo/en/node/154>). In Mexico exists a great opportunity to guarantee the support and success of both, research projects and scientific innovations, that can bring together government, industry, biotechnological companies and community.

While constructing Table 4.3, it was found the diversity and large amount of areas that converge for biotechnological drugs, tissue engineering and biosensors development. We have listed on table 4.3 examples of research groups and departments that are focused on applying the mentioned disciplines solely in the medical area. As every day novel techniques and applications are described in these areas, it is needed to reinforce the inter and multidisciplinary work between these fields and medical research, thus, capitalizing the sum of efforts, capacities, abilities, knowledge, innovation and infrastructure, which would generate greater success of products developed in Mexican research laboratories in our country and in the world. Furthermore, the legal framework for biotechnological drugs in Mexico is at the forefront compared with other countries in Latin America. Yet it is necessary to continue updating the norms to correspond to scientific discoveries and developments.

The most important capital that a country can have is human resources. In 2016, the reported number of researchers in Mexico by the National System of Researchers (SNI) was 25,072 (Rodríguez, 2016); if it is considered that in 2016 there were 127.5 million people in our country, this number barely represents 0.02% of the population. This shows that high quality human capital exists in Mexico and we should continue to focus not only on increasing these percentage, but to promote international knowledge exchange and collaboration among researchers. Therefore, it is necessary to provide the economic and infrastructure support to keep our research at the international leading edge, and most importantly, allowing the opportunity of these developments to have a positive impact on the health and well-being of our community.

7. Acknowledgment

Special thanks to Ean Hundley of the U.S. Peace Corps for his special contribution in editing this work.

8. References

Anzaldúa Arce, S. R., Juárez Mosqueda, M. de L., Villaseñor Gaona, H., Ríos Mas, M. C., Cornejo Cortés, M. Á., & Meraz Ríos, M. A. (2007). ¿Qué son las células troncales o “células madre”? *Veterinaria Mexico*, 38(1), 81–104.

Arriola Peñalosa, M. A. Medicamentos biotecnológicos y sus biofármacos (2012). México. Retrieved from https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5269530

Bhalla, N., Jolly, P., Formisano, N., & Estrela, P. (2016). Introduction to Biosensors. *Essays in Biochemistry*, (June), 1–8. <https://doi.org/10.1042/EBC20150001>

Castro-Ceseña, A. B., Camacho-Villegas, T. A., Lugo-Fabres, P. H., Novitskaya, E. E., McKittrick, J., & Licea-Navarro, A. (2016). Effect of starch on the mechanical and in vitro properties of collagen-hydroxyapatite sponges for applications in dentistry. *Carbohydrate Polymers*, 148, 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.056>

CIMAV. (n.d.). Sensores Poliméricos Nanoestructurados. Retrieved from <https://cimav.edu.mx/investigacion/ingenieria-y-quimica-de-materiales/area-de-polimeros-sensores/>

Comision de autorizacion sanitaria. (2018). Listado de medicamentos biotecnológicos biocomparables, 2017–2018.

Costantini, F., Sberna, C., Petrucci, G., Manetti, C., de Cesare, G., Nascetti, A., & Caputo, D. (2015). Lab-on-chip system combining a microfluidic-ELISA with an array of amorphous silicon photosensors for the detection of celiac disease epitopes. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 6, 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2015.11.003>

DGCS. (2016). Descelularizan en la UNAM tejidos y órganos vitales. Retrieved from http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2016_576.html

Dr. Ricardo Montenegro. (n.d.). Innovación para el futuro ¿Qué es un medicamento biotecnológico? Comunicado de Prensa Roche. Retrieved from [http://www.roche-cac.com/content/dam/roche_cac/es_CR/documents/Medicamentos Biotecnológicos.pdf](http://www.roche-cac.com/content/dam/roche_cac/es_CR/documents/Medicamentos%20Biotecnologicos.pdf)

Flores Saiffé Farías, A., Jaime Herrera López, E., Moreno Vázquez, C. J., Li, W., & Prado Montes De Oca, E. (2015). Predicting functional regulatory SNPs in the human antimicrobial peptide genes DEFB1 and CAMP in tuberculosis and HIV/AIDS. *Computational Biology and Chemistry*, 59, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2015.09.002>

Garza-Fabre, M., Rodriguez-Tello, E., & Toscano-Pulido, G. (2013). Comparative analysis of different evaluation functions for protein structure prediction under the HP model. *Journal of Computer Science and Technology*, 28(5), 868–889. <https://doi.org/10.1007/s11390-013-1384-7>

- Garza-Fabre, M., Toscano-Pulido, G., & Rodríguez-Tello, E. (2015). Multi-objectivization, fitness landscape transformation and search performance: A case of study on the hp model for protein structure prediction. *European Journal of Operational Research*, 243(2), 405–422. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.06.009>
- Hernández Trejo, A. (2015). Regulación de Medicamentos Biotecnológicos en México. COFEPRIS.
- Kim, B. W. (2017). Clinical regenerative medicine in urology. *Clinical Regenerative Medicine in Urology*. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-2723-9>
- Lerma, C.-C., Taylor, K., Amy, C., Rossana, V.-C., Maricela, R.-S., José, C.-U., ... Juan, C.-R. (2016). Human mesenchymal stem cell behavior on segmented polyurethanes prepared with dexamethasone and beta-glycerol phosphate. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 4(2), 1–22. <https://doi.org/10.3389/conf.fbioe.2016.01.02437>
- Ley General de Salud (2018). Estados Unidos Mexicanos. Retrieved from http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/142_241218.pdf
- Liu, Y., Liu, Y., Feng, H., Wu, Y., Joshi, L., Zeng, X., & Li, J. (2012). Layer-by-layer assembly of chemical reduced graphene and carbon nanotubes for sensitive electrochemical immunoassay. *Biosensors and Bioelectronics*, 35(1), 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2012.02.007>
- López Silva, C. (2012). México retoma un liderazgo regulatorio sobre medicamentos biotecnológicos y biocomparables Salud y derecho correspondencia. *Gaceta Médica de México*, 148, 83–90. Retrieved from https://www.anmm.org.mx/GMM/2012/n1/GMM_148_2012_1_083-090.pdf
- Manzanarez-Ozuna, E., Flores, D. L., Gutiérrez-López, E., Cervantes, D., & Juárez, P. (2018). Model based on GA and DNN for prediction of mRNA-Smad7 expression regulated by miRNAs in breast cancer. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 15(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12976-018-0095-8>
- Martínez-levy, G. A., Vásquez-medina, J. A., & Cruz-fuentes, C. S. (2010). Implicaciones y perspectivas para la investigación en psiquiatría genética en México. *Salud Mental*, 33(3), 273–280.
- Martínez, L. M. (2010). Proyecto Genoma Humano y medicina genómica en México: su efecto en instituciones y organismos, en lo político y en la sociedad. *Revista Casa Del Tiempo*, 11(35), 29–33.
- Maxson Jones, K., Ankeny, R. A., & Cook-Deegan, R. (2018). The Bermuda Triangle: The Pragmatics, Policies, and Principles for Data Sharing in the History of the Human Genome Project. *Journal of the History of Biology*, 51(4), 693–805. <https://doi.org/10.1007/s10739-018-9538-7>
- Mercader, J. M., Liao, R. G., Bell, A. D., Dymek, Z., Estrada, K., Tukiainen, T., ... Florez, J. C. (2017). A Loss-of-Function Splice Acceptor Variant in IGF2 Is Protective for Type 2 Diabetes. *Diabetes*, 66(11), 2903–2914. <https://doi.org/10.2337/db17-0187>
- Narváez, M. (2018). Red Biot, Ingeniería de Tejidos y órganos. Retrieved from <http://cienciamx.com/index.php/tecnologia/materiales/24769-red-biot-organos-tejidos>
- NIBIB. (2013). Ingeniería de Tejidos y Medicina Regenerativa. Instituto Nacional de Bioingeniería e Imágenes Biomédicas. Retrieved from [https://www.nibib.nih.gov/sites/default/files/Ingeniería de Tejidos y Medicina Regenerativa_0.pdf](https://www.nibib.nih.gov/sites/default/files/Ingeniería%20de%20Tejidos%20y%20Medicina%20Regenerativa_0.pdf)
- NIH. (2013). 2002: The International HapMap Project is announced. Retrieved from <https://www.genome.gov/25520489/online-education-kit-2002-the-international-hapmap-project-is-announced>
- Patel, P., & Panchal, H. (2014). In silico structure modeling and comparative analysis of characterization properties of protein polymers useful for protein-based nano particulate drug delivery systems (NPDDS): A bioinformatics approach. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 20(1), 103–108. <https://doi.org/10.1007/s10989-013-9369-5>

- Peralta, R., Garcia, P., Valdivia, A., Lopez, A., Apresa, T., Hernandez, D. M., ... Salcedo, M. (2018). HPV Could be a Potential Factor of Survival in Laryngeal Cancer: a Preliminary Study in Mexican Patients. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention: APJCP*, 19(6), 1711–1716. <https://doi.org/10.22034/APJCP.2018.19.6.1711>
- Prado Montes de Oca, E. (n.d.). Lamper. Retrieved from <https://ciatej.mx/servicios-industria/medica-farmaceutica/lamper>
- Qing, Z., Bai, A., Xing, S., Zou, Z., He, X., & Wang, K. (2019). Biosensors and Bioelectronics Progress in biosensor based on DNA-templated copper nanoparticles. *Biosensors and Bioelectronic*, 137(May), 96–109. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.05.014>
- Rodríguez, C. E. (2016). El Sistema Nacional de Investigadores en números, 32. Retrieved from http://www.foroconsultivo.org.mx/FCCyT/sites/default/files/SNI_en_numeros.pdf
- Rubio-Elizalde, I., Bernáldez-Sarabia, J., Moreno-Ulloa, A., Vilanova, C., Juárez, P., Licea-Navarro, A., & Castro-Ceseña, A. B. (2019). Scaffolds based on alginate-PEG methyl ether methacrylate-Moringa oleifera-Aloe vera for wound healing applications. *Carbohydrate Polymers*, 206(3918), 455–467. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.027>
- Ruiz Noria, K. L. (2017). Marco regulatorio para el desarrollo de dispositivos médicos. COFEPRIS. Santana-Jiménez, L. A., Márquez-Lucero, A., Osuna, V., Estrada-Moreno, I., & Dominguez, R. B. (2018). Naked-eye detection of glucose in saliva with bienzymatic paper-based sensor. *Sensors (Switzerland)*, 18(4), 1–12. <https://doi.org/10.3390/s18041071>
- SEGOB. Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Trasplantes (2014). México. Retrieved from http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5338349&fecha=26/03/2014
- Serrato Ochoa, D., Nieto Aguilar, R., & Aguilera Méndez, A. (2015). Ingeniería de Tejidos. Una nueva disciplina en medicina regenerativa. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (64), 61–69.
- Shekaran, A., Sim, E., Tan, K. Y., Chan, J. K. Y., Choolani, M., Reuveny, S., & Oh, S. (2015). Enhanced in vitro osteogenic differentiation of human fetal MSCs attached to 3D microcarriers versus harvested from 2D monolayers. *BMC Biotechnology*, 15(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12896-015-0219-8>
- Silva-Zolezzi, I., Hidalgo-Miranda, A., Estrada-Gil, J., Fernandez-Lopez, J. C., Uribe-Figueroa, L., Contreras, A., ... Jimenez-Sanchez, G. (2009). Analysis of genomic diversity in Mexican Mestizo populations to develop genomic medicine in Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(21), 8611–8616. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903045106>
- Takahashi, K., & Yamanaka, S. (2006). Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors. *Cell*, 126(4), 663–676. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.07.024>
- UNAM. (n.d.). Grupo del Dr. Enrique Rudiño. Retrieved from http://www.ibt.unam.mx/server/PRG.base?tipo:doc,dir:PRG.grupo,par:Geu,tit:Grupo_del_Dr._Enrique_Rudi%F1o
- Vecchio, I., Tornali, C., Bragazzi, N. L., & Martini, M. (2018). The discovery of insulin: An important milestone in the history of medicine. *Frontiers in Endocrinology*, 9(October), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00613>
- Weissglas-Volkov, D., Plaisier, C. L., Huertas-Vazquez, A., Cruz-Bautista, I., Riaño-Barros, D., Herrera-Hernandez, M., ... Pajukanta, P. (2010). Identification of two common variants contributing to serum apolipoprotein B levels in Mexicans. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 30(2), 353–359. <https://doi.org/10.1016/ATVBAHA.109.196402>

- Weng, X., Gaur, G., & Neethirajan, S. (2016). Rapid detection of food allergens by microfluidics ELISA-based optical sensor. *Biosensors*, 6(2), 1–10. <https://doi.org/10.3390/bios6020024>
- Wongkaew, N., Simsek, M., Griesche, C., & Baeumner, A. J. (2018). Functional Nanomaterials and Nanostructures Enhancing Electrochemical Biosensors and Lab-on-a-Chip Performances: Recent Progress, Applications, and Future Perspective. *Chemical Reviews*. review-article. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00172>
- Zapata-Catzin, G. A., Bonilla-Hernández, M., Vargas-Coronado, R. F., Cervantes-Uc, J. M., Vázquez-Torres, H., Hernandez-Baltazar, E., ... Cauich-Rodríguez, J. V. (2018). Effect of the rigid segment content on the properties of segmented polyurethanes conjugated with atorvastatin as chain extender. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 29(11). <https://doi.org/10.1007/s10856-018-6165-y>
- Zhu, Z. (2017). An Overview of Carbon Nanotubes and Graphene for Biosensing Applications. *Nano-Micro Letters*, 9(3), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s40820-017-0128-6>

Capítulo V Factores humanos y ambientales que influyen en el autocuidado de enfermería en la aplicación de la mecánica corporal

Chapter V Human and environmental factors that influence nursing self-care in the application of body mechanics

MARÍN-LAREDO, Ma. Martha†*, ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, José Jesús, VALENZUELA-GANDARILLA, Josefina y LIZALDE-HERNÁNDEZ, Azucena

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

ID 1^{er} Autor: *Ma. Martha, Marín-Laredo* / **ORC ID:** 0000-0003-2517-3437

ID 1^{er} Coautor: *José Jesús, Álvarez-Sánchez*

ID 2^{do} Coautor: *Josefina, Valenzuela-Gandarilla* / **ORC ID** - 0000-0002-3886-4977

ID 3^{er} Coautor: *Azucena, Lizalde-Hernández* / **ORC ID** - 0000-0002-7709-7141

DOI: 10.35429/H.2019.4.67.87

M. Marín, J. Álvarez, J. Valenzuela y A. Lizalde

A. Marroquín, J. Olivares, P. Diaz, L. Cruz. (Dir.) La ciencia y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2019.

Resumen

En hospitales existen factores humanos y del entorno que influyen para que personal de enfermería no tenga autocuidado al aplicar los principios fundamentales de la mecánica corporal al movilizar o transferir pacientes, es importante identificarlos y establecer acciones que contribuyan al autocuidado; con la intención de promover la salud del profesional de enfermería y evitar lesiones, garantizando una práctica laboral segura. **Objetivo.** Analizar factores humanos y ambientales desde la perspectiva de Orem que influyen en el autocuidado de los profesionales de enfermería, en la aplicación de la mecánica corporal en el Hospital General de Pénjamo, Guanajuato. **Metodología.** Estudio no experimental, descriptivo, correlacional y transversal. Muestreo no probabilístico de 72 profesionales, el cuestionario tuvo 29 ítems confiabilidad interna α de Cronbach de 0.840. **Resultados.** 43.1% (31) mencionaron que a veces las camillas que se utilizan para trasladar al paciente están en buenas condiciones y con medidas de seguridad; el 34,7% (25) declaró que solo a veces tienen camillas para ayudarlos en la movilización y transferencia. **Conclusión.** Los factores humanos y ambientales que influyen en el autocuidado son principalmente cuando se realizan procedimientos de movilización o la transferencia de pacientes; la falta de recursos y las camillas no están en buenas condiciones.

Riesgo laboral, Prevención de riesgos, Mecánica corporal

Abstract

In hospitals there are human and environmental factors that influence so that nurses do not have self-care when applying the fundamental principles of body mechanics when mobilizing or transferring patients, it is important to identify them and establish actions that contribute to self-care; with the intention of promoting the health of the nursing professional and avoiding injuries, guaranteeing a safe work practice. **Objective.** Analyze human and environmental factors from the perspective of Orem that influence the self-care of nursing professionals, in the application of body mechanics at the General Hospital of Pénjamo, Guanajuato. **Methodology.** Non-experimental, descriptive, correlational and cross-sectional study. Non-probabilistic sampling of 72 professionals, the questionnaire had 29 items Cronbach's internal reliability α of 0.840. **Results** 43.1% (31) mentioned that sometimes the stretchers used to transfer the patient are in good condition and with safety measures; 34.7% (25) stated that they only sometimes have stretchers to help them in mobilization and transfer. **Conclusion.** The human and environmental factors that influence self-care are mainly when mobilization procedures or patient transfer are performed; The lack of resources and the stretchers are not in good condition.

Occupational risk, Risk prevention, Body mechanics

1. Introducción

El autocuidado consiste en la práctica de las actividades que las personas maduras o que están madurando, inician y llevan a cabo en determinados períodos de tiempo, por sí mismas y con el interés de mantener un funcionamiento vivo y sano, continuar con el desarrollo personal y el bienestar, mediante la satisfacción de requisitos para las regulaciones funcionales y del desarrollo. La identificación de factores que influyen para el autocuidado de enfermería cuando se aplique la mecánica corporal es favorable para el profesional de enfermería, por múltiples beneficios, siendo uno de los más significativos el cuidado de su salud, previniendo lesiones musculoesqueléticas aplicando los principios fundamentales de la mecánica corporal.

La idea original de la presente investigación surge desde la observación empírica cuando el investigador realiza supervisiones directas en los servicios hospitalarios y visualiza que los profesionales de enfermería no aplican los principios de la mecánica corporal cuando realizan movilización o traslado de pacientes; además realizan funciones que están fuera de sus actividades señaladas en el profesiograma institucional, pero por cuestiones administrativas y organizativas las realizan, como es el caso del traslado de pacientes en condiciones no seguras a las unidades auxiliares de diagnóstico a las salas de operaciones, entre otras, donde generalmente se trata de utilizar la fuerza física y la totalidad de las veces se hace sin un equipo y protección adecuado, lo que se traduce en lesiones musculoesqueléticas, con predominio en las sacro lumbalgias que en la mayoría de las veces son incapacitantes.

2. Planteamiento del problema

El autocuidado es una actividad aprendida por los individuos, orientada hacia un objetivo. Es una conducta que existe en situaciones concretas de la vida, dirigida por las personas hacia sí mismas o hacia el entorno para regular los factores humanos y ambientales que afectan a su propio desarrollo y funcionamiento en beneficio de su vida, salud o bienestar. Cabe mencionar que no todos los individuos son conscientes de esta actividad, por consiguiente presentan déficit y se convierten en agentes de autocuidado o personas con necesidad de autocuidado. (Orem, D., 1993).

Desde la perspectiva de Orem el autocuidado se sitúa también como una función reguladora que el hombre debe de llevar a cabo por el mismo para mantener su vida, salud, desarrollo y bienestar, aprender y desarrollar de forma deliberada y permanente conforme a los requisitos reguladores de cada persona; este autocuidado implica el uso de recursos materiales y gasto de energía para establecer y mantener relaciones esenciales y seguras con los factores y fuerzas ambientales.

En los hospitales, existen factores humanos y ambientales (Orem, D., 1993) que determinan una práctica inadecuada de autocuidado sobre la correcta aplicación de la mecánica corporal, siendo necesario de primera instancia identificarlos y con ello marcar la pauta a seguir, para que el personal de enfermería realice prácticas seguras y correctas y evitar lesiones. En el Hospital General Pénjamo perteneciente al Instituto de Salud Pública del Estado de Guanajuato (ISAPEG), la atención de Enfermería es continua, siendo el cuidado la esencia y la función medular de la profesión, considerando lo anterior, el cuidado debe ser de calidad y brindado en un ambiente seguro, por tal motivo el profesional de enfermería debe conocer y aplicar los aspectos procedimentales y actitudinales en su ejercicio profesional cotidiano que garanticen estas premisas.

El conocimiento y aplicación correcta de los principios de la mecánica corporal es imprescindible para el autocuidado, además de formar parte de las competencias disciplinares adquiridas en la formación académica del profesional de enfermería, siendo su aplicación fundamental en la práctica del cuidado para evitar lesiones de tipo musculoesquelético cuando se movilizan o trasladan pacientes; además de ser reforzadas mediante la educación continua como proceso de enseñanza y aprendizaje activo y permanente al que tienen derecho y obligación los profesionales de la salud, el cual se inicia al finalizar los estudios profesionales y está destinada a mejorar y actualizar los conocimientos, habilidades y actitudes de los profesionales ante la evolución científica y tecnológica así como demandas y necesidades tanto sociales como propias de la institución. (Ayuso, 2007, pág. 160).

3. Objetivos

Objetivo general

Analizar los factores humanos y ambientales desde la perspectiva de D. Orem que influyen para el autocuidado de los profesionales de enfermería, en la aplicación de la mecánica corporal en el Hospital General de Pénjamo, Guanajuato.

Objetivos específicos

- Identificar los factores humanos desde la perspectiva de D. Orem que influyen para el autocuidado de los profesionales de enfermería en la aplicación de la mecánica corporal.
- Reconocer los factores ambientales desde la perspectiva de D. Orem que influyen para el autocuidado de los profesionales de enfermería en la aplicación de la mecánica corporal.
- Asociar los factores que influyen para el autocuidado en los profesionales de enfermería en la aplicación de la mecánica.

4. Justificación

La profesión de enfermería centra su actuar en cuatro funciones medulares, la asistencia de usuarios, la administración de los servicios, la investigación y la docencia, la función asistencial se centra en el cuidado al individuo, familia y comunidad sano o enfermo con la finalidad de promover estilos de vida saludables y calidad de vida aceptable. (León, 2006)

Siendo el cuidado la esencia de la profesión, las enfermeras y enfermeros, en hospitales asistenciales, se enfrentan a una gran variedad de factores condicionantes de riesgo en el desempeño de su ejercicio profesional, por tal situación, todo profesional debe tener claro una actitud de autocuidado, visto como una función reguladora del trabajador, que debe de llevar a cabo por el mismo para mantener su vida, salud, desarrollo y bienestar; este autocuidado implica el uso de recursos materiales y gasto de energía, para establecer y mantener relaciones esenciales y seguras con los factores y fuerzas ambientales.

En un estudio, realizado en el Hospital de Trujillo en el 2015 sobre “El uso de la mecánica corporal por las enfermeras del servicio de emergencia” el 14% de las enfermeras encuestadas en dicho estudio hacen uso correcto de la mecánica corporal y el 86% de ellas un uso incorrecto (Frontado, Rodríguez, & Principe, 2017).

En el Hospital General de la ciudad de Guayaquil (Mora & Chávez, 2017) concluyen que las enfermeras en ese estudio no aplican totalmente la mecánica corporal, a pesar de que es bastante considerable la cantidad del personal que lo hacen a veces y que no lo hacen de forma adecuada, como tampoco cuentan con los implementos de apoyo para cumplir su actividad sin riesgo de lesión.

En relación a los efectos que produce la no aplicación de la mecánica corporal cuando se realizan procedimientos asistenciales en especial la movilización y traslado de pacientes (Pérez & Corveas, 2005) realizaron un estudio sobre causas de invalidez laboral en el personal de enfermería en un Hospital de Cuba, donde encuentra que del 100.0% (479) certificados, 151 casos correspondieron al 31.5 % de lesiones osteomioarticulares entre las que destacan sacrolumbalgias, dorsolumbalgias, hernias discales, tendinitis, ciatalgias, sinovitis, osteocondritis con predominio en las sacrolumbalgias con un 29.8%, resultando las enfermeras asistenciales las más afectadas.

5. Antecedentes

En el Hospital Amalia Simoni de Cuba (Pérez & Corveas, 2005) realizaron una investigación, el objetivo fue identificar las causas de invalidantes laborales y proponer una estrategia de intervención para lograr una mayor calidad en la salud del trabajador de enfermería. Encontrando que predominó el grupo de afecciones del sistema osteomioarticular en 151 pacientes (31,5 %) y dentro de este grupo, fueron mayoritarias las sacrolumbalgias en 45 pacientes (29,8 %). Los enfermeros más afectados fueron los asistenciales, el servicio de medicina el que más certificados médicos presentó.

En el Hospital Infantil de Morelia “Eva Sámano de López Mateos” en el año 2012 se realizó una investigación, el objetivo fue analizar los factores que influyen en el autocuidado de enfermería en la preparación y manejo de citostáticos en los servicios de medicina interna y oncología ambulatoria; los principales resultados son que el personal no tiene bien definido el significado de autocuidado, además de desconocer cuales son los medicamentos citostáticos por ende no lleva un correcto autocuidado en su preparación, manejo, contaminación y complemento; en lo referente a los factores institucionales se observa que la institución no ofrece inducción al puesto, no provee material y equipo recomendado y no cuenta con el espacio requerido, en lo ambiental se demuestra que no se cuenta con un lugar expreso para preparación y manejo de citostáticos (Alcantar, 2012).

En el Hospital Provincial Docente Belén Lambayeque (Cabrera & Ezeta, 2017) investigaron los factores personales e institucionales que influyen en la exposición ocupacional de accidentes punzocortantes en los profesionales de enfermería. Resultados. En factores personales predominó tiempo de servicio con la categoría 25–32 años de servicio con un 27.5% y medidas de autocuidado con la categoría siempre con un 60%; en factores institucionales predominó infraestructura con categoría ruido con un 60%, lentes y gafas protectoras con un 35%, capacitación al personal con la categoría nunca con un 60% y normatividad con las categorías que si está disponible 60% pero no lo ha leído 60%. Por conclusión hay más predominio de factores institucionales sobre los factores personales.

En el Hospital Regional de Loreto Iquitos el año 2014 se realizó una investigación titulada factores personales e institucionales y la ocurrencia de accidentes punzocortantes en sus trabajadores, tuvo como objetivo determinar la relación entre los factores personales e institucionales y la ocurrencia de accidentes punzocortantes en trabajadores.

Los principales resultados hacen referencia que el 58.5% de trabajadores a veces utilizan medidas de autocuidado, mientras que el 41.5% de ellos siempre utilizan medidas de autocuidado, el 63.3% de ellos indican que los materiales de protección son insuficientes y el 36.7% indican que son suficientes, el 87.8% consideran inadecuado el ambiente laboral y el 12.2% consideran adecuado el ambiente laboral. El 89.4% de ellos reciben a veces capacitación y el 10.6% siempre reciben capacitación por parte de la institución. (Bardales & Bardales, 2014).

Se realizó la investigación factores asociados a los accidentes punzocortantes en personal de salud de emergencia del Hospital Regional Docente las Mercedes, Chiclayo (Mondragon & Tarrillo, 2017). Los resultados fueron: el 74.4% del personal que sufrió accidentes estaba entre la edad de 20 a 39 años, el tipo de ocupación: técnico de enfermería con 81.3% , años de trabajo con 70.7% de 0 a 10 años; carga de trabajo con 75.6%, notificación de accidentes punzocortantes 75% algunas veces, uso de materiales de protección con 73.5% casi siempre usan, la disposición de materiales de protección el 58.9% regularmente, en la infraestructura el 60% es un ambiente regularmente adecuado, las capacitaciones el 66.7% respondieron que nunca recibieron.

En el año 2015 se realizó un trabajo sobre los Factores asociados a trastornos músculo-esqueléticos en enfermeras del Servicio del Centro Quirúrgico del Hospital Provincial Docente “Belén”- Lambayeque, concluyen que el 40% de las enfermeras del Servicio de Centro Quirúrgica asocian los dolores músculo esquelético a estar mucho tiempo de pie y el 30% de las enfermeras lo asocia a la mala postura. Por lo cual se llega a la conclusión que debido al tiempo prolongado a estar de pie durante la intervención quirúrgica afecta la salud del trabajador conllevando a presentar dolores músculo-esqueléticos. Se recomienda implementar medidas de control para atenuar dichos trastornos (Nieto & Ruíz, 2015).

Se realizó estudio sobre “Factores personales e institucionales que influyen en la aplicación de medidas de bioseguridad en los profesionales de salud del Centro de Salud José Olaya - 2015”. Los resultados fueron que el factor personal que influye es el inadecuado conocimiento teniendo como resultado al 90.91% con adecuado conocimiento de conocimiento y un 9.09% con un deficiente nivel de conocimiento. Los factores institucionales el resultado sobresaliente fue la normatividad con un 58.33% y el que menos influye son los equipos con el 42.42%. (Burga & Guillermo, 2016).

6. Referentes teóricos y conceptuales

Teoría General de Enfermería sobre el déficit de Autocuidado de Dorothea Elizabeth Orem

Dorothea Elizabeth Orem, enfermera estadounidense destacada por su gran contribución a la enfermería, autora de la Teoría General del Déficit de autocuidado (TDA). La TDA es una teoría general compuesta, por las siguientes cuatro teorías:

1. La Teoría del autocuidado que describe el porqué y el cómo las personas cuidan se sí mismas.
2. La teoría del cuidado dependiente, que explica de qué modo los miembros de la familia y/o los amigos proporcionan cuidados dependientes para una persona que es socialmente dependiente.
3. La teoría del déficit de autocuidado que describe y explica cómo la enfermería puede ayudar a la persona.
4. La teoría de sistemas enfermeros, que describe y explica las relaciones que hay que mantener para que se produzca el cuidado de enfermería (Raile, 2014, pág. 236).

Teoría del Autocuidado

Retomando la teoría del **Autocuidado** en la que se fundamenta teóricamente la presente investigación, la cual describe el porqué y el cómo las personas cuidan de sí mismas. Orem define esta dimensión “autocuidado” como “una actividad que consiste en la práctica de las actividades que las personas maduras, o que están madurando, inician y llevan a cabo en determinados periodos, por su parte y con el interés de mantener un funcionamiento vivo y sano, y continuar con el desarrollo personal y el bienestar (Raile, 2014, pág. 236)

El término *autocuidado*, la palabra *auto* se utiliza en el sentido del *ser humano completo*. El autocuidado comporta la connotación dual de << para uno mismo>> y <<realizado por uno mismo>>, si se menciona que el autocuidado es la práctica de las actividades que los individuos inician y realizan para el mantenimiento de su propia vida, salud y bienestar, se entiende que los adultos cuidan de sí mismos de forma voluntaria. El autocuidado es una contribución continua del adulto para mantener su propia existencia, su salud y bienestar, además tiene un propósito; es una acción que tiene un patrón y una secuencia y, cuando se realiza o se ejerce efectivamente, contribuye de manera específica a la integridad estructural, desarrollo y funcionamiento humano (Orem, 1993, pág. 129)

La idea central de la teoría del autocuidado se basa en que las personas maduras o en proceso de maduración realizan acciones y secuencias de acciones emprendidas y dirigidas hacia sí mismas o hacia características ambientales conocidas o supuestas, para cubrir requisitos identificados para el control de factores que promueven o afectan o interfieren en la regulación de su propio funcionamiento o desarrollo, para que de esta manera, contribuyan en la continuación de la vida, al automantenimiento y a la salud y bienestar personal; el autocuidado es una conducta humana, un comportamiento aprendido que tiene características de acción intencionadas (Alcantar, 2012, pág. 8).

En cuanto a las *premisas o suposiciones previas*, la primera hace mención que en igualdad de condiciones, los seres humanos tienen el potencial de desarrollar habilidades intelectuales y prácticas para mantener una motivación esencial para el autocuidado; la segunda menciona que las formas de cubrir los requisitos de autocuidado son elementos culturales y varían con los individuos y los grandes grupos sociales; la tercera premisa refiere que el autocuidado es una forma de acción intencionada, dependiente para su realización de los repertorios de acción de los individuos y su predilección por actuar en ciertas circunstancias y la cuarta se refiere a que la identificación y descripción de los requisitos recurrentes para el autocuidado conducen a la investigación y desarrollo de vías para satisfacer los requisitos conocidos y para formar hábitos de cuidado.

Las proposiciones relacionadas con la idea central del autocuidado fueron estudiadas y revisadas por el Nursing Development Conference Group en 1976, y están organizadas en tres grupos.

Algunas proposiciones sobre el autocuidado

Grupo uno: Factores condicionantes

1. La conducta de autocuidado se ve afectada por el autoconcepto y por el nivel de madurez del individuo.
2. La conducta de autocuidado está afectada por los objetivos y las prácticas derivadas de la cultura.
3. La conducta de autocuidado se ve afectada por el conocimiento de la salud científicamente derivado que posee la persona.
4. La conducta de autocuidado se ve afectada por la situación en la constelación familiar.
5. La conducta de autocuidado se ve afectada por los miembros de grupos sociales aparte de la familia; por ejemplo amigos y compañeros de trabajo.
6. Los adultos pueden elegir ocuparse, o no, en acciones específicas de autocuidado.
7. La falta de conocimientos científicamente derivado, los trastornos y disfunciones de la salud, la falta de habilidades y los hábitos inadecuados de autocuidado limitan a la persona a autocuidarse o al ayudar a otras personas en este tema (Orem, 1993, pág. 134)

Grupo dos: El autocuidado en la salud y la enfermedad

1. El autocuidado contribuye y es necesario para la integridad de la persona como organismo psicofisiológico con una vida racional.

2. Cada persona debe de realizar diariamente un mínimo de actividades dirigidas hacia sí mismo, para continuar su existencia como organismo, con una vida racional. Si la Salud tiene que mantenerse y mejorarse, debe de realizar actividades adicionales. En caso de enfermedad, lesión, o disfunción física o mental, debe de realizar otras actividades para mantener la vida o mejorar la salud.
3. El autocuidado dirigido al mantenimiento y promoción de la salud, requiere un fondo de conocimiento derivado científicamente sobre los objetivos y las prácticas del autocuidado, así como de las habilidades y hábitos relacionados.
4. La enfermedad, lesión, o disfunción física o mental pueden limitar lo que una persona puede hacer por sí misma, tales estados limitan su capacidad para razonar, tomar decisiones y ocuparse en alcanzar objetivos de autocuidado. La enfermedad, la lesión y disfunción pueden implicar cambios estructurales y funcionales y requerir medidas especializadas de autocuidado (Orem, 1993, pág. 134)

Grupo tres: demandas comportamentales y de recursos de autocuidado

1. El autocuidado requiere un conocimiento general de los objetivos y prácticas de autocuidado, así como un conocimiento específico sobre uno mismo, sobre el estado de salud y del ambiente físico y social; así como una interiorización de las reflexiones y la motivación. La adquisición de conocimiento específico implica el hacer observaciones y juicios, lo que conduce a la comprensión de los requerimientos de autocuidado.
2. El autocuidado requiere actividades orientadas al control de la conducta, así como actividades orientada al control del entorno, para establecer contacto y comunicación con otros y para la obtención y utilización de los recursos.
3. El autocuidado implica el uso de recursos materiales, así como gasto de energía dirigidos a aportar el material y las condiciones necesarias para el funcionamiento y desarrollo interno, para establecer y mantener relaciones esenciales y seguras con los factores como con las fuerzas ambientales.
4. El autocuidado que se realiza a lo largo del tiempo puede ser comprendido (intencionalizado) como un sistema de acción o de autocontrol, siempre que haya un conocimiento del conjunto de los diferentes tipos de las secuencias de acción o de las actividades de cuidado realizadas y de los vínculos de conexión entre ellos (Orem, 1993, pág. 135)

Requisitos de autocuidado

Orem en su teoría postula que las personas deben de satisfacer ciertos requerimientos para obtener un nivel aceptable de salud a los que llama requisitos de autocuidado. Los cuales se conciben como un consejo formulado y expresado sobre las acciones que se deben llevar a cabo porque se sabe o se supone que son necesarios para la regulación de los aspectos del funcionamiento y desarrollo humano, ya sea de manera continua o bajo unas circunstancias y condiciones específicas (Raile, 2015, pág. 236).

Un requisito de autocuidado comprende dos elementos: el factor que se debe controlar o dirigir de alguna manera para mantener ciertos aspectos del funcionamiento y desarrollo humano de los individuos dentro de las normas compatibles con la vida, la salud y el bienestar personal; el segundo elemento es la especificación de la naturaleza de la acción a realizar. En si los requisitos de autocuidado formulados y expresados representan los objetivos formalizados del autocuidado, son las razones por las que se emplea el autocuidado, expresan los resultados deseados; (Raile, 2015, pág. 236). Se identifican tres tipos de requisitos: universales, del desarrollo y de desviación de la salud, los cuales son compatibles con las siguientes asunciones (Orem, 1993).

1. Los seres humanos por naturaleza tienen necesidades comunes para el aporte de materiales (aire, agua alimentos) y para producir y mantener condiciones de vida que apoyen los procesos vitales, la formación y mantenimiento de la integridad estructural y el mantenimiento y promoción de la integridad funcional.

2. El desarrollo humano, de la vida intrauterina a la maduración del adulto, requiere la formación y mantenimiento de condiciones que promuevan los procesos conocidos de desarrollo en cada periodo del ciclo vital.
3. Los defectos genéticos, constitucionales y las desviaciones de la integridad estructural, la funcionalidad normal y el bienestar, comparten requerimientos para prevención, acciones reguladoras para el control de su extensión y para controlar y mitigar sus efectos

Los requisitos de autocuidado son generalizaciones sobre los objetivos que los individuos deberían tener cuando se ocupan de su autocuidado, además deben de conocerse antes de que puedan servir como propósitos de autocuidado y muy importante los requisitos universales deberían ser conocidos por todos los adultos con capacidades de aprendizaje (Orem, 1993).

El presente trabajo de investigación tomara como elemento principal para el desarrollo del sustento metodológico el séptimo requisito de autocuidado “**La prevención de peligros para la vida, el funcionamiento y el bienestar humano**” (Raile, 2015, pág. 237)

De tal manera que **la prevención de peligros para la vida, el funcionamiento y el bienestar humano** contribuyen al mantenimiento de la integridad humana, a la promoción efectiva del funcionamiento y desarrollo humano y a su vez, a la promoción del crecimiento y desarrollo humano (promoción de la normalidad) evitando el desarrollo de condiciones que constituyen peligros internos para la vida humana y para el funcionamiento y desarrollo. También promueve condiciones que llevan a los individuos a sentir y conocer su individualidad y su globalidad, a la objetividad cognitiva y a la libertad y responsabilidad como seres humanos (Orem, 1993)

Fundamentación metodológica y teórica del instrumento de recolección de datos

(Orem, 1993, pág. 282) Cita que los principales factores u obstáculos que influyen en la prevención de peligros para la vida, el funcionamiento y bienestar están categorizados en dos grupos: factores humanos y ambientales.

Factores Humanos

Dentro de los factores humanos que influyen en la prevención de peligros para la vida, el funcionamiento y bienestar están en primer lugar los relacionados al estado de la persona tales como intensos estados emocionales que restringen la atención y la conciencia; en segundo lugar las interferencias específicas relacionado a las discapacidades que interfieren en el control de la posición y el movimiento, la falta de conocimientos de los peligros específicos para controlarlos o evitarlos y la falta de preocupación razonable por los peligros (Orem, 1993, pág. 399), se detallan a continuación cada uno de ellos.

Estados emocionales que restringen la atención y la conciencia

Para estimar esta dimensión en el profesional de enfermería de la institución y establecer su relación con el problema de estudio se recurre a la escala de afecto positivo y negativo (PANAS) propuesta por Watson y Tellegen en 1985 (Moral, 2011) quienes indican que existe un consenso entre los teóricos del afecto en torno a dos dimensiones básicas, las cuales los autores denomina el afecto positivo y afecto negativo.

El afecto positivo representa la dimensión de emocionalidad placentera, manifestada a través de motivación, energía, deseo de afiliación y sentimientos de dominio, logro o éxito. Las personas con alto afecto positivo suelen experimentar sentimientos de satisfacción, gusto, entusiasmo energía, amistad, unión, afirmación y confianza; se relacionan con la extroversión, el optimismo y a resiliencia.

En contraste, el afecto negativo representa la dimensión de emocionalidad displacentera y el malestar, manifestada por miedos, inhibiciones, inseguridades, frustración y fracaso; las personas con afecto negativo suelen experimentar desinterés, aburrimiento, tristeza, culpa angustia, vergüenza y envidia. Se relacionan con la sensibilidad temperamental ante estímulos negativos labilidad vegetativa, estresores y ambientes desfavorables (Moral, 2011, págs. 117-125).

La escala de PANAS posee un formato de 20 adjetivos, 10 afecto positivo y 10 afecto negativo. Los ítems poseen un formato tipo Likert, para efecto de la presente investigación se utilizan los adjetivos que evalúan el afecto negativo tales como: preocupación, disgusto, culpa, susto, enfado, mal humor vergüenza, nerviosismo, inquietud y temor con la finalidad de identificar en el profesional de enfermería en estudio rasgos de afecto negativo que se relacionen con intensos estados emocionales que restrinjan la atención y la conciencia que favorezcan una capacidad limitada para autocuidarse al momento de la aplicación de la mecánica corporal (Moral, 2011).

Interferencias específicas relacionadas a discapacidades que interfieren en el control de la posición y el movimiento.

(Pérez & Corveas, 2005) realizaron un estudio sobre causas de invalidez laboral en el personal de enfermería en un Hospital de Cuba, donde encuentra que de 479 certificados correspondientes al 100 %, 151 casos correspondieron al 31.5 % de lesiones osteomioarticulares entre las que destacan sacrolumbalgias, dorsolumbalgias, hernias discales, tendinitis, ciatalgias, sinovitis, osteocondritis con predominio en las sacrolumbalgias con un 29.8%, resultando las enfermeras asistenciales las más afectadas, derivado de una mala aplicación del autocuidado en los principios de la mecánica corporal tomando como base los datos resultantes en mención se toma como base para establecer las interferencias específicas relacionadas a discapacidades que interfieren en el control de la posición y el movimiento, es decir las lesiones que aquí se mencionan interfieren para que no se tenga clara una actitud de autocuidado al momento de aplicar la mecánica corporal.

Orem menciona que uno de los factores importantes para que no se tenga una actitud de autocuidado por parte del personal de enfermería al realizar procedimientos asistenciales cuando se aplica la mecánica corporal en la movilización o traslado de pacientes, es la falta de conocimientos de los peligros específicos para controlarlos evitarlos, en este tenor es fundamental que el profesional de enfermería conozca y aplique los conceptos fundamentales y principios sobre la mecánica corporal los cuales son los siguientes.

Mecánica Corporal

Es el esfuerzo coordinado de los sistemas musculo-esquelético y nerviosos para mantener el equilibrio, la posición y el alineamiento corporal al incorporarse, moverse, encorvarse y llevar a cabo las actividades de la vida diaria. En específico es el uso coordinado de las diferentes partes del cuerpo para producir movimientos y mantener equilibrio entre las fuerzas interiores y exteriores, en el entendido que las fuerzas interiores son los motores del cuerpo, o sea, las contracciones musculares de la interacción de los sistemas musculo-esquelético y nerviosos. Las fuerzas exteriores estarán entonces determinadas por la ley de gravedad, que es la fuerza de la tierra para atraer hacia ella los cuerpos; para vencer esta fuerza se necesita energía por tanto, todo movimiento implica cierto modo de lucha en contra de la gravedad (Almeida, 2005).

Es fundamental mencionar en la conceptualización que el movimiento corporal es la actividad del esqueleto, los músculos y el sistema nervioso; determinando la buena postura y las posiciones corporales que mantiene la persona durante el reposo y la actividad. Cabe mencionar que la buena postura ayuda a la estética tanto en hombres como en mujeres, favorece el adecuado intercambio gaseoso indispensable para la buena oxigenación de órganos y sistemas (Almeida, 2005).

Intervenciones de enfermería y principios sobre la mecánica corporal

La mecánica corporal es necesaria para llevar una vida sana de las personas ya que la posición correcta y el movimiento eficaz del cuerpo son esenciales desde el punto de vista terapéutico y estético.

Concretamente en el área de la salud el conocimiento que debe tener la Enfermera sobre los principios de mecánica corporal y la habilidad para aplicarlos son esenciales para evitar lesiones que interfieran en la posición y el movimiento y con ello evitar lesiones que ponen en riesgo su integridad, por lo tanto es necesario que al realizar procedimientos asistenciales especialmente los que implican movilización y traslado de pacientes se utilice de forma correcta las posturas y la energía, a medida que se logre se tendrán beneficios tales como: evitará la tensión muscular innecesaria y posible lesión, disminuirá el gasto de energía muscular y las actividades de cuidado serán de forma segura y apropiada al utilizar principios correctos de mecánica corporal (Almeida, 2005).

Principios fundamentales de la mecánica corporal

1. Los músculos grandes se fatigan con menor rapidez que los pequeños. Si utilizamos grupos de músculos grandes, hace menor tensión en el cuerpo que cuando se emplean músculos más pequeños. Por ejemplo al levantar un objeto pesado que está en el piso, si flexionamos las rodillas, utilizamos los músculos glúteos y femorales grandes, en tanto que si nos agachamos, doblando la cintura, utilizamos músculos pequeños como los sacros espinales de la espalda (Almeida, 2005)
2. Los músculos siempre se encuentran en ligera contracción. Cuando vamos a utilizar un grupo de músculos, deben estar con buen tono y para lograrlo, la Enfermera debe de prepararlos antes de usarlos, de esta manera protegerá sus ligamentos y músculos de distensiones y lesiones. Ejemplo: para levantar un objeto pesado lo hará de mejor forma si contrae primero los músculos abdominales, pélvicos y glúteos.
3. La estabilidad de un objeto siempre es mayor cuando tiene una base amplia de apoyo, un centro de gravedad bajo y la línea de gravedad cae dentro de la base de apoyo. Para conservar la línea vertical del centro de gravedad en base a la de apoyo y obtener mayor estabilidad se deben de separar los pies y doblar las rodillas en lugar de la cintura. Ejemplo: para ayudar a que un paciente se mueva, la Enfermera debe de pararse con los pies separados y doblar ligeramente las rodillas en lugar de la cintura, así lograra mantener mejor su equilibrio.
4. Es más fácil deslizar un objeto que levantarlo. El deslizamiento sobre una superficie horizontal requiere menor energía que el mover un objeto en un plano inclinado. La fricción aumenta la cantidad de energía necesaria para producir una actividad y puede reducirse al aplicar un objeto intermedio. Ejemplo: para llevar el paciente hacia la orilla de la cama, es más fácil deslizarlo utilizando una sábana de tracción con movimientos uniformes y continuos, que requieren de menor energía, que un movimiento que se detiene y reinicia.
5. La fuerza necesaria para conservar el equilibrio del cuerpo es máxima cuando la línea de gravedad está más alejada del centro de la base de apoyo. Cuando la persona sostiene un peso cerca de su cuerpo, hace menos esfuerzo que si lo soporta con los brazos extendidos. Ejemplo: al pasar a un paciente de la cama a la camilla es más fácil si la Enfermera conserva el cuerpo del paciente cerca del suyo.
6. Los cambios de actividad y posición ayudan a conservar el tono muscular y evitar fatiga. Cuando realizamos alguna tarea manteniendo la misma posición por mucho tiempo, no conservamos un buen tono muscular y se provoca fátiga inadecuada del cuerpo, siendo necesario alternar la posición del cuerpo para evitar consecuencias desagradables.
7. La fricción entre un objeto y la superficie en que se mueve influye en la cantidad de trabajo necesario para moverlo. Hay menos fricción cuando las superficies son muy lisas, por lo tanto es necesario menor energía para mover objetos en estas superficies. Ejemplo: La Enfermera emplea menos energía para cambiar de posición a un paciente que se encuentra acostado en sabanas muy lisas, libres de arrugas y humedad.
8. Utilizando el peso propio para contrarrestar el del paciente, requiere menos energía para moverlo. Si la Enfermera utiliza su cuerpo para levantar o empujar a un paciente, aumenta la fuerza que se aplica al movimiento. Ejemplo: para levantar al paciente lo aproxima hacia la orilla de la cama y en un solo movimiento gira el cuerpo del paciente, tomándolo de la espalda y miembros inferiores (Almeida, 2005)

Es fundamental retomar periódicamente o enseñar al profesional de enfermería los principios fundamentales y posturas de la mecánica corporal apropiada; con la finalidad de lograr una actitud clara de autocuidado al momento de aplicar estos principios al momento de la movilización o traslado de pacientes y lograr con ello evitar peligro para la vida, el funcionamiento y bienestar.

Interferencias específicas relacionadas a la falta de preocupación razonable por los peligros

Orem menciona que la falta de preocupación razonable por los peligros por parte del profesional de enfermería, es influyente para que las enfermeras no tengan una actitud clara de autocuidado cuando realizan procedimientos asistenciales; para estimar esta dimensión en la presente investigación se indaga al personal si considera importante aplicar los principios fundamentales de la mecánica corporal, y así como utilizar precauciones establecidas en la institución cuando realiza la movilización o traslado de pacientes.

Factores Ambientales

Los factores ambientales se conciben como el conjunto de condiciones del ambiente laboral hospitalario, que influye en la ocurrencia de un acto inseguro, en este caso para que no se tenga una actitud de autocuidado por parte del profesional de enfermería al momento de aplicar la mecánica corporal al momento de realizar procedimientos asistenciales particularmente cuando se movilizan o trasladan pacientes, es decir son elementos inherentes a la institución (Cabrera & Ezeta, 2017).

Dentro de los factores ambientales que influyen en la prevención de peligros para la vida, el funcionamiento y bienestar relacionado a que no tenga autocuidado por parte del profesional de enfermería al momento de aplicar la mecánica corporal cuando realizan procedimientos asistenciales particularmente cuando se movilizan o trasladan pacientes, están en primer lugar los relacionados a los recursos institucionales, en específico cuando no se dispone de los recursos necesarios o no son los adecuados; en segundo lugar no menos importante están los factores que se relacionan con el grupo social (enfermería), en particular la falta de actuación y comunicación para prevenir o controlar las condiciones peligrosas (Orem, 1993, pág. 399)

Recursos institucionales inadecuados o inexistentes

Se entiende como recursos institucionales, a cualquier instrumento, aparato, implemento, maquina, material u otro artículo similar para el diagnóstico, prevención, control y tratamiento o alivio de la enfermedad manejado por el recurso humano, en este caso para esta investigación tomaremos como recursos institucionales los siguientes:

Carro Camilla para traslado de pacientes

La camilla es un dispositivo con ruedas utilizado para el traslado de un lugar a otro un paciente con fines diagnósticos o terapéuticos, entre las características atribuibles con la que debe de contar se encuentran las siguientes: debe de dar posiciones, contar con barandales laterales abatibles de fácil manejo como medida de seguridad para evitar una caída del paciente, contar con pedal abatible, con 4 ó 5 ruedas direccionales, freno centralizado de fácil maniobrabilidad; plano duro y estable, para que soporte el masaje cardíaco, receptáculo para montaje de porta suero, colchoneta móvil y de alta densidad, cantos redondeados. Es importante mencionar que todas estas características deben de estar funcionando ya que de lo contrario entorpecerá y será una condicionante que limite el autocuidado en el profesional de enfermería.

Sillas de ruedas

Las sillas de ruedas forman parte de las ayudas técnicas, es decir, de los dispositivos físicos de aplicación que posibilitan o mejoran la realización de actividades del aparato locomotor limitadas por deficiencias o discapacidades de tipo parcial o total. Son vehículos individuales que favorecen el traslado de personas que han perdido, de forma permanente, total o parcialmente, la capacidad de desplazarse. Hay que tener en cuenta que la silla de ruedas debe ser adecuada de acuerdo al grado de deficiencia del usuario.

Por tanto, las sillas de ruedas facilitan la movilidad a pacientes que no pueden caminar ni desplazarse por sí mismos con otros dispositivos, es importante que cuente con todos sus elementos ya que son importantes para el uso y manejo de estas, los cuales son: asiento, respaldo, reposapiés, reposa brazos, reposa piernas, mangos de empuje, ruedas delantera giratorias, ruedas traseras propulsoras, aros propulsores, barras de cruceta, barras de Inclinación, frenos de estacionamiento, rayos y Chasis (Spackman, 2005)

Es importante que cuente con cada uno de sus elementos esto facilita su funcionalidad y por ende que el profesional de enfermería tenga o se facilite una actitud de autocuidado al momento de aplicar la mecánica corporal cuando trasladas un paciente y utiliza para tal fin una silla de ruedas.

Unidad del paciente

La unidad del paciente es el conjunto formado por el espacio de la habitación, el mobiliario y el material que utiliza el paciente durante su estancia hospitalaria. El número máximo de camas por habitación no debe ser superior a cuatro; la habitación debe disponer de espacio suficiente, de 1 a 1,20 metros, entre las camas y entre la cama y la pared; de tal forma que sea posible brindar cuidados al paciente tanto desde los laterales como desde los pies de la cama, permitiendo, además, el paso de una camilla y la libre movilidad para que favorezca el autocuidado del profesional de enfermería cuando se aplique la mecánica corporal en la movilización del paciente.

Un elemento fundamental e indispensable de la unidad del paciente es la cama clínica la cual sirve para acostar al paciente, por lo que debe estar en perfectas condiciones de conservación y mantenimiento, para que este se sienta cómodo. Debe estar provista con toda la ropa que sea necesaria; se debe de colocar en la unidad de manera que tenga tres de sus lados libres, para facilitar el trabajo de profesional de enfermería (cambios posturales, aseo del paciente, aplicación de cuidados, etc.), se dispone de forma que la cabecera esté en contacto con la pared, pero sin que se ubique debajo de la ventana, ni próxima a la puerta (para no impedir el acceso a la habitación o al aseo). Es importante que sean articuladas, con un plano regulable en altura y fácilmente manejables y desplazables, por lo que van provistas de ruedas.

Central de Enfermería

Área de trabajo especializado en el cuidado de pacientes, donde el profesional de enfermería organiza las actividades por realizar en el servicio, tiene sistema de guarda de medicamentos y equipos portátiles. Debe contar con espacios para guardar expedientes y los diferentes formatos que en él se incluyen, de preferencia que tenga dominio visual del área por atender y con facilidades de lavabo, sanitario y de comunicación interna y externa (Secretaría de Salud, NOM -197-SSA1-2000 que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de Hospitales y consultorios de atención médica especializada., 2000)

Debe de contar con el siguiente material y equipo: asiento giratorio que facilite las posturas mientras se trabaja, baño de artesa, bote para basura, contenedor para Residuos Peligrosos Biológicos Infecciosos (RPBI), carro para curaciones, porta expedientes, gabinete universal, mesa alta con tarja, mesa Pasteur, escritorio (Secretaría de Salud, NOM -197-SSA1-2000 que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de Hospitales y consultorios de atención médica especializada., 2000)

Personal de Camillería

El personal de camillería es fundamental en el equipo multidisciplinario de atención a la salud por ser el personal especializado en la movilización y traslado de pacientes dentro de la unidad hospitalaria al cual tiene encomendadas las funciones de trasladar enfermos o cadáveres en camillas, camas de mano o manualmente en ambulancias o dispositivos hospitalarios, realizar con efectividad todas las actividades relacionadas con las funciones establecidas y las que se le demanden según programas prioritarios (Secretaría de Salud, 2006)

7. Descripción del método

Estudio no experimental, descriptivo, correlacional y transversal; universo conformado por 154 profesionales de enfermería ubicadas en los diferentes servicios y turnos del Hospital General Pénjamo, Guanajuato. El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, para la muestra se seleccionaron los profesionales de enfermería que desearon participar en la investigación previo consentimiento informado considerando los turnos matutino, vespertino, nocturno A y B, y jornada acumulada en los servicios de Urgencias, Sala de Labor, Quirófano, Central de Equipo y Esterilización (CEyE) Ginecología, Medicina Interna, Cirugía, Traumatología y Ortopedia así como de Corta Estancia, servicios donde se utiliza de manera directa la mecánica corporal.

Encuestado a 72 profesionales de enfermería que representa el 46.7 % del total de la platilla y el 100 % de los servicios antes mencionados.

Se excluyeron profesionales de enfermería de los demás servicios hospitalarios en donde no interfiere de manera directa la aplicación de la mecánica corporal en la movilización o traslado de pacientes y profesionales que no aceptaron participar.

Procedimientos

El presente trabajo de investigación se realizó bajo el siguiente procedimiento:

1. Planificación del protocolo de investigación. Se solicitó autorización por escrito al Comité de ética y Bioética de la Facultad de Enfermería de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y al Comité de Ética, Enseñanza e Investigación del Hospital General de Pénjamo Guanajuato para la realización del presente estudio.
2. Se realizó la recolección de la información visitándose a los profesionales de enfermería de los turnos y servicios antes mencionados y se les explicó en qué consistía la investigación, posterior a esto, se les proporcionó el cuestionario con el consentimiento informado y se esperó hasta el momento de su conclusión.

La técnica para la recolección de los datos fue la encuesta y como instrumento el cuestionario.

Instrumento

El instrumento denominado “Cuestionario para identificar factores humanos y ambientales desde la perspectiva de D. Orem que influyen para el autocuidado del profesional de enfermería en la aplicación de la mecánica corporal en el Hospital General de Pénjamo, Gto” fue elaborado por el investigador a partir de la operacionalización de las variables de estudio. Está estructurado por: I) dimensión sobre aspectos biográficos y laborales, II) dimensión factores humanos y III) dimensión factores personales como a continuación se describe.

Dimensión sobre aspectos biográficos y laborales

Edad, género, estado civil y laborales; nivel académico, turno laboral, antigüedad que se tiene laborando y por último el servicio donde se encuentra asignado en la institución.

Dimensión Factores Humanos

En primer lugar, los relacionados al estado de la persona tales como intensos estados emocionales que restringen la atención y la conciencia, para estimar dicho estado se recurrió a la escala de afecto positivo y negativo (PANAS) la cual posee un formato de 20 adjetivos, 10 afecto positivo y 10 afecto negativo. Para efectos de la presente investigación se utilizan los adjetivos que evalúan el afecto negativo de dicha escala, representada por el ítem número 9 del cuestionario del cual se desprenden los 10 adjetivos de afecto negativo mencionados, estructurado para su respuesta con formato tipo Likert que va desde 1)nada, 2) un poco, 3)bastante, 4)mucho y 5)extremadamente, con la finalidad de identificar en el profesional de enfermería rasgos de afecto negativo que se puedan relacionado con el problema de estudio.

En segundo lugar dentro de los factores humanos están los relacionados a interferencias específicas como discapacidades que influyen en el control de la posición y el movimiento, para evaluar si dicha interferencia influye en el autocuidado de enfermería al momento de la aplicación de la mecánica corporal, en el ítem número 8 del cuestionario se indaga si el profesional de enfermería ha tenido problemas de salud provocados por el trabajo y diagnosticados por un médico, para el caso de que fuera afirmativo el cuestionamiento, se tiene una batería de patologías de tipo musculo esquelético que se identificaran de acuerdo a su ocurrencia, así como si amerito incapacidad médica y el tiempo que duro la misma.

Como interferencia específica también se alude a la falta de conocimientos por parte del profesional de enfermería de los peligros o de los medios para controlarlos o evitarlos los cuales pueden interferir en el autocuidado de enfermería, para evaluar dicha interferencia se redactan en el cuestionario los ítems 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19 sumando un total de 10, sobre aspectos conceptuales de la mecánica corporal y principios fundamentales de la mismas, con escala tipo Likert con opciones de respuestas que van desde 1) muy de acuerdo, 2) algo de acuerdo, 3) ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4) algo en desacuerdo y 5) muy en desacuerdo.

Dentro del cuestionario se tienen 2 ítems el número 20 y 21 con escala tipo Likert para su medición y opciones de respuestas que va desde 1) siempre, 2) casi siempre, 3) a veces, 4) casi nunca y 5) nunca, los cuales estiman la falta de preocupación razonable por parte del profesional de enfermería cuando se enfrenta a una condición peligrosa que puede ser factor condicionante de autocuidado deficiente como interferencia específica dentro de los factores humanos.

Dimensión Factores Ambientales

En la dimensión factores ambientales que pueden influir en el autocuidado de enfermería al aplicar la mecánica corporal están en primer lugar, los relacionados a los recursos institucionales es decir cuando no se dispone de ellos, no son los necesarios o los adecuados, para evaluar la significancia de dichos factores con relación al problema de estudio, se plantean en el cuestionario los ítems 22, 23, 24, 25 y 26 con escala de tipo Likert para su medición con opciones de respuesta que va desde 1) siempre, 2) casi siempre, 3) a veces, 4) casi nunca y 5) nunca.

Concluye el cuestionario con los ítems número 27, 28 y 29 con escala tipo Likert para su medición y opciones de respuestas que va desde 1) siempre, 2) casi siempre, 3) a veces, 4) casi nunca y 5) nunca, los cuales estiman la falta de actuación y comunicación para prevenir o controlar las condiciones peligrosas por parte del profesional de enfermería como grupo social cuando identifica alguna condición laboral insegura que puede ser factor condicionante de autocuidado deficiente.

Validación de fiabilidad del instrumento

El instrumento de recolección de datos fue sometido a un proceso de validación de fiabilidad interna, donde el significado indica la intensidad con la que se relaciona un aspecto con otro, esto es si está midiendo una sola característica (Dawson & Trapp, 2005, pág. 262), mediante la prueba α de Cronbach (correlación de promedios) utilizando el software estadístico para las Ciencias Sociales SPSS Versión 23 para Windows, obtenido una confiabilidad de 0.840 denotando con este resultado que hay acuerdo entre los reactivos o ítems del instrumento. Anexo 1 (Instrumento).

Aspectos éticos del estudio

La presente investigación obedece a los principios éticos del Reglamento de la Ley General de Salud en materia de Investigación para la Salud y principios éticos universales.

8. Resultados

Dimensión aspectos biográficos y laborales

De los 72 profesionales de enfermería que participaron, se encontró que: con respecto al grupo de edad, el 44.4 % (32) se encuentra entre 30 y 34 años, el resto en otros grupos de edades; lo que indica que el profesional de enfermería esta tendiente a envejecer (tabla 1).

En cuanto al sexo el 81.9 % (59) corresponde al sexo femenino y el 18.1 % (13) hombres (tabla 2). Observándose que con predominio el sexo femenino. En relación al estado civil el 54.2% (39) son casadas y el 29.2 % (21) solteras(os) el resto se ubica en otros estados civiles (tabla 3). Más de la mitad de los profesionales son casados. Con respecto al nivel académico el 55.6 % (40) son de nivel licenciatura, el 36.1 % (16) tiene nivel técnico, el resto en otras opciones de respuesta. Lo que nos indica que por arriba del 50 % del personal de la Institución tienen un buen nivel académico (tabla 4).

El 25.0% (18) se encontraron ubicados en el turno matutino, el 22.2 % (16) en el vespertino y el 38.9 % en el turno nocturno A y B, el resto en la jornada acumulada (tabla 5). Referente a la Antigüedad en la Institución el 41.7% (30) de los profesionales de enfermería tiene entre 0 y 5 años y el 40.3% (29) entre 11 y 15 años, el resto en otros años de antigüedad (tabla 6). El 69.4 % (47) de los profesionales de enfermería se encuentra distribuido en los servicios de Urgencias, Sala de labor y quirófano y C.E.y E. mientras que un 30.6 % en los servicios de Hospitalización, cabe mencionar que en estos últimos es donde se movilizan o trasladan pacientes con mayor frecuencia por lo tanto donde se aplica la mecánica corporal y es donde se encuentra menor número de distribución de personal (tabla 7).

Dimensión factores humanos

En lo referente a los resultados obtenidos sobre factores humanos que influyen en el autocuidado de enfermería al aplicar la mecánica corporal relacionado a interferencias específicas como discapacidades que influyen en el control de la posición y el movimiento se encontró que:

El 33.3 % (24) de los profesionales manifiestan haber tenido problemas de salud diagnosticados por un médico atribuibles al trabajo, mientras que el 66.7 % (48) menciono no haber sufrido ninguna lesión (tabla 8). De este 33.3 % (24) de los profesionales de enfermería quien han tenido problemas de salud diagnosticados por un médico atribuibles al trabajo, el 13.9 % (10) padeció dorsolumbalgias, el 2.8% (2) sacrolumbalgias, el 2.8 % (2) hernia discal y un 13.9 % (10) tendinitis (tabla 8.1). Cabe mencionar que al 12.2 % (16) del total de los profesionales de enfermería que presentó alguna alteración de las mencionadas anteriormente se le prescribió incapacidad médica mientras que al 11.1 % (8) no se otorgó (tabla 8.2) y del total de profesionales de enfermería que presento problemas de salud diagnosticados por un médico y con prescripción de incapacidad médica al 6.9 % (5) le indicaron de 1 a 5 días, al 4.2 % (3) de 6 a 10 días, al 4.2 % (3) de 16 a 20 días y al 5.6 % (4) se le otorgaron más de 20 días (tabla 8.3). Las tablas 8.1, 8.2 y 8.3 se desprenden del ítem número 8 del cuestionario.

En lo referente a los resultados obtenidos sobre factores humanos que influyen en el autocuidado de enfermería al aplicar la mecánica corporal relacionado a los intensos estados emocionales que restringen la atención y la conciencia de acuerdo a la aplicación de los adjetivos de afecto negativo de la escala Positive and Negative Affect Schedule (PANAS) se encontró lo siguiente. Los siguientes resultados donde se citan las tablas del 9.1 al 9.10 se desprenden del número 9 del cuestionario.

El 72.2 % (52) no experimentan nada de preocupación cuando están en su trabajo, mientras que un 23.6 % (17) manifestaron que un poco y solo un 4.2 % (3) refieren bastante preocupación (tabla 9-1). Un 83.3 % (60) de los profesionales no experimentan nada de sentimiento de disgusto cuando están en su trabajo, mientras que un 13.9 % (10) manifestaron que un poco y solo un 2.8 % (2) refieren sentirse disgustados (tabla 9.2). El 88.9 % (64) no experimentaron nada de culpabilidad cuando están en su trabajo, mientras que un 8.3 % (6) manifestaron que solo un poco y únicamente el 2.8 % (2) refieren sentir culpabilidad (tabla 9.3). El 86.1 % (62) no experimentaron nada de susto cuando están en su trabajo, mientras que un 11.1 % (8) dijeron que solo un poco y únicamente el 2.8 % (2) refieren sentirlo (tabla 9.4). El 81.9 % (59) de los profesionales no experimentaron nada de enfado/furia cuando están en su trabajo, mientras que un 11.1 % (8) dijeron que solo un poco y únicamente el 6.9 % (5) refieren sentirlo (tabla 9.5).

El 83.3 % (60) de los profesionales no experimentaron nada de mal humor cuando están en su trabajo, mientras que un 13.9 % (10) dijeron que solo un poco y únicamente el 2.8 % (2) refieren sentirlo (tabla 9.6). El 88.9 % (64) de los profesionales de enfermería no experimentaron nada de vergüenza cuando están en su trabajo, mientras que un 6.9 % (5) dijeron que solo un poco y únicamente el 4.2 % (3) refieren sentirla (tabla 9.7). El 73.6 % (53) de los profesionales de enfermería no experimentaron nada de nerviosismo cuando están en su trabajo, mientras que un 20.8 % (15) dijeron que solo un poco y un 4.2 % (3) refieren sentirlo (tabla 9.8).

El 75.0 % (54) de los profesionales de enfermería no experimentaron nada de nerviosismo cuando están en su trabajo, mientras que un 20.8 % (15) dijeron que solo un poco y un 2.8 % (2) refieren sentirlo (tabla 9.9). El 81.9 % (59) de los profesionales de enfermería refieren no haber experimentaron nada de temor mientras están en sus labores, un 15.3 % (11) dijeron que solo un poco, 1.4 % (1) bastante y solo un 1.4 % (1) mencionan que sintieron mucho temor (tabla 9.10).

Con relación a los resultados obtenidos sobre factores humanos que influyen en el autocuidado de enfermería al aplicar la mecánica corporal relacionado a interferencias específicas como la falta de conocimiento de los peligros o de los medios para controlarlos o evitarlos (falta de conocimientos sobre la mecánica corporal) se encontró que:

El 86.1 % (62) están muy de acuerdo y el 11.1 % (8) algo de acuerdo en que la mecánica corporal es el esfuerzo coordinado de los sistemas esquelético y nervioso para mantener el equilibrio, la posición y el alineamiento corporal al incorporarse, moverse, encorvarse y llevar a cabo las actividades de la vida diaria. Lo que indica que la mayoría tienen conocimiento sobre la definición de la mecánica corporal (tabla 10). También se pudo observar que los profesionales de enfermería tienen conocimiento sobre aspectos generales de la mecánica corporal ya que el 76.4 % (55) mencionaron estar muy de acuerdo en que el movimiento corporal es una actividad del esqueleto, los músculos y el sistema nervioso lo que contribuye a tener buenas posturas y posiciones corporales durante el reposo y la actividad (tabla 11)

En cuanto a la percepción que tienen los profesionales de enfermería sobre los beneficios que tiene la aplicación de la mecánica corporal el 83.3 % (60) mencionó estar muy de acuerdo en que es necesaria para una vida sana de todas las personas, ya que la posición correcta y el movimiento eficaz del cuerpo son esenciales desde el punto de vista terapéutico (tabla 12).

Referente a la importancia y habilidad que tienen para aplicar los principios de la mecánica corporal el 88.9 % (64) está muy de acuerdo que son importantes para evitar complicaciones cuando se utilizan de forma correcta las posturas y la energía (tabla 13).

En cuanto al conocimiento que tienen los profesionales, referente al principio sobre fisiología del sistema músculo esquelético el 41.7 % (30) refirió estar algo de acuerdo y el 27.8 % (20) muy de acuerdo en que los músculos siempre se encuentran en ligera contracción y los más grandes se fatigan con mayor rapidez que los pequeños, favoreciendo dicho conocimiento para aplicarlo en pro de una adecuada mecánica corporal al momento de la movilización y traslado de pacientes y por consiguiente favorecer prácticas asertivas de autocuidado (tabla 14)

Respecto a la importancia de la aplicación del principio fundamental de la fisiología muscular el 41.7 % (30) comentó estar algo de acuerdo y el 38.9 % (28) algo de acuerdo en que los músculos siempre se encuentran en ligera contracción al aplicar la mecánica corporal (tabla 15). En cuanto a la importancia de la aplicación del principio fundamental sobre estabilidad física en la mecánica corporal el 55.6 % (40) comentó estar muy de acuerdo y el 33.3 % (24) algo de acuerdo en que la estabilidad de un objeto siempre es mayor cuando se tiene una base amplia de apoyo, un centro de gravedad bajo y la línea de gravedad cae dentro de la base de apoyo (tabla 16). Respecto a la importancia que tienen los principios físicos para la correcta aplicación de la mecánica corporal el 81.9 % (59) dijo estar muy de acuerdo y el 12.5 % (9) algo de acuerdo en que es más fácil deslizar un objeto que levantarlo (tabla 17). Respecto a la importancia que tienen los principios físicos referente al equilibrio para la correcta aplicación de la mecánica corporal el 41.7 % (30) dijo estar muy de acuerdo y el 37.5 % (27) algo de acuerdo en que la fuerza necesaria para conservar el equilibrio del cuerpo es máxima cuando la línea de gravedad está más alejada del centro de la base de apoyo (tabla 18). En relación a la importancia que tiene el principio referente a los cambios posturales para la correcta aplicación de la mecánica corporal el 68.1 % (49) dijo estar muy de acuerdo, el 23.6 % (17) algo de acuerdo y el 5.6 % (4) ni de acuerdo ni en desacuerdo en que los cambios de actividad y posición ayudan a conservar el turno muscular y por consiguiente evitar la fatiga (tabla 19).

En lo referente a los resultados obtenidos sobre factores humanos que influyen en el autocuidado de enfermería al aplicar la mecánica corporal relacionado a interferencias específicas como la falta de preocupación razonable por los peligros se encontró que:

El 84.7 % (61) de los profesionales mencionaron siempre aplicar los principios fundamentales de la mecánica corporal cuando movilizan o trasladan algún paciente, mientras que el 6.9 % (5) casi siempre o a veces respectivamente (tabla 20). Mientras que el 38.9 % (29) manifiestan siempre aplicar y realizar precauciones así como llevar a cabo los principios fundamentales de la mecánica corporal cuando realizan movilización o el traslado de algún paciente; mientras que en un 34.7 % (25) refieren que casi siempre y el 20.8 % (15) que a veces únicamente lo realizan (tabla 21). Tomando en cuenta los anteriores resultados estadísticos indican que los profesionales de enfermería de esta institución de salud muestran una preocupación razonable por los peligros que interfieren para un autocuidado.

Dimensión factores ambientales

Referente a los resultados obtenidos sobre la identificación de factores ambientales que influyen en el autocuidado de enfermería al aplicar la mecánica corporal específicamente cuando no se dispone de recursos o no son los adecuados se encontró lo siguiente:

El 43.1 % (31) de los profesionales mencionaron que a veces las camillas que se utilizan para el traslado del paciente están en buenas condiciones y cuentan con medidas de seguridad como barandales funcionales mientras que el 23.6 % (17) refieren que casi nunca se cuenta con lo anterior (tabla 22). El 38.9 % (28) de los profesionales mencionaron que solamente a veces se cuenta con sillas de ruedas para movilizar pacientes, mientras que el 23.6 % (17) dice que casi siempre hay disponibilidad y solamente un 19.4 % (14) dijeron que casi nunca las hay (tabla 23). El 37.5 % (27) de los profesionales mencionaron que la cama clínica del paciente siempre cuenta con el espacio suficiente y las medidas de seguridad necesarias que permiten una adecuada movilización del paciente mientras que el 20.8 % (15) manifiesta que casi siempre y el 25.0 % (18) que a veces se cuenta con lo anterior (tabla 24).

El 27.8 % (20) de los profesionales de enfermería del Hospital General Pénjamo Gto., mencionaron que solo a veces la central de enfermería cuenta con mobiliario que facilita posturas mientras se trabaja, mientras que el 20.8 % (15) manifiesta que siempre, el 18.1 % (13) dice que casi nunca y solamente un 16.7 % (12) refieren que casi siempre está equipada la central de enfermería (tabla 25). El 34.7 % (25) de los profesionales manifestaron que solo a veces cuentan con camilleros que les apoye en la movilización y traslado de pacientes mientras que el 29.2 % (21) refiere que casi nunca y el 16.7 % (12) manifestó que nunca se cuenta con este personal de apoyo (tabla 26).

En lo referente a los resultados obtenidos sobre factores ambientales que influyen en el autocuidado de enfermería al aplicar la mecánica corporal específicamente a la falta de actuación y comunicación para prevenir o controlar las condiciones peligrosas se encontró lo siguiente:

El 43.1 % (31) de los profesionales mencionaron que siempre actúan para prevenir o controlar las condiciones peligrosas cuando identifican algún desperfecto en el mobiliario y equipo que influya directamente en el autocuidado y en la aplicación de la mecánica corporal, mientras que el 20.8 % (15) manifiesta que casi siempre y el 25.0 % (18) solo a veces realiza esta acción (tabla 27). El 41.7 % (30) mencionaron que siempre actúan para prevenir o controlar las condiciones peligrosas realizando una solicitud de mantenimiento preventivo, correctivo o notificando a su jefe inmediato cuando identifican algún desperfecto en el mobiliario o equipo que influya directamente en el autocuidado en la aplicación de la mecánica corporal, mientras que el 36.1 % (26) manifiesta que casi siempre y solo el 15.3 % (11) a veces realizan esta acción (tabla 28). El 61.1 % (44) mencionaron que siempre notifican a sus compañeros de trabajo cuando identifican algún desperfecto en el mobiliario y equipo que puedan ocasionar condiciones peligrosas e influya directamente en el autocuidado en la aplicación de la mecánica corporal, mientras que el 25.0 % (18) manifiesta que casi siempre realiza esta acción (tabla 29).

Asociación entre la dimensión de aspectos biográficos y laborales con ítems del instrumento

Se realizó asociación de aspectos biográfica y laboral con los ítems del instrumento no se observa significancia estadística pero si numérica por lo que se tomó como punto referencial para el análisis:

Respecto a la asociación edad de los profesionales de enfermería y los problemas de salud provocados por el trabajo y diagnosticados por el médico el 34.7 % (25) mencionó haberlos padecido y de este, el grupo de edad que mayor problema manifestó fue el de 41 y más años con un 13.9 % (10), el resto en otras opciones de respuesta (tabla 30).

En relación a la edad y los beneficios que tiene la aplicación de la mecánica corporal para que las personas tengan una la vida sana, el 83.3 % (60) mencionaron estar muy de acuerdo, y de este el 33.3 % (24) se ubica en el rango de 30-40 años de edad, el resto en otras opciones de respuesta (tabla 31). Referente a la edad y el conocimiento que tiene el profesional de enfermería sobre el concepto de la mecánica corporal se precisa que el 86.1 % (62) están muy de acuerdo y de este, el 38.9 % (28) se ubica entre 30 y 40 años de edad, el resto en otras opciones de respuesta. Estos profesionales refieren que la mecánica corporal es el esfuerzo coordinado de los sistemas músculo-esquelético para mantener el equilibrio y otros aspectos para llevar a cabo las actividades de la vida (tabla 32).

En relación con la edad y los beneficios sobre la aplicación de la mecánica corporal para evitar lesiones musculoesqueléticas, se observa que el 88.9 % (64) de los profesionales de enfermería están muy de acuerdo y de este el 37,5 % (25) se ubica entre 30 y 40 años de edad, el resto en otras opciones de respuesta (tabla 33)

En cuanto a la edad de los profesionales y la conveniencia de aplicar los principios fundamentales de la mecánica corporal el 84.7 % (61) comentó siempre los aplican y de este, el 34.7 % (25) está entre 30 y 40 años de edad, el resto en otras opciones de respuesta (tabla 34). De acuerdo al nivel académico de los profesionales el 76.4 % (55) manifestó estar muy de acuerdo que el movimiento corporal es la actividad del esqueleto, los músculos el sistema nervioso; determinando estos la buena postura y las posiciones corporales que mantienen la persona durante el reposo y la actividad. El 43.1 % (32) se ubicó en el nivel licenciatura, el resto en otras opciones de respuesta (tabla 35).

Respecto al turno donde se ubican los profesionales de enfermería y la relación con problemas de salud provocados por el trabajo y diagnosticados por el médico el 34.7 % (25) respondieron positivamente y de este, el 11.1 % (8) se ubica en el turno vespertino y 9.7 % (7) en el matutino, el resto en otras opciones de respuesta (tabla 36). Con relación al turno y a la conveniencia de aplicar los principios fundamentales de la mecánica corporal en la movilización o traslado de pacientes el 84.7 % (61) comentó que siempre los aplican y de este quien más lo hace fue el turno matutino con un 20.8 % (15), el resto en otras opciones de respuesta (tabla 37). En relación al apoyo que recibe el profesional de enfermería de los diferentes turnos por parte del personal de camillería cuando realizan movilización o traslado de pacientes se precisa que el 34.7 % (25) refirió que veces; el 29.2 % (21) que casi nunca y el 16.7 % (12) mencionó que nunca, el resto en otras opciones de respuesta (tabla 38).

Referente a la antigüedad y la presencia de problemas de salud provocados por el trabajo y diagnosticados por el médico el 34.7 % (25) de los profesionales de enfermería refirió presentarlos y de éste el 19.4 % (14) tienen una antigüedad de entre 11 y 15 años (tabla 39). En relación al servicio y la consideración por los profesionales de enfermería si la mecánica corporal es necesaria para una vida sana de todas las personas, se observa que el 83.3 % (60) respondió estar muy de acuerdo y de este el 22.2 % (16) se ubican en el servicio de urgencias y quirófano el resto en otras opciones de respuesta (tabla 40).

9. Agradecimiento

Agradecemos a las autoridades y personal de enfermería del Hospital General de Pénjamo Guanajuato.

10. Discusión

Los factores ambientales para este caso son: 1) Los relacionados a los recursos es decir cuando no se dispone de ellos o no son los necesarios o adecuados, las camillas que se utilizan para trasladar pacientes no siempre están en buenas condiciones y con las medidas de seguridad idóneas, también se refleja que no siempre se encuentran disponibles sillas de ruedas, además de que las centrales de enfermera no están en óptimas condiciones y la disponibilidad de camilleros es nula cuando se ocupa apoyo profesional para movilizar o trasladar algún paciente, por lo anterior este factor es el más relacionado para que no se tenga autocuidado al momento de que los profesionales de enfermería aplican la mecánica corporal.

Factores ambientales, el personal notifica de forma constante al jefe inmediato o a sus compañeros sobre desperfectos identificados en mobiliario y equipo que pudiera influir en que se tenga autocuidado al momento de aplicar la mecánica corporal, a la vez de gestionar el mantenimiento preventivo o correctivo con el departamento correspondiente de acuerdo a los procesos institucionales establecidos para tal fin. Igualmente, Alcantar (2012) identificó los factores que influyen en el autocuidado de enfermería y menciona que los factores institucionales influyen para que no se lleve un adecuado autocuidado por las Enfermeras.

Cabrera & Ezeta en 2017 hay más predominio de factores institucionales para este fin en específico que personales. Mondragón & Tarrillo, 2017 los factores personales no se asocian a los accidentes punzocortantes, sin embargo los factores ambientales y mecánicos si tienen una asociación.

Burga & Guillermo en el 2015 el mayor porcentaje de los profesionales señala que son factores institucionales los que influyen de manera negativa en la aplicación de las medidas de bioseguridad, en menor porcentaje se encuentran los factores personales.

11. Conclusiones

En relación a las enfermedades provocadas por el trabajo y diagnosticadas por un médico se observan las siguientes tendencias. 1) Los profesionales de enfermería de más de 40 años son los que han sufrido más significativamente alguna enfermedad; 2) predominan mayormente en el turno nocturno A, congruente a los resultados anteriores ya que en el mencionado turno existe una inestabilidad de rotación de personal de camillería y 3) tienen mayor presencia en el profesional de enfermería con más años de antigüedad laboral.

Los profesionales de enfermería entre los 30 y 40 años casi siempre creen conveniente aplicar los principios de la mecánica corporal cuando realizan movilización o traslado de pacientes. Los profesionales de enfermera entre los 20 y 24 años son los que están más comprometidos con el autocuidado y la seguridad laboral ya que cuando identifican algún desperfecto en el material y equipo que influye directamente en el autocuidado, lo comunican a su jefe inmediato y a sus compañeros con la finalidad de prevenir o controlar una situación peligrosa. Es importante mencionar que entre mayor nivel académico tenga el profesional de enfermería manifiestan mayor conocimiento sobre mecánica corporal y una actitud más clara de autocuidado.

En los factores humanos relacionados a: 1) los estados de la persona como las cuestiones emocionales que restringen la atención y la conciencia; 2) las interferencias específicas relacionadas a discapacidades que influyen en el control de la posición y el movimiento, la falta de conocimientos de los peligros o de los medios para controlarlos o evitarlos y la falta de preocupación razonable por los peligros no tuvieron una significancia estadística por lo que se concluye que no son causantes o no interfieren para que los profesionales de enfermería tengan una actitud de autocuidado al momento de aplicar la mecánica corporal al cuando realizan procedimientos asistenciales como la movilización o traslado de pacientes.

En los factores ambientales relacionados a los recursos es decir cuando no se dispone de ellos o no son los necesarios o adecuados, se identificó que las camillas que se utilizan para trasladar pacientes no siempre están en buenas condiciones ni con las medidas de seguridad idóneas, también se refleja que no siempre se encuentran disponibles sillas de ruedas, además de que las centrales de enfermería no están en óptimas condiciones y la disponibilidad de camilleros es nula cuando se ocupa apoyo profesional para movilizar o trasladar algún paciente.

Informar a pacientes y familiares que existen factores institucionales y del personal de salud que vulneran su seguridad, informar cómo puede prevenir riesgos al identificarlos y tomar medidas oportunas.

12. Sugerencias

- Realizar un diagnóstico situacional sobre el estado que guarda el mobiliario y equipo utilizados en la movilización y traslado de pacientes además del capital humanos de enfermería y camillería en la institución.
- Realizar reingeniería en la redistribución de asignación de funciones del personal de camillería con el que se cuenta.
- El profesional de enfermería líder participe en la política institucional específicamente en la política de salud para asegurar una adecuada gestión de recurso para el departamento de enfermería, garantizando con ello un desempeño laboral seguro y adecuado.

13. Aportaciones

- Se aporta un instrumento para la identificación de factores humanos y ambientales que influyen en el autocuidado de enfermería en la aplicación de la mecánica corporal desde la perspectiva de D. Orem.

- Derivado de los resultados de la presente investigación en el hospital general Pénjamo Gto., se reestructurará la gestión del personal de camillería, pasando a cargo del departamento de enfermería, estructurando una descripción de puesto, además de generar instrumentos administrativos para supervisión de sus funciones.

14. Bibliografía

Alcantar, L. (octubre de 2012). Factores que influyen en el autocuidado de Enfermería en la preparación y manejo de citostáticos. Tesis de Maestría. Morelia, Michoacán, México.

Almeida, e. (2005). Manual de la Enfermería. Madrid España: CULTURAL, S.A.

Ayuso, D. (2007). La Gestión de Enfermería y la división médica como dirección asistencial. Madrid España: DIAZ DE SANTOS.

Bardales, e., & Bardales. (2014). Factores personales e institucionales y la ocurrencia de accidentes punzocortantes en trabajadores del Hospital Regional de Loreto Iquitos-2014. Obtenido de RepositorioAs I quitos: http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3538/Elizabeth_Tesis_Titulo_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Burga, M., & Guillermo, D. (30 de marzo de 2016). Factores personales e institucionales que influyen en la aplicación de medidas de bioseguridad en los profesionales de salud del Centro de Salud José Olaya 2015. Obtenido de Registro Nacional de Trabajos de Investigación: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/1941>

Cabrera, N., & Ezeta, T. (05 de Junio de 2017). Factores personales e institucionales que influyen en la exposición ocupacional de accidentes punzocortantes en los profesionales de Enfermería del Hospital provincial docente Belém Lambayeque. Obtenido de Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/3061>

Dawson, B., & Trapp, R. (2005). Bioestadística Médica (4a Edición ed.). México D.F.: Manual Moderno. Frontado, K., Rodríguez, M., & Principe, I. (2017). Uso de la mecánica corporal por las enfermeras del servicio de emergencias del Hospital Belén de Trujillo. Pueblo continente.

León, C. (Septiembre-Diciembre de 2006). Revista Cubana de Enfermería . Obtenido de SciELO : http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03192006000400007

Mondragon, J., & Tarrillo, F. (2017). Factores Asociados a los punzocortantes en personal de salud de emergencia del Hospital Regional Docente Las Mercedes, Chiclayo-2017. Obtenido de Universidad Señor de Sipan: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/4399>

Mora, J., & Chávez, M. (28 de Agosto de 2017). Aplicación de la mecánica corporal en el personal de enfermería durante la atención a pacientes ingresados en traumatología del área de emergencias del Hospital General de la ciudad de Guayaquil. Obtenido de Repositorio de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/8981>

Moral, J. (octubre de 2011). La Escala de afecto positivo y negativo (PANAS) en parejas casadas mexicanas. CIENCIA ergo sum, 117-125.

Nieto, R., & Ruíz, P. (Febrero de 2015). Factores asociados a trastornos músculo-esqueléticos en enfermeras del Servicio del Centro Quirúrgico del Hospital Provincial Docente "Belén"- Lambayeque, 2014. Obtenido de Universidad Señor de Sipan: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/606>

Orem, D. (1993). Conceptos de Enfermería en la Práctica. Barcelona España: MASSON-SALVAT Enfermería.

Orem, D. (1993). *Conceptos de Enfermería en la Práctica*. Barcelona España: MASSON-SALVAT Enfermería.

Pérez, S., & Corveas, B. (2005). Causas de invalidantes laborales en el personal de Enfermería. *Revista cubana de Enfermería*, 21. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03192005000300007&lng=es&tlng=es.

Raile, M. (2014). *Modelos y Teorías en Enfermería*. Barcelona España: ELSEVIER.

Raile, M. (2015). *Modelos y Teorías de Enfermería (Octava Edición ed.)*. Barcelona España: Elsevier España.

Secretaría de Salud. (2000). NOM -197-SSA1-2000 que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de Hospitales y consultorios de atención médica especializada. Cd México.

Secretaría de Salud. (01 de enero de 2006). *Catálogo sectorial de puestos*. Ciudad de México.

Spackman, W. (2005). *Terapia Ocupacional*. Buenos Aires: Panamericana.

Capítulo VI Tecnologías socioambientales con energía limpia. Filtro de Agua Gris Reciclada (FILAGREC)

Chapter VI Socio-environmental technologies with clean energy. Recycled Gray Water Filter (FILAGREC)

GUZMÁN-PUENTE, María Alicia de los Ángeles†*, FLORES-BERRONES, José Raúl, GÓMEZ-MANJARREZ, Itzel y MEJÍA-FLORES, Susana

*Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Centro Activo de las Mujeres*

ID 1^{er} Autor: *María Alicia de los Ángeles, Guzmán-Puente* / **ORC ID:** 0000-0003-4536-6631, **CVU CONACYT ID:** 43733

ID 1^{er} Coautor: *José Raúl, Flores-Berrones* / **ORC ID:** 0000-0002-1037-735X, **CVU CONACYT ID:** 9122

ID 2^{do} Coautor: *Itzel, Gómez-Manjarrez* / **ORC ID:** 0000-0003-4142-6449, **CVU CONACYT ID:** 994438

ID 3^{er} Coautor: *Susana, Mejía-Flores* / **ORC ID:** 0000-0002-8964-1263

DOI: 10.35429/H.2019.4.88.113

M. Guzmán, J. Flores-Berrones, I. Gómez y S. Mejía.

angelesg@uaem.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Díaz, L. Cruz. (Dir.) La ciencia y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2019.

Resumen

Esta innovación para transformar el agua gris o jabonosa en microriego de huertos familiares, utiliza el prototipo denominado FILAGREC que promueve el trabajo colectivo y los esfuerzos en comunidades rurales y semiurbanas. Primero se presentan reflexiones y lecciones aprendidas sobre la implementación y administración del sistema en varios estados de México especialmente en Morelos. Posteriormente se incluye una revisión de la literatura sobre los sistemas de energía renovable y los tratamientos de agua que se utilizan actualmente en diferentes países de América latina. Se destaca el uso de FILAGREC como alternativa de tratamiento de aguas, en cómo funciona el filtro, como se instala y cómo se opera. Se expone el uso del sistema, que promueve la participación comunitaria, y se proporcionan ejemplos de tipos de proyectos comunitarios en los que se ha utilizado el filtro, se ha podido observar una conciencia sobre el uso del agua y sobre la transformación de un círculo vicioso en un virtuoso, por personas que han utilizado el sistema. En el anexo están las notas del taller que se ofrece para capacitar a las comunidades interesadas en FILAGREC

Ahorro Energético, Agua reciclada, Conciencia ambiental, Participación Comunitaria

Abstract

This innovation to transform residual or gray water to one ideal to irrigate family orchards/gardens that produce edible or ornamental plants. The innovation, named FILAGREC, promotes collaborative labor and efforts in rural and semi-urban communities. First, we present our reflections and lessons learned about the implementation and management of FILAGREC's filter system in several states in Mexico, especially in Morelos. Next, we include a literature review of the renewable energy systems and water treatments that are currently used in different countries across Latin America; we highlight the use of FILAGREC as a water treatment alternative. We emphasize how FILAGREC's filter operates, how it is installed and maintained. We explain how the use of the system promotes the participation of the community, and we provide examples of the types of communal projects that occur because FILAGREC is used. Communities with FILAGREC in place develop an awareness regarding the use of water, and moderate their consumption. As an annex to the article we include the notes of the workshop that was offered to train the communities about FILAGREC.

Energy saving, Recycled water, Ecological awareness, Community participation

1. Introducción

Para comenzar este escrito se seleccionó a Marie Sklodowska Curie, hija de maestros polacos, constante buscadora de sus grandes metas. Aportó en la Radiología y Física. Se describen sus laboratorios con lo indispensable, no obstante, logra aportar a la ciencia grandiosos elementos y recibe dos premios nobel. Otras mujeres como Rosalind Franklin en el descubrimiento de la hélice del DNA, la laboratorista que se adelantó a Watson y Creek, y Ellen Ochoa, científica californiana de ascendencia mexicana, con sus aportes en el campo de la óptica.

Este escrito se inspira en la constancia necesaria para encontrar el objetivo, Marie Sklodowska Curie, trabajó con una tonelada de materia prima, y depuró más de 999.9 kilos, y poder encontrar un gramo de sustancia radiactiva. Imaginar ese seguir y perseverar, es lo que nos invita a no dejar un prototipo de reciclaje de agua, que podría tener más sólidos resultados, no obstante, este escrito, describe los procesos y lugares de implementación de este diseño innovador. Este sistema intenta aportar tanto a las ciencias ambientales, sociales como a las naturales e hidrológicas, nuevas visiones de innovación en un campo importante que es la responsabilidad de los usuarios/beneficiarios del agua con el medio ambiente.

El ámbito de trabajo de este sistema hace hincapié en la innovación, más que en calcular, o medir, o racionalizar lo que nos inspira la cita de Einstein del epígrafe. Enfocar en la mente intuitiva sería como revalorar la visión de retornar a la mente sagrada, la creativa e intuitiva como valor supremo, y dejar la mente racional como la servil. Se presenta FILAGREC (Filtro de Aguas Grises Recicladas) como una innovación socioambiental, de entrada, es un sistema de reciclaje de agua, en el que antes de su instalación se invita a reflexionar al beneficiario el valor socioambiental de su agua, reconociéndola desde su origen en los ecosistemas.

Conociendo la red por la que llega a sus sistemas de abasto, identificando manantiales, pozos o fuentes de agua cercanos a la localidad, en los que se extrae en su sistema de abasto local. Sin descargar en los mantos acuíferos, o cuerpos de agua cercanos el agua contaminada de sus comunidades, pueblos o colonia. Analizando y compartiendo los grandes perjuicios que se tienen al contaminar los acuíferos, ríos cercanos o canales.

La participación de más personas usando este sistema dará resultados de control de contaminación, reciclaje de agua, que se reflejan en buenas prácticas para el cuidado ambiental, y el uso de energía adecuada. Con el doble beneficio se usa el agua ya servida en casa, como micro riego de huertos familiares, frutales o plantas de ornato.

Contactando a una comunidad de trabajo, colonia o grupo de interesados, se presenta el sistema *in situ* para tratar el agua y dejarla encaminada para riego de huertos de traspatio, o de algunas plantas que estén cerca del desagüe conectado con el componente filtrador del Filagrec. Insistiendo en la importancia de no dejar ir, ninguna gota a ninguna descarga, se enfoca el sistema en el espacio doméstico, produciendo hortalizas frutas o plantas de ornato, así como hojas verdes capaces de generar oxígeno a la atmósfera.

La metodología de transferencia tecnológica, genera ventajas por la apropiación comunitaria para que puedan dar continuidad por sí mismos. A su vez, es una tecnología amable con el medio ambiente, ahorra energía eléctrica, agua servida en los domicilios, se reutiliza para generar alimentos, asimismo, se elimina el agua contaminada en las descargas. Se detiene en casa sin entregar efluentes a municipio o colonia.

El uso de energía limpia, al usar este sistema, se relaciona con la idea de energetizar y no electrificar, esto hace referencia a llevar energía a las comunidades apartadas, y genera la participación de actores que no estaban en el escenario. El Pacto Mundial de las Naciones contiene un compromiso ético con el medio ambiente, así como el concepto de la Responsabilidad Social Empresarial (RSE) al cual se han ido adhiriendo las grandes empresas latinoamericanas. En ese marco de región latinoamericana, México tiene aportes que se conocen desde la experiencia pequeña casi incipiente del planteamiento FILAGREC como parte de grupos de usuarios que se benefician en un sentido de responsabilidad con el cuidado al medio ambiente.

En la **primera sección**, Desarrollo Sustentable y Sistemas Participativos de Saneamiento del Agua, se presentan algunas reflexiones sobre el sistema FILAGREC bajo la experiencia de su implementación y manejo. Posteriormente se presenta en el marco de los Objetivos de del Desarrollo Sostenible de la ONU (Organización de las Naciones Unidas), las ventajas del sistema participativo de sanear el agua, como parte concreta de una de las metas del Desarrollo Sostenible.

En la **segunda sección**, Energías Renovables y uso de sistemas de reciclaje de agua, con participación comunitaria, se hace una pequeña revisión teórica de los sistemas de energía renovable y limpieza del agua en diferentes países de América Latina. Y se resalta el sistema de saneamiento como parte de un sistema de uso de energías renovables.

La **tercera sección**, presenta al FILAGREC y su forma de operar, en un círculo virtuoso, detallando la parte fundamental socioambiental a partir de su metodología participativa. Después de las conclusiones, hacia el final del capítulo se presenta un Epílogo que enfoca la presentación del sistema y varias reflexiones sobre sus ventajas. En esta sección también se presentan los detalles de estructura de los talleres de prácticas alternativas de manejo de agua, y los pasos de cómo instalarlo en casa y cómo se puede garantizar su mejor funcionamiento compartiendo esta metodología con los talleres para transferir la tecnología.

Primera sección: Desarrollo sustentable y sistemas participativos de saneamiento del agua

1.1 Abatir la contaminación de aguas y energía limpia

Para alcanzar el desarrollo sustentable, hay que abatir la contaminación, y en especial la del agua. En el panorama actual de la problemática de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, (Sánchez, 2014) existen resultados catastróficos, a pesar de los muchos esfuerzos e inversiones, el resultado en cuidado ambiental es mínimo. Esta problemática, en un contexto global, es necesario mirarla en el entorno ecológico. Cada vez es más grande la contaminación mundial del medio ambiente. La rápida industrialización ha causado muchos problemas graves, tales como el agotamiento de los recursos naturales, la degradación de los principales ecosistemas y la contaminación (He, 2016).

Es necesario abatir la contaminación del agua, para ello existen sistemas de tratamiento, se hará hincapié en el ahorro de energía. Los sistemas de tratamiento de aguas, agua y energía están intrínsecamente interconectados. Todas las fuentes de energía requieren del agua para el uso y consumo humano. Actualmente los sistemas de tratamiento de agua ‘convencionales’ son costosos y poco eficientes energéticamente. Con un uso de energía caro, altos costos de operación y traslado de subproductos, uso de sustancias poco accesibles y de importación, en el caso de las plantas de uso de menor energía e insumos, se requiere un costo extra para el traslado de los lodos residuales, que no siempre encuentran un sitio de disposición final, o que aproveche la sinergia de éstos, dejando de lado los nutrientes que contienen.

1.2 Experiencias de FILAGREC como tecnología y participación.

La implementación de estrategias para un mejor manejo sustentable de los recursos naturales ha generado la implementación de tecnologías alternativas en el sector rural y urbano. Los principales protagonistas son las comunidades, que están en contacto con los recursos, quienes validan la eficiencia de técnicas sustentables.

El saneamiento ecológico, basado en tecnologías alternativas promueve la reutilización del agua, protege las reservas de agua subterránea y reduce la carga de aguas residuales. La filtración de agua es uno de los métodos más viables dentro de las alternativas de tratamiento que sigue la dinámica de la naturaleza.

Este sistema generador de procesos participativos para cuidados ambientales como regar un huerto familiar o producción de biomasa vegetal, aprovechando los elementos nutritivos contenidos en el agua de desecho como nitrógeno y fósforo. Esta tecnología permite una reutilización racional del agua y un mejor aprovechamiento del recurso, disminuyendo el impacto sobre los recursos hídricos al hacer un uso más eficiente del mismo (Guzmán, 2002; Guzmán, 2009). Se estima que las aguas residuales domésticas están constituidas por un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca de 99.9% y apenas 0.1% de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos (Díaz, Alvarado y Camacho, 2012).

El sistema ofrece el tratamiento *in situ*, en el mismo lugar donde se generan, con la ventaja del manejo local. Así entonces, se ofrece un nivel de autosuficiencia para la gestión sin uso de sustancias químicas. Sin energía eléctrica ni otros costos energéticos.

Son por el momento dos ventajas al presentar este sistema innovador: manejo eficiente del agua en el espacio doméstico con el reciclaje de la misma, y manejo de energía sustentable, al no utilizar electricidad. El objetivo de la producción de alimento es otra gran ventaja de este sistema. La producción de alimentos, con más del 50% de consumo del agua extraída en los acuíferos del planeta tendría un giro espectacular con el uso de filtros caseros conducidos a huertos. La industria en general, consume aproximadamente 25% de toda el agua provocando que este recurso sea un bien escaso y que su uso represente un coste elevado con tendencia a aumentar, por lo que se hace necesaria su gestión (Hondupalma, 2011).

FILAGREC es un sistema noble que puede ser instalado en cualquier lugar. Se ha visto que es útil para satisfacer necesidades domésticas, personales y de recreación turística, las implementaciones como experiencia comenzaron en 1997 en el fraccionamiento San Isidro y en la comunidad de la Griega, El Marqués Querétaro, con algunos aportes teóricos obtenidos durante la Maestría en Gran Bretaña se siguen instalando cada dos años aproximadamente, en Morelos, Jalisco y Guatemala.

En el programa de maestría, financiado por British Council, a partir de la experiencia del reciclaje *in situ* del agua, -- se pudo integrar un marco teórico referencial de los sistemas de filtrado de agua, que constituye la tesis de Maestría, o disertación titulado “*Integrated Water Management in Rural Mexico: Simple Technology with rural participation*”. Básicamente, la tesis de maestría describe el avance, con el tema de las prácticas alternativas hacia el manejo integral de cuencas (2004) además se publica un capítulo en libro, que reflexiona en español una síntesis de los mismos aportes (2002).

Haciendo un recuento del trabajo integrado con talleres, 2001-2005, con prestantes de servicio social de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos en Tlayacapan, Morelos, se escogieron hogares con las siguientes condiciones: que tenían desecho de agua de lavadero hacia la calle durante las horas de lavado de ropa, donde no hay drenaje. Se impartieron talleres de nueva cultura del agua, que buscaban a posibles coordinadores locales para el filtro, a través de metodología participativa. Ya identificados se daban estrategias para asegurar su apropiación. El contacto en la comunidad, propiciaba el cuidado de los materiales del filtro, para evitar que la tecnología alternativa pueda ser destruida o abandonada.

En un centro ecoturístico en Amatlán Morelos 2008, se instalaron 3 filtros que son los que más han durado, siguen en 2019 operando adecuadamente. Se han hecho pocas intervenciones de apoyo. Ellos solos han promovido el uso de la tecnología. En el estado de México, en la microcuenca del río Chalma (2010) se presentaron talleres y apoyo técnico. Se recapacitó en la falta de visión que tiene la gente que paga por el filtro, y puede alterar el objetivo del reciclaje para producción de alimentos o plantas, esto junto con algunas reflexiones, resaltó la importancia de la transferencia tecnológica participativa y no dirigida.

En 2012 se volvió a trabajar en Morelos, haciendo hincapié en la participación comunitaria, con unos talleres en Tlaltenango (2013-2015) y su posterior implementación en la misma colonia. Un tesista de la Universidad La Salle produce una tesis del proyecto en Tlaltenango. En los años 2015-2017 se integró a talleres de manejo de cultura del agua y se pudo instalar de manera integrada a una microcuenca extranjera, con la ventaja que se tiene del trabajo interinstitucional de saneamiento del lago, en Guatemala Lago Atitlán, y un año después, con un proyecto del Centro Universitario de la Costa Sur de Jalisco.

Cada una de las experiencias ha sido un aprendizaje, se parte de analizar los errores en la implementación, tanto de los talleres como del prototipo y sus componentes, teniendo como base el Filtro de la torre universitaria UAEMorelos, que se instaló desde 2007 hasta 2016, años en los que se interactuó con el IMTA (Instituto Mexicano de tecnología del agua). Se ha integrado una visión interinstitucional, que es un importante revuelo a la metodología y al filtro. Ya con ellos se tienen más de 9 años de observaciones tanto técnicas como sociales, que han permitido seguir avanzando en los diseños de la implementación e innovación social y tecnológica.

La retroalimentación en todos estos años de trabajo, nos lleva a reflexiones importantes, como la necesidad de sumarse a proyectos de saneamiento internacional, donde se lleve el tema del saneamiento, por ello la inclusión del trabajo en el lago Atitlán, en 2014, por sus importantes pasos como se menciona anteriormente en el cuidado del Lago Atitlán particularmente en el saneamiento del lago (Guzmán y Vela, 2018).

Las diversas experiencias han ido fortaleciendo el proyecto y a la vez resaltan los errores, de tal forma que no se cometan de nuevo y se mejore la metodología. Uno de los aspectos importantes es encontrar el responsable en el lugar de trabajo. Este es un punto vulnerable del proyecto, pues, aunque de entrada aparezca, es difícil que mantenga comunicación con el grupo universitario de seguimiento, desde la coordinación de gestión comunitaria del agua de la UAEMorelos. El que más ha logrado la comunicación es el que tiene el mejor resultado.

De esta forma podrá ser monitoreado para ver tanto aspectos técnicos, volumen de agua tratada, cantidad de plantas producidas, problemas de mantenimiento de los componentes del sistema, como aspectos sociales, manejo local del sistema, nivel de concientización de las personas, mantenimiento de los componentes filtrantes y la calidad del agua filtrada mediante una metodología participativa con la comunidad elaborando un diagnóstico y seguimiento para evaluación.

Así entonces, el Saneamiento Participativo con el sistema filtrante, tiene como finalidad reutilizar el agua y producir biomasa vegetal. Ya que se trata de extraerla y devolverla con el menor impacto posible, propiciando el desarrollo normal del ecosistema de origen (ríos, humedales, acuíferos subterráneos).

Los talleres de transferencia tecnológica se basan en actividades que resaltan la riqueza humana. Desde el punto de partida se trata de compartir el conocimiento con los beneficiarios, lo que detona procesos participativos. Se mantiene contacto desde la instalación del prototipo hasta la fase de acompañamiento mediante las visitas de seguimiento en los lugares de trabajo. Así se concibe a la propia comunidad actora de su propio desarrollo hasta que los propios contactos comunitarios lo consideren necesario.

Es importante recalcar que el agua o efluente de salida del prototipo, se aprovecha para riego, y no se integra al sistema de drenaje del pueblo, colonia o asentamiento. Este aporte es único pues los sistemas generales de tratamiento se mezclan con el agua negra. El proceso resalta una dinámica de aprovechamiento. Este proceso genera que las personas que utilizan este sistema tengan una actitud responsable y ecológica con el agua.

Los pobladores de las comunidades han inspirado este sistema con sus saberes y técnicas rudimentarias para la creación de este prototipo: usar el agua en casa en lo cotidiano y tener un sistema ecológico de tratamiento en el hogar para evitar la contaminación de los ecosistemas alrededor de sus viviendas (Guzmán *et al*, 2017), de este modo, no sólo se recicla agua, sino que la comunidad participa activamente en el saneamiento.

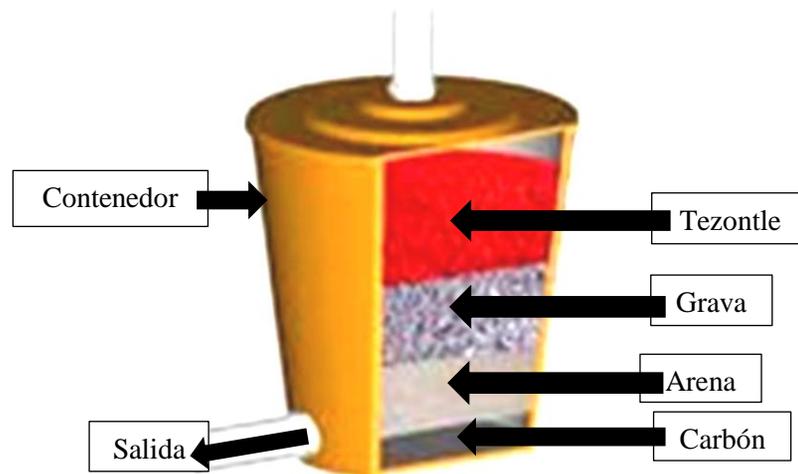
El filtro, tiene: tezontle, arena y grava, como se verá en el epílogo, estas materias filtrantes, se encargan de retener residuos en forma de sólidos pesados, aniones y microorganismos por donde fluye el agua. El objetivo principal del sistema es tratar con toda el “agua gris” de un espacio doméstico, también llamada agua jabonosa, es decir, aquellas que provienen de lavamanos, duchas, lavadoras, lavaplatos y lavaderos. Agua que requiere de tratamientos diferentes y más complejos para la remoción de esos sólidos suspendidos y sustancias asociadas.

Ya instalado totalmente, es un sistema que presenta tres secciones fundamentales, como se ha mencionado: el prototipo filtrante, el huerto y el humedal o huerto familiar. Cada sección tiene su importancia desde el punto de vista ambiental, energético y social. (ver en la sección 3 la figura 4. Esquema del filtro Universitario).

En el caso de los 9 años de trabajo experimental en la UAEMorelos, el agua proveniente de los baños de la torre universitaria, 7 pisos con baño de 3 lavabos en cada uno de ellos, se conectaron al componente principal, que mantiene las capas de materiales filtrantes, su conexión al huerto tuvo éxito en la cosecha de zarcas –ver el anexo fotográfico – que sustituyeron al jitomate y chile (no se adaptaron a la sombra que tenía más de 10 horas del día). Este experimento estuvo destinado a generar alimentos. Los años de inserción en las comunidades, sí lograron producir comestibles, principalmente en zonas rurales. Otras aplicaciones del sistema se realizaron al instalar filtros de agua jabonosa móviles, en espacios domésticos del poblado de Tlaltenango Morelos (Guzmán, 2014).

Desde los primeros años el trabajo se ha inspirado en la participación en la cuenca, pues finalmente al hablar de agua de acceso y agua de descarga se refiere al río más cercano o cuerpo superficial al inyectar agua a una población y la salida se refiere al manto acuífero cercano para la descarga, ese trabajo se incluye como primera parte de los talleres de implementación del filtro, en los que se les hacen dinámicas a los posibles beneficiarios del sistema filtrante, que determinen y dibujen en mapeos participativos, el origen o fuentes de agua, en sus alrededores.

La metodología participativa es un sistema lento comparado con lo que simplemente sería instalar una tecnología con su manual. Por ello, el avance es en espiral y a paso de caracol, ya que los resultados son escasos y los parámetros de evaluación son amplios ya que entrecruzan lo técnico y lo social. Aunado a que ha sido un proyecto precario, con poco apoyo financiero, con poco recurso propio, pero bastante tiempo de reflexión. El impacto es amplio sobre todo porque se están formando recursos humanos y sociales capaces de gestionar su propio desarrollo.

Figura 6.1 Esquema del filtro FILAGREC

Fuente: Elaboración Propia

1.3 FILAGREC inmerso en un marco referencial sobre el Saneamiento

Se asumió la tarea de ampliar el lente de comprensión de la problemática del saneamiento, no solo la acción de limpiar el agua antes de desecharla en el río, sino incidir en los programas que se encargan de realizar la tarea.

Esto implica conocer las instituciones, los proyectos que apoyan el saneamiento aplicado en todo el planeta, como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), la Organización de las Naciones Unidas (ONU). A nivel nacional, la Comisión Nacional del AGUA (CONAGUA) y las comisiones de estado, como en el caso de Morelos, la Comisión Estatal para el Agua y el Medio Ambiente (CEAMA). Esto un Objetivo del Desarrollo Sostenible, dictado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Calderón, 2015) ante las metas del nuevo milenio; la oferta de financiamientos ha tenido como característica lineamientos complejos que no pueden incidir en los cambios necesarios.

Comprender de origen lo que sucede en esas instituciones financiadoras, puede servir para hacer más personas conscientes en esta problemática y facilitar la gestión desde las instancias locales.

Se han contaminado casi nueve de cada diez ríos de México. Se ha desordenado tanto el ciclo del agua, que mientras algunos lugares se inundan y los habitantes mueren por las graves consecuencias de los ríos desbordados, en otras partes hay escasez de agua. Se tiene una gran tarea que hacer para devolver la salud a los ríos y manantiales y se puede brindar información valiosa e invitar a acciones concretas.

Si se usara la energía adecuada y se intercambiaran las fuentes de generación de energía por otras más limpias, se podría ayudar a tener un planeta más armonioso. Además, del uso de tecnologías que limpien el agua, ligadas a un gasto energético austero y eficiente, se pueden usar diversas fuentes energéticas alternativas que ayuden a acercarnos al equilibrio necesario para el desarrollo adecuado de la vida en este nuestro planeta.

Las plantas de tratamiento tienen un sistema centralista de funcionamiento, Los sistemas alternativos invitan a participar para cuidar las barrancas, ríos, aguas no tratadas, o a la carencia de financiamiento para comprar sistemas muy caros. Con dichos sistemas ecológicos, como lo puede ser este sistema filtrador, hay sin duda, más posibilidades para incluir a mucha más gente.

Se trabaja con el pequeño cauce subterráneo donde cae el agua contaminada de las casas, hasta el entorno total de la microcuenca que abraza todo el ramal que conforma un río, la contribución es como un grano de arena, pero muy oportuno, desde nuestra acción local a una acción regional y global, para abatir grandes daños.

1.4 Objetivos del Desarrollo Sustentable y su conexión con sistemas de saneamiento

En 2015, los países del mundo adoptaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. En 2016, entró en vigor el Acuerdo de París sobre cambio climático, que responde a la necesidad de limitar el aumento de las temperaturas globales con la actualización de las metas del nuevo milenio (ONU, 2016), que operan del 2000 al 2020. Ahora, la visión para el año 2030, se tienen 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de aplicación universal, que desde el 1 de enero de 2016 rigen los esfuerzos de los países en una meta global de un mundo sostenible, para que todos los países del mundo alcancen un mejor desarrollo humano.

Posteriormente, comenzaron los informes de la etapa de avance que se tenía en cada rubro, por ejemplo, la meta 7 que es la de alcanzar el desarrollo sostenible en todos los rincones del mundo, y su apartado C, llevar agua y saneamiento. Concretamente en el informe de los Objetivos de Desarrollo del Milenio del año 2013, Ban Ki-Moon, Secretario General de las Naciones Unidas, mencionó que se han logrado avances significativos y sustanciales en el porcentaje de personas sin acceso sostenible a fuentes mejoradas de agua potable.

Para 2015 cumplir con la meta del Objetivo de Desarrollo significará extender los servicios de saneamiento a aproximadamente 660,000 personas al día, todos los días, entre 2011 y 2015. La pregunta actual es ¿Se avanzó con esas cifras necesarias para alcanzar la meta? La respuesta es NO, y ahora en 2019 ¿Cuál será entonces el número de personas atendidas diariamente para alcanzar la meta?

La solución iría encaminada a *sanear* las aguas residuales y *sanear* la gestión del recurso vital al incluir al beneficiario del servicio, como operario del sistema. Generar un enfoque distinto en la costosa cadena de abastecimiento y deshecho, que puede ser más simple. Enfocando principalmente el hecho que la cadena comienza y termina en el hogar, en donde las aguas residuales se convierten en materia vegetal viviente, plantas para alimento o para ornato, como una alternativa a la problemática observada.

Llegar a esa meta sería la base de tecnologías alternativas. Ya bastantes se están trabajando para abatir todas las fuentes de contaminantes (fugas de hidrocarburos hacia el subsuelo, expulsión de gases nocivos provenientes de vehículos automotores y aviones). Sin duda alguna, el tema del agua es de gran importancia ya que es un recurso indispensable en cualquier aspecto no sólo de la vida humana sino de todo ser vivo existente sobre la tierra, por ello es necesario realizar prácticas en pro de la conservación del recurso hídrico.

Se trabaja de forma interdisciplinaria y se ha fortalecido un sistema denominado saneamiento participativo que ofrece una tecnología adecuada para tratar las aguas grises y utilizarla en huertos familiares, riego de jardines o producción de biomasa vegetal. Además, se ocupa de involucrar a los sujetos en la adquisición del saneamiento como una responsabilidad compartida, y apoya en la gestión con las instituciones encargadas de operarlo y mantenerlo.

Víctor Toledo en su discurso inaugural al tomar la SEMARNAT a su cargo, que tendrá la misión de orientar la política ambiental del país, anotó que ésta será una política de restauración y de cuidado, aire respirable, agua para todos, energía alternativa no fósil, alimentos sanos, hábitats sanos, hogares sustentables, ciudades ordenadas (Toledo, 2019).

Segunda sección: Energías renovables y uso de sistemas de reciclaje de agua, con participación comunitaria

2.1 Sistemas de Energía Renovable y Limpieza del Agua

En materia de energía, la CEPAL llama a aprovechar el liderazgo de Brasil en la experiencia de uso combinado de biocombustibles. La región aprovecha la experiencia de otros países en temas de eficiencia energética y tecnológica.

Los consumidores serán más conscientes de consumir productos de uso energético eficiente y limpio; y los gobiernos pueden apoyarles a través de esquemas de sustitución de electrodomésticos.

La estrecha relación de la calidad del aire con la salud abre las posibilidades a la colaboración de diversos niveles de gobierno en cada país. De acuerdo a los expertos, la conformación de una política integrada para una mejora en la calidad de aire, sobre todo en zonas urbanas, requiere de una cuantificación sólida y convincente de las externalidades negativas en la salud y el medio ambiente, con el objetivo de adquirir herramientas de diálogo constructivo con el sector económico. La gestión del espacio y la movilidad de la población son temas significativos en esta dirección.

Existe un interés creciente de los países en tres áreas principales relacionadas al cambio climático: la prevención y respuesta a desastres naturales, los proyectos que aplican hacia los Objetivos de Desarrollo Sustentable de la ONU, reorientación de inversiones a actividades que producen menos emisiones de Gas Efecto Invernadero (GEI). Los fondos internacionales disponibles para la mitigación de cambio climático son de interés para todos los países.

Se verá la importancia de los sistemas sostenibles de generación de energía y limpieza de agua. Para esto se ofrece aquí una síntesis del documento “Energía, desarrollo industrial, contaminación del aire y la atmósfera y cambio climático en la región de América Latina y el Caribe: nuevas políticas, lecciones, mejores prácticas y oportunidades de cooperación horizontal” elaborado por la CEPAL y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Este documento aporta referencias puntuales para un panorama más amplio de los desafíos y temas pendientes de un camino hacia el desarrollo sostenible, brinda ejemplos y buenas prácticas desarrolladas en diferentes países de la región.

2.2 Energía

El primer tema en el documento es la producción, las fuentes de generación y el consumo de energía. Éste se analiza por medio de la intensidad energética, indicador que establece la relación entre crecimiento económico y consumo de energía. La Comisión recomienda aprovechar el mercado de reducciones certificadas para inducir patrones de producción y consumo más limpios para reducir tanto las emisiones como la contaminación local.

El documento también analiza el alza en la demanda de energía eléctrica y la generación de electricidad con gas natural como una fuente alternativa de energía. México ha comenzado a participar en el mercado eléctrico de Guatemala, y ya existen diversas propuestas elaboradas por las empresas petroleras de los países exportadores (Instituto Mexicano para la Competitividad, 2013).

En cuanto a la energía limpia que se relaciona con la idea de energetizar y no electrificar, se hace referencia a llevar energía a las comunidades apartadas, y generar la participación de actores que no estaban en el escenario, Wyczykier (2019) hace notar, nuevos actores con nuevas demandas, para este sistema, en una referencia al cambio climático, se ha vinculado al concepto de uso de energías renovables, a partir de interacciones con grupos sociales vulnerables, como son los sectores más pobres, en muchos casos, manifiestan nuevas luchas políticas y el surgimiento de nuevas identidades en torno a la defensa de la tierra, el agua y el viento por las comunidades indígenas (Hernández, 2019) que son las más susceptibles a las variaciones en el precio del petróleo y la energía eléctrica; en este tema algunos países han considerado útil el concepto de energetizar en vez de electrificar en zonas rurales o de bajos recursos.

De modo que se integran actores que han estado invisibles, y pasan al escenario como parte de los protagonistas pues lograron atravesar barreras impuestas por hegemonías (Wyczykier y Anigstein 2019).

La visibilidad de nuevos actores se integraría con usar el agua de manera productiva para los alimentos, de modo que se complementen las iniciativas que fomentan el uso de costumbres y tradiciones de pueblos con usos eficientes de energía, así como fuentes de energía renovables en comunidades donde se permite incrementar el empleo y los ingresos locales entre los que más lo necesitan. Como lo menciona Guerrero (2019) es un nuevo indicador que implica incluir la categoría socioambiental y medir el bienestar de los grupos sociales y el compromiso

El desarrollo de las fuentes de energías renovables en América Latina y el Caribe es muy reducido en relación al potencial que la región tiene, a excepción de la generación de hidroelectricidad. México es el país donde la renovación de la oferta (ofertas renovables/oferta total de energía) tiene el índice más bajo en la región, 10%. Brasil, Argentina y América Central muestran en sus estrategias energéticas una tendencia a aumentar el uso de biocombustibles (Guzowski, 2016). Usar biocombustibles como recomendación avalada por algunos organismos internacionales como el Banco Mundial y el PNUD, pero también por países en los que esta fuente de energía se utiliza más, como Chile y Argentina (Carrizo, Velut y Ramousse, 2009). Sin embargo, como lo advierten CEPAL, PNUD y FAO, es necesaria mayor investigación y debate sobre el uso y producción de biocombustibles para armonizar la participación de sectores económicos, aspectos ambientales de monocultivos, efectos sociales en poblaciones rurales, seguridad alimentaria y sustentabilidad de la producción (Déniz, Verona y De la Rosa, 2018).

Proyectos de participación de energía eólica, geotérmica e hidroeléctrica – las tres fuentes renovables de energía eléctrica más usadas – (Vidal, 2015) han sido desarrollados en Costa Rica por inversionistas privados y su producción cubre la quinta parte de la demanda en todo el país, mientras que en Guatemala los ingenios azucareros generan el 10% de las necesidades eléctricas del país. Honduras y Nicaragua también aprovechan el bagazo de la caña de azúcar para producir energía. En Centroamérica y República Dominicana la Red de Usuarios de Biomasa ha establecido alianzas estratégicas con diversas organizaciones para fomentar el ahorro de energía y el uso de fuentes renovables. Colombia también ha legislado a favor de los biocombustibles para fomentar el uso de alcohol carburante y biodiesel, con el objetivo de reducir la importación de combustibles fósiles. Otras posibilidades son menos utilizadas, por ejemplo, el uso de biogás generado a partir de la basura y rellenos sanitarios. En México la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) promueve el ahorro de energía en el sector empresarial a través de premios y galardones. Por lo que se espera que durante las siguientes décadas las fuentes renovables adquieran mayor relevancia, y se conviertan en un elemento esencial para el desarrollo y el bienestar futuro de la humanidad (Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable, 2018).

Industria

A pesar de que la mayoría de los países han impulsado políticas ambientales a las que está sujeta la industria, la misma política está orientada a permitir el desarrollo del sector privado a pesar de los costos ambientales y sociales que éste genera.

El desarrollo industrial de exportación se concentra en un número limitado de empresas y excluye a muchas medianas y pequeñas empresas. A estas grandes empresas se les cuestiona constantemente la sostenibilidad de sus prácticas en el uso de recursos renovables y no renovables. Se puedan desarrollar las estrategias más convenientes para la conservación del medio ambiente y la estabilidad social y económica de las zonas donde esta industria se asienta (Carvajal, 2016; Hercilla y Mijael, 2019).

El Pacto Mundial de las Naciones contiene un compromiso ético con el medio ambiente, la Responsabilidad Social Empresarial (RSE) al cual se han ido adhiriendo las grandes empresas latinoamericanas (CEPAL, 2003).

Se insiste en la revisión de la normatividad en material ambiental, la actualización constante de nuevos acuerdos de producción más limpia, la integración de políticas de productividad, competitividad y protección del medio ambiente, el fomento de relaciones comerciales entre pymes y grandes empresas, y la capacitación e información constante a las pymes.

Contaminación

El análisis de la CEPAL indica claramente que en las ciudades de toda la región la contaminación atmosférica ha seguido aumentando. Las grandes ciudades de Latinoamérica, que son también las más contaminadas, carecen de medidas efectivas de control. Santiago, Sao Paulo y Ciudad de México están además en una zona geo-climática que dificulta la ventilación y dispersión de los gases. En 2006 se comenzó en México una serie de medidas de control aplicado por la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) en conjunto con la SEMARNAT. Se disminuyó la cantidad de emisiones para decretar la emergencia ambiental del Índice de Calidad de Aire Metropolitano (IMECA). Entre otras medidas, se restringió la entrada de vehículos foráneos, se mejoró la calidad de combustibles y se modernizó el transporte público. La Comisión recomienda ampliamente la implementación de transporte urbano conocida como metro de superficie o Metrobús instalado con éxito en ciudades como México, Curitiba, Bogotá, Quito, Guayaquil, Sao Paulo y Santiago de Chile.

Cambio climático

El cambio climático es un fenómeno preocupante a nivel mundial, y a pesar de que se considera que la contribución de ALC es relativamente baja se deben contemplar medidas para las situaciones que genera el calentamiento global como eventos atmosféricos extremos, afectación a la producción agrícola, cambios en los niveles hídricos, etc. En toda la región se han observado huracanes e inundaciones; la vulnerabilidad de la población requiere de la cooperación internacional que provenga de los países desarrollados de acuerdo a los compromisos internacionales de mitigación y adaptación ya que afectan también la economía de los países. Herramientas globales como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) podrían activar esta cooperación porque actualmente se encuentran subutilizados.

En los últimos años ha ocurrido una movilización de los gobiernos, grupos locales y el sector privado para intensificar la discusión del tema y aplicar medidas de restricción a las empresas emisoras. Países como México, Argentina, Brasil y Panamá han avanzado en la creación de fondos y herramientas económicas, mientras que Bolivia ha logrado la articulación de comunidades en el esfuerzo. La conservación de los bosques como opción económica ha sido también tema de debate en el que existen los diversos puntos de vista sobre su viabilidad o conveniencia (Conde y Saldaña, 2007).

Destacan las iniciativas forestales, los de energía eléctrica y eólica en los países de América Central. La Comisión considera que la participación de grupos sociales, ciudadanos y comunidades que se benefician de las medidas de desarrollo sostenible es importante para impulsar la integración política en materia ambiental. Todos estos sistemas de baja energía y ecológicamente alternativos, llevan de modo congruente con sistemas ambientalmente sanos a disminuir el volumen de agua residual. El objetivo principal, a este sistema innovador, le da una cualidad diferente, que se quiere resaltar, el agua residual con la que trabaja, es básicamente la gris –la jabonosa, que es la mayoría de la que se desecha en una casa- más del 85%, de esta agua pasa a ser nutriente para plantas, por lo que el filtro es parte de un sistema de micro riego para plantas.

2.3 FILAGREC y Saneamiento Participativo

El saneamiento participativo involucra a las personas en el tratamiento sencillo del manejo de aguas grises a nivel doméstico, apuntando a construir un manejo sustentable de la misma y logrando así una mejor calidad de vida.

Problemáticas a resolver:

- a) Incrementar el aprovechamiento del agua, con el tratamiento de aguas jabonosas de nuestras casas.
- b) Contribuir a disminuir la cantidad de agua contaminada.
- c) Disminuir los costos de tratamiento de aguas de asentamientos humanos.
- d) Generar mecanismos de participación ciudadana.
- e) Aumentar la conciencia para el cuidado del medio ambiente.
- f) Favorecer la producción de alimentos, o plantas de ornato.
- g) Hacer a las personas, responsables de nuestros desechos.
- h) Mirar el ecosistema intrínseco del agua, la microcuenca.

Estas problemáticas llevan a consolidar estrategias para ser más humanos y amables con el medio ambiente, más solidarios y ciudadanos responsables. El agua servida generada por el lavado cotidiano en casas, es el 85% de las aguas usadas en el hogar, provienen del aseo de las personas en una casa y del lavado de la ropa, las cuales actualmente se canalizan junto con las aguas del excusado a una planta de tratamiento, si bien les va, y si no se van directo a los manantiales, ríos, barrancas y océanos. La base principal del sistema FILAGREC, consiste en la separación de los efluentes en toda construcción que tenga servida agua para consumo humano. Ya separadas las aguas se procesan con bajo costo, *in situ*, los municipios, colonias, delegaciones y asentamientos humanos, que pagan por el saneamiento, se beneficiarían con el uso de este sistema alternativo.

De modo que se generan **beneficios económicos** para quien carga con los costos del tratamiento, **beneficio ecológico** pues se evita contaminar otros cuerpos de agua limpia, **beneficio ambiental** pues se producen plantas que generan oxígeno al planeta, beneficio al hogar pues se participa en actividades de compromiso en tareas colectivas que generan mejor calidad de vida. En síntesis, el sistema innovador con sus tres componentes: prototipo filtrante, huerto y humedal, están articulados con la metodología de transferencia de la técnica, logrando un círculo virtuoso en el uso, manejo y cuidado del agua en nuestros hogares.

Ventajas:

- Enfoque local-regional de poblaciones integradas en la microcuenca o cuenca.
- Detiene el drenaje en unidades sencillas.
- Implica tecnología sencilla.
- Bajos costos.
- Está sustentado en beneficios económicos, ambientales, y sociales.
- La construcción del dispositivo es sencilla y no requiere de equipo mecánico ni eléctrico.
- Costo bajo de mantenimiento.
- Buena calidad del efluente.
- El proceso es ambientalmente aceptable.
- Se potencia un control de calidad para Suelo- Agua – Planta.
- El proceso de participación comunitaria se implica como uno de los puntos básicos de la implementación del modelo.

La participación comunitaria es parte de la metodología y contempla los siguientes pasos: Reconocimiento del lugar. Identificación de personas clave. Adjudicación de compromisos. Elaboración de plan de trabajo. Primeras metas en cronograma. Revisión de avances en cuanto a metas. Reflexión de posibles errores. Propuesta de nuevo plan de acción. Revisión de avances. Premiación de primeros logros. Con FILAGREC se trata el agua con lo que en los hogares esa misma agua se puede usar para micro riego ya que cumple con las Normas Oficiales Mexicanas para uso de agua de riego. Con esto se eliminan los costos de los sistemas de tratamiento. Se genera conciencia ciudadana ya que, los actores no sólo contemplan el tratamiento de agua, sino que se amplían los horizontes para gestionar a nivel institucional formal los proyectos relacionados al saneamiento, con el cuidado del medio ambiente mitigando los daños del cambio climático al planeta que requiere cada vez más del uso de energías renovables.

2.4 Conceptos relacionados al reciclar agua gris.

El agua gris

¿Para qué se pueden reusar las aguas grises? Después de pasar por un buen filtro, podemos usar las aguas grises para regar árboles, plantas de flores, hierbas de olor y verduras las que se comen cocidas, lavar el carro, lavar trapos, cocina, baño y pisos, para el sanitario. Si se re-usa el agua gris para estas actividades, entonces, se tendrá más agua potable para cocinar, beber, bañarse y lavarse los dientes. Las personas que tienen en su hogar suficiente agua potable y un buen sistema para limpiar el agua gris que usaron, padecen menos de diarrea y enfermedades de la piel. Filtrar las aguas grises y reusarlas es una manera muy buena de cuidar el agua, la salud, los ríos y manantiales. Dentro de las opciones que se observan hoy en día se encuentran muchas formas o métodos de poder tratar el agua desde nuestra casa. FILAGREC pretende multiplicar la experiencia, que con el tiempo más personas puedan participar en este tipo de proyecto, que ayudará a que el mundo en el que vivimos sea mejor en términos ambientales.

Tercera sección: FILAGREC y su forma de operar

3.1 Aguas Residuales

Se denomina agua residual a aquellas aguas que resultan del uso doméstico o industrial del agua, también pueden ser llamadas aguas negras o cloacales. Estas últimas definiciones tienen que ver por el color negro que habitualmente tienen cuando son utilizadas y el segundo, se refiere a que son llevadas a las cloacas directamente por el sistema de desagüe de la localidad (Guzmán, 2015).

La clasificación de las aguas residuales de acuerdo con su origen, puede ser:

- **Domésticas:** son aquellas utilizadas con fines higiénicos, contienen residuos humanos de la descarga hidráulica de edificios, establecimientos comerciales, públicos y similares.
- **Industriales:** Son líquidos generados en procesos industriales. Poseen características dependiendo del tipo de industria del que provengan.
- **Infiltración y caudal adicionales:** las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de tuberías, paredes de las propias tuberías en caso de que estén defectuosas, tuberías de inspección limpieza, etc.
- **Pluviales:** son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y el restante escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo (Guzmán, 2015)

3.2 Sistemas de tratamiento y Saneamiento del agua

Se le conoce como saneamiento del agua al proceso por el cual se le quitan contaminantes a las aguas, entre los que se encuentra remoción de nutrientes, filtraciones, evaporaciones, floculaciones, etc. La meta del saneamiento es el tener agua descontaminada, si se usa como adjetivo “limpia”, sería prácticamente pensar en purificar, esto implicaría procesos demasiado complejos que resultarían en un elevado costo y que no serían para uso doméstico como se plantea en este documento.

Si, como sociedad, se quiere evolucionar, se tiene que pensar más allá de un momento instantáneo y ver el alcance último de todas las obras que se hacen. Es por eso que hoy en día existen diversos mecanismos que ayudan a que las aguas residuales de nuestras casas, principalmente aquellas que involucren el lavado de algún objeto, puedan tener un saneamiento y de esta manera aprovechar esta agua para darle un segundo uso, evitando así el desperdicio de la misma (agua limpia) y reutilizando el agua (residual) que se usan en nuestro diario vivir.

El proceso de saneamiento al que se referirá este escrito implica el trabajo con el agua jabonosa en los espacios domésticos. La experiencia que se ha tenido, se da en el traspaso de las casas, en el solar, todo integrado en el espacio doméstico. Se pretende trabajar con la comunidad, que se beneficia de la tecnología innovadora que se incorpora a su cultura y mejora su ambiente.

3.3 Sistema sencillo operativo de materias filtrantes del FILAGREC

Los detergentes en polvo o líquidos, así como los jabones en barra, generan espumas que no siempre son disueltas en agua. Estas espumas contienen, por lo general, una gran cantidad de nitratos y de fosfatos junto con algunas enzimas.

Estos compuestos, en exceso, generan un problema conocido como Eutrofización, que consiste en la contaminación del agua debido al exceso de nutrientes presentes en ella. Así podemos encontrar muchas superficies acuáticas en estado de enfermedad debido a los nutrientes que han sido depositados en ellas, y mucho tiene que ver con esto el mal destino de la excreta humana.

Esta sección presenta algunos de los resultados encontrados en el sistema y su función con los materiales filtrantes. La siguiente sección presenta los resultados generales del proyecto de tecnología socio-ambiental.

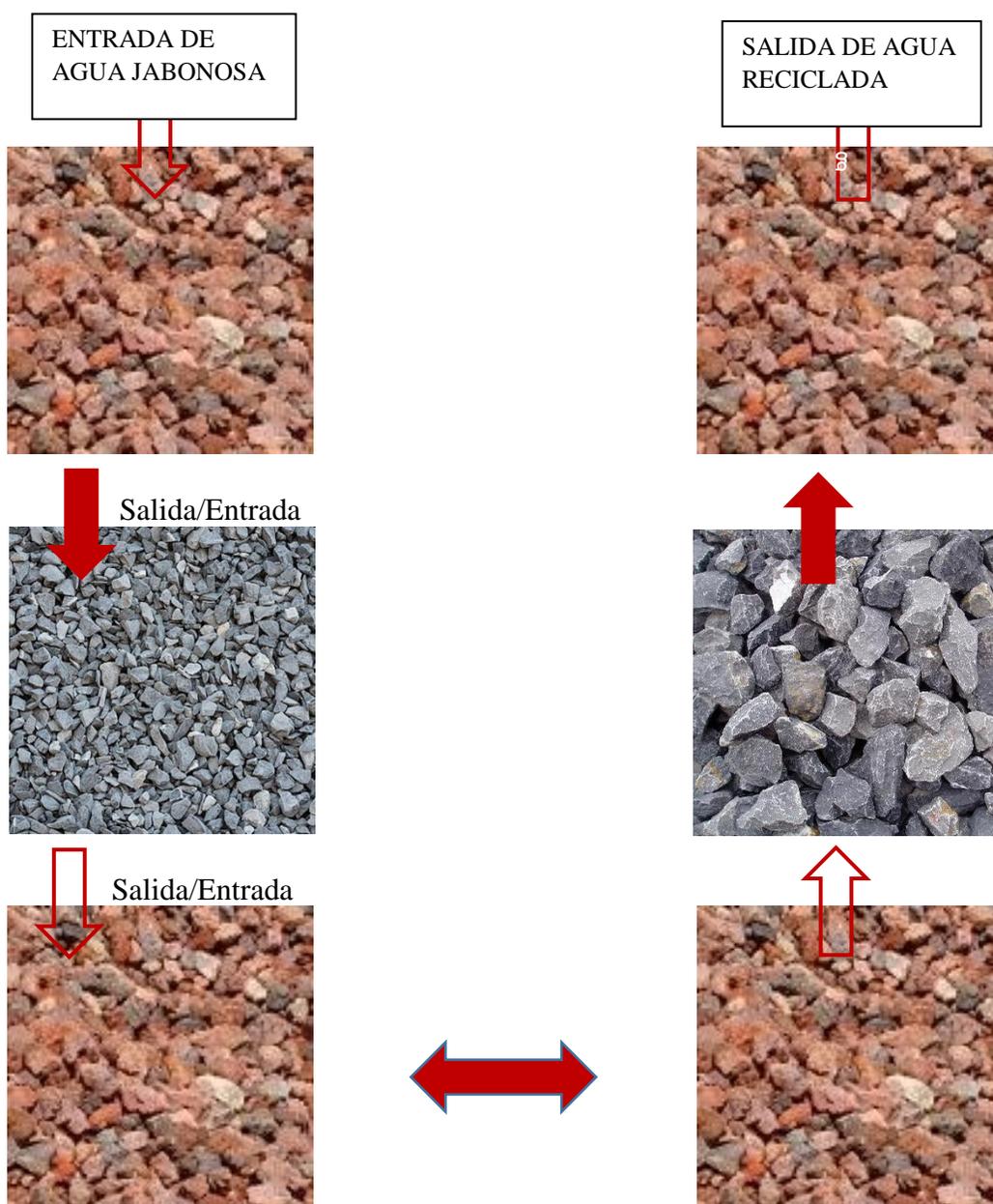
Los análisis de resultados muestran que en el sistema FILAGREC el tezontle se encarga de retener (y eliminar, aunque en mayor tiempo) los residuos más pesados o sólidos del agua jabonosa, ya que, al lavar, no sólo se genera la mezcla agua-jabón sino también desperdicios como papel, comida, etc.

- La arena se encarga de retener (y eliminar) una gran cantidad de los aniones generados en el lavado, y una fracción considerable también de microorganismos.
- La grava funciona sólo como una fase de "depuración" por llamarle de alguna manera. Aquí no se hace un filtrado importante, sino que, más bien, acelera el proceso de corriente del agua, reduce de modo considerable el tiempo de residencia debido a su forma sólida y no porosa, lo cual se traduce en mayor velocidad a la salida de ese bloque.

La Figura 2 muestra el diagrama que conforman las secciones del Filagrec. El primer paso es la entrada del agua jabonosa con un flujo descendente pasando por el tezontle, arena y tezontle. Nuevamente el flujo de agua asciende por las siguientes secciones de tezontle, grava y tezontle, es importante alternar las entradas y salidas de agua jabonosa para lo cual se logra un mejor tiempo de residencia y, por lo tanto, una mayor eficiencia. La flecha sin color indica que se realiza una perforación frontal al envase y la flecha con color indica que se realiza una perforación posterior al envase, así como se puede observar en la figura de los materiales filtrantes.

Materiales Filtrantes

Figura 6.2 Diagrama de recirculación de agua jabonosa los materiales filtrantes



Fuente: Elaboración Propia

Cuando está en funcionamiento el sistema, las comunidades van generando los pasos de un círculo virtuoso, agua que era deshecho y costo para un municipio o colonia, va siendo el suministro principal de un sistema de huerto familiar que aporta alimentos.

Está entonces la ventaja en casa, de ser una tecnología fácil de operar, que no requiere electricidad, tiene bajo costo, y la triada sustentable, de los beneficios social, económico y ambiental, hasta el enfoque de microcuenca a cuenca.

El filtro logra que el agua jabonosa que todos los días es producida por los humanos en los diferentes establecimientos, pueda tener un segundo uso. De esta manera, el agua es reciclada y ahorra energía, el microriego es a partir del agua jabonosa ya filtrada que riega diferentes plantas y frutos para que puedan ser usados como plantas de ornato o bien como productos comestibles.

La imagen de la figura 6.3 cosecha del agua reciclada, el agua sirve para generar alimentos (Figura 3). Este es el resultado de usar un filtro en las instalaciones de la UAEM.

Esta prueba se localiza en la parte trasera de la torre de rectoría cerca del auditorio Gral. Emiliano Zapata dentro de las instalaciones de la UAEM.

Figura 6.3 Cultivo de zarzamoras con agua proveniente del FILAGREC

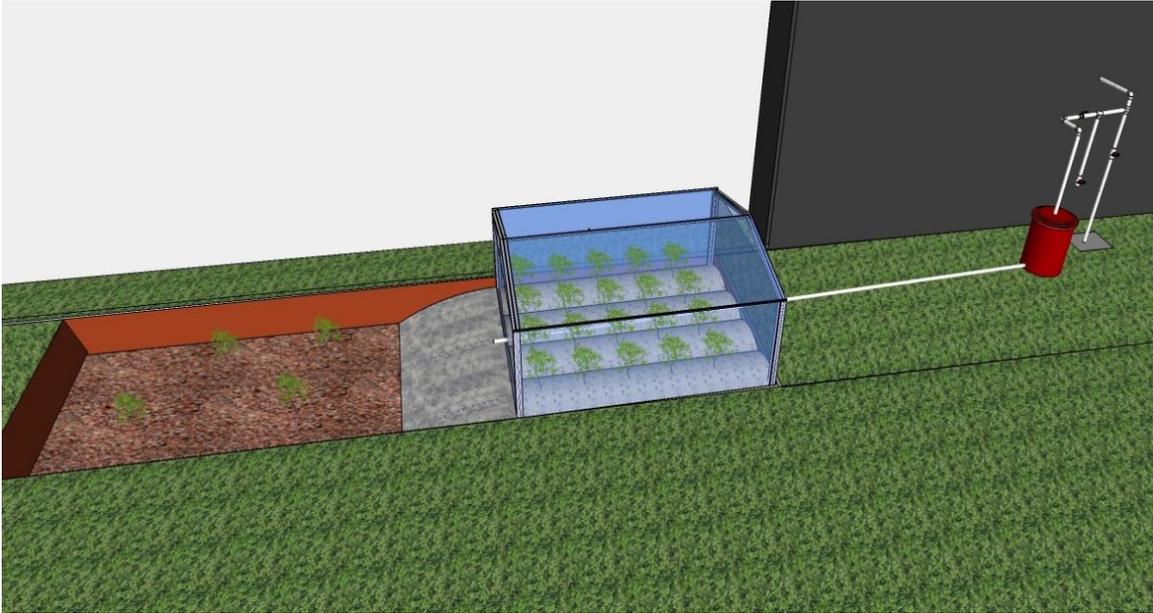


Fuente: Elaboración Propia

Dentro del pequeño invernadero (figura 6.4 y anexo fotográfico) que se creó para poder plantar las zarzamoras que previamente se mostraron, pasa un tubo de PVC el cual está perforado para que el agua pueda fluir y salir por las perforaciones haciendo que el excedente salga a otro pequeño huerto en donde se tienen las plantas de ornamento.

De esta manera el agua no se desperdicia de ninguna manera y lo que se hace es generar vida a través de un elemento que se considera que tuvo ya un fin y no es posible seguir usándolo.

Figura 6.4 Diseño del filtro en el invernadero y huerto de zarzamoras



Fuente: Elaboración Propia

La imagen que se muestra es el diseño de cómo quedó el filtro y sus salidas para su uso en el invernadero y el huerto (Figura 6.3). Este plano se siguió tal cual, y el resultado que se obtuvo está en el anexo, el cual contiene las imágenes que se tomaron durante el experimento, su armado y el resultado final que son las moras que se ven en la figura.

Este trabajo experimental también está diseñado para llevarse a cabo en otras zonas, principalmente en ámbitos rurales. Los resultados en los trabajos de servicio social del año 2002 al 2007, se encuentran aceptables resultados en la implementación, en Jalisco, Guatemala y Morelos (Guzmán 2017). Para 2017 fueron 18 meses de trabajo aceptable. En el campo la mayoría del agua es almacenada en tambos para luego ser utilizada. El filtro puede ser adaptado casi a cualquier lugar, se puede poner a la salida de la toma de agua donde se lavan los trastes y hacer que, mediante el uso de un tubo de PVC, el agua llegue a un huerto en dónde se puedan sembrar frutos comestibles.

En las últimas décadas el saneamiento se ha convertido en un recurso estratégico para el desarrollo económico y la supervivencia de los países debido a la escasez del agua para consumo humano y a la pérdida de la calidad original.

La calidad del agua es un factor determinante de la salud pública y de los ecosistemas, que restringe la oferta de agua y su distribución potencial para los diferentes usos. El agua está asociada a la transmisión de enfermedades que afectan la salud humana, ya sea por ingestión directa o mediante la contaminación de los alimentos, por lo que su calidad está absolutamente relacionada con la calidad de vida de la población. Cuando se habla de la calidad de vida, se refiere a la calidad en todos los aspectos de las personas y que tienen que ver con las condiciones para satisfacer sus necesidades: físicas, materiales, sociales y ecológicas. Calidad ligada básicamente al desarrollo sostenible, el cual implica, entre otras cosas, la importancia imprescindible que tiene el agua para el desarrollo humano puesto que la salud, educación, agricultura y producción alimentaria, energía, industria y otras actividades económicas, dependen de un suministro suficiente, salubre, aceptable y accesible (García *et al*, 2015).

Resultados

FILAGREC como sistema socioambiental

Han sido más de 15 años y el aporte es como un grano de arena, una pequeña pista a la solución masiva, requerida para abatir la contaminación de aguas. Aun así, en términos generales se encuentra satisfacción de resultados desde los primeros 18 meses de uso del prototipo. No obstante, los resultados apuntan a valorar la experiencia de mayor duración, en la que llevan los usuarios-beneficiarios- de FILAGREC 11 años con resultados positivos, siempre en una espiral de momentos difíciles y momentos exitosos.

Principalmente, se han encontrado como resultados, que las aguas residuales jabonosas, recicladas con el FILAGREC se van para ser usadas como riego en los huertos familiares, o plantas que están en los solares de los espacios domésticos. El tratamiento *in situ* en el lugar donde vive la familia, la casa. Además de resultar que se elimina la descarga a drenaje, puede aportar beneficios económicos, ambientales y sociales (incluidos los beneficios de salud como una mejor nutrición y provisión de alimentos para muchas viviendas).

La resultante social, genera la capacidad de incidir en las comunidades para el entendimiento de la problemática y la subsiguiente concientización. Se conocen elementos clave para la conservación y manejo desde las buenas prácticas de los grupos sociales, que apoya el cuidado de los recursos hídricos, esto fortalece el conocimiento ecológico de los habitantes de las comunidades. Se consolida el cuidado del vital líquido como la base para el mantenimiento del equilibrio ambiental para recarga de acuíferos.

Otros beneficios en la dimensión social del sistema, son las dinámicas de la participación del beneficiario o usuario, al compartir el conocimiento, y permitiendo la interacción con el grupo universitario que lleva la tecnología, en un sentido de participación incluyente, de tal manera que pueda afrontar el posible abandono de uso de la técnica. Es común en otras tecnologías que se implementan en comunidades, que los usuarios de dicha tecnología no conocen bien el funcionamiento, y por ello, con el tiempo abandonan el prototipo. También se reconoce como punto vulnerable, no obstante, una nueva visita a la comunidad resaltando que a pesar de la problemática en el mantenimiento (por lo olores que genera) se está haciendo un aporte al cuidado ambiental. En este caso, se ha visto como resultado de los talleres, que la gente trata de apropiarse del conocimiento, para tener una transferencia tecnológica exitosa, y asimismo responsabilizarse de los resultados. Compartiendo todo tipo de observaciones, dudas y críticas al mismo sistema.

Los resultados con los talleres de promoción del sistema FILAGREC, van generando algunos puntos frágiles, dependiendo de la etapa, para la etapa de conocimiento general el taller de cultura del agua, más bien genera entusiasmo para participar, no obstante, el problema del acompañamiento y la ruptura de comunicación es frecuente tema que se convierte en un reto que necesita solución en cómo fortalecer el acompañamiento, sobre todo posterior a los 18 meses.

El resultado relevante que genera este dispositivo que usa energía limpia, es aprovechar el agua que se utiliza en nuestra casa con un doble uso. Se parte que el sistema no usa energía eléctrica, por lo que es un sólido resultante en energías amables con el medio ambiente.

Cuando lo usa una sola familia en una localidad es un aporte mínimo. Pero, con la recomendación de participar en los talleres, la comunidad se va involucrando, mientras más casas tengan este sistema, se lograría un cambio que sería muy apreciable, como dice el antiguo dicho “gota a gota se hizo la mar”. Con esto se ve que quizás el cambio no sea tan notorio, si una persona lo hace, pero cuando toda una comunidad hace este pequeño cambio se vuelve un cambio de proporciones mayores.

Se enfatizan los trabajos con las comunidades y sus estructuras organizativas más allá del tiempo institucionalizado de administraciones políticas o de gobierno.

Como resultado del primer taller, se tienen los siguientes pasos para el trabajo con la comunidad que han facilitado la participación comunitaria:

- Reconocimiento del lugar
- Identificación de personas clave
- Adjudicación de compromisos
- Elaboración de plan de trabajo
- Primeras metas en cronograma
- Revisión de avances en cuanto a metas
- Reflexión de posibles errores
- Propuesta de nuevo plan de acción
- Revisión de avances
- Premiación de primeros logros.

Aspectos técnicos, generación de nutrientes para el crecimiento de las plantas

Esta tecnología innovadora que recicla agua jabonosa, con un fin distinto al de las plantas de tratamiento, ha cumplido la meta de convertir el agua en biomasa vegetal, ya que el agua que sale del filtro, llena de nutrientes que se aprovechan en el crecimiento de vegetales, frutales o plantas de ornato, sembrados. De modo que esa agua ya queda convertida en planta.

Los nutrientes que están en forma de fosfatos diluidos en el agua pasan a ser el nutriente principal para la planta, la cual en su equilibrio con un suelo rico en microflora bacteriana —por las compostas utilizadas como complemento obligatorio en el uso del filtro— permiten ser asimilados como nutriente por las raíces de las plantas.

El resultado del sistema que está generando, como si fuera una hidroponía, un agua rica en nutrientes para el crecimiento rápido de plantas fuertes y vigorosas.

Así la relación agua-suelo-planta está articulada a comprender los beneficios, como sistema de tratamiento, pasa a ser un sistema de micro riego del crecimiento de plantas. Agua jabonosa rica en nutrientes. Suelo, enriquecido con microflora bacteriana de compostas, y una planta vigorosa que crece de un sistema integrado convirtiendo a un círculo virtuoso, lo que fuera un agua de desperdicio, resulta ser el primer paso de generar un nuevo bien, nueva vida.

Con esto se eliminan entonces los costos de los sistemas de tratamiento, con la ventaja de tener cumplido el objetivo del saneamiento del agua. Por lo que se pueden usar los recursos de las comunidades en otros proyectos que sean útiles a la comunidad.

Es importante resaltar, que, a pesar del punto vulnerable en no afrontar el mantenimiento, se siguen generando estrategias para resolverlo, no obstante, como parte principal de los resultados, los procesos en las comunidades, basados en la interacción con las personas que utilizan esta innovación, aceptan esta tecnología que propicia procesos participativos y la conciencia del cuidado ambiental. El grupo ecoturístico, Amatlán en Tepoztlán Morelos, que motiva ver su proceso, pues han continuado con el uso de los FILAGREC, permite decir que por este proyecto han fortalecido sus prácticas con el medioambiente en donde es necesario fomentar la reciprocidad con la madre naturaleza, dicho de otro modo, avances a las buenas prácticas para el cuidado ambiental.

Conclusiones

A medida que las personas en general puedan incluir uso de tecnologías ecológicas por ejemplo en el uso del agua, se va a dejar un menor residuo en el medio ambiente. Lo comprobado con la reducción de uso de plásticos en el caso de residuos sólidos, va siendo un aliciente a generar buenas prácticas, el uso de la tecnología presentada en este capítulo es sin duda una buena práctica para el manejo del agua.

Al usar el sistema FILAGREC se genera un doble beneficio al ahorrar energía del sistema de servicio a las casas, y producir alimentos con el agua filtrada, que es la misma que se entrega en la casa. Además, se da un enfoque de cuidado ambiental, se incrementa la conciencia de las personas que lo usan, se genera la buena práctica de no permitir que el agua gris, sea parte de las descargas, que serían, parte de un convencional sistema de tratamiento. El saneamiento es tarea de los grupos operadores a nivel municipal, por ello se tiene un tercer beneficio, el ahorro del costo del tratamiento del agua, ya que ésta se trata *in situ*.

El trabajo del saneamiento con este sistema innovador, en sus primeros años ha sido llevado a cabo con la intención de mirar la participación en la cuenca. Así, las comunidades se construyen en un sujeto social, que posibilita prácticas sociales para un respeto a la naturaleza, desde y hacia la gestión sustentable del agua.

Las recomendaciones se enfocan en impartir más talleres, que involucran a la comunidad para que las ventajas al usarlo, sean consolidadas en la comunidad. Fortalecer los mecanismos que resaltan la participación del sujeto como el beneficiario en el ahorro de la energía, y en el uso eficiente del agua.

Se concluye que los enfoques de energetizar y no electrificar, como un concepto de uso de energías renovables, a partir de interacciones con grupos que están dispuestos a participar, en comunidades, colonias o asentamientos humanos se convierte en una buena práctica usando este sistema. Estos beneficios se articulan con usar el agua de manera productiva para los alimentos, de modo que se integran las iniciativas que fomentan el uso de fuentes de energía renovables en comunidades, con el incremento en el empleo y los ingresos locales.

En términos de aprovechamiento energético adecuado, ligado a los sistemas de agua en los hogares, como se vio, existen formas de aprovechamiento al darle un doble uso, los costos se abaten además del beneficio en el cuidado ambiental, así entonces la relación del uso de la energía, y la capacidad organizativa de los grupos de usuarios, nos presenta un sistema relevante como estrategia de cuidado de los recursos energéticos.

El saneamiento participativo, con los talleres recomendados, impulsarán a este sistema innovador, que concibe como estrategias para el reciclaje del agua, en un marco integrado de modelos de gestión participativa, lo que generará procesos de toma de conciencia, sobre todo de cuidados ambientales, y desarrollo humano.

El seguimiento comunitario es básico. De acuerdo a los programas en el que el banco mundial, ha participado y evaluado, determina que es necesario invertir al menos en más del 50% del costo del proyecto en el seguimiento comunitario, para asegurar su apropiación y evitar que la tecnología alternativa pueda ser destruida o abandonada. Fenómeno que se ha encontrado con frecuencia en estos diez años de trabajo en las comunidades de Morelos y Jalisco.

Al observar los resultados de programas gubernamentales, que impulsan tecnologías sustentables, pero no se aseguran de que las comunidades se la apropien. Por ello como recomendación fundamental se ha estado revisando el modo de insertarnos en nuevos proyectos que atiendan esta observación. Como parte del seguimiento comunitario, se recomienda seguir promocionando este tipo de talleres como trabajo para el uso de este sistema, y mantener la comunicación con el grupo de trabajo de la Universidad en la que se sigue acompañando a las comunidades que han implementado el Filtro. La coordinación de gestión comunitaria del agua de la UAEM ha incrementado sus conocimientos con los grupos de comunidades. La participación de la comunidad es de suma importancia, los aportes de los beneficiarios del FILAGREC han sido integrados en los nuevos procedimientos cada vez que se instala uno nuevo.

Se resalta un doble beneficio, usar el agua en casa en lo cotidiano y tener un sistema ecológico de tratamiento en el hogar para evitar la contaminación de los ecosistemas alrededor de sus viviendas, de este modo no sólo recicla agua, sino que se participa activamente en el saneamiento.

Este capítulo también presentó el concepto del saneamiento en un marco institucional en el que intervienen diferentes actores como la sociedad civil, el estado, el municipio, la academia y las empresas privadas, dejando un lugar al importante rol de cada una de estas instancias y organizaciones para alcanzar la meta del saneamiento redimensionado en los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la ONU. Se presentó el uso del sistema de reciclaje, como parte de la estrategia comunitaria ligada al uso eficiente de energía, por aprovechar el agua como servicio público dotado en los hogares, y darle un doble propósito en un círculo virtuoso, regar plantas y principalmente producir alimentos. Esta reflexión en un ámbito de gestión comunitaria, conlleva a puntualizar las ventajas de un sistema en el uso eficiente de energía, y en las buenas prácticas hacia un desarrollo sostenible.

Por ello también se presentó la problemática energética, y los riesgos del cambio climático. En este sentido, es importante considerar que las alternativas las darán los grupos locales que tengan más definidos sus sistemas de servicios públicos, sin tanto problema de desgaste por sistemas complejos.

Los países de la región latinoamericana, no pueden crecer de manera sostenible o fortalecer su capacidad de adaptación al cambio climático sin una gestión que considere mermas sostenidas en materia de disponibilidad, calidad y distribución del agua y su asignación a través de un proceso deliberativo sobre la base de necesidades económicas, sociales y medioambientales, todo ello se trata de ofrecer con los sistemas integrados a los espacios domésticos, como lo es el FILAGREC, socialmente aceptable, económicamente viable y ecológicamente sano, un granito de arena en las contribuciones sustentables para el manejo de nuestra sagrada madre tierra.

Agradecimientos

Los primeros años, con la beca de posgrado de British Council que se dio un paso en la consolidación, asimismo a la beca de posgrado de CONACYT. Por otro lado se agradece la participación de las y los estudiantes en los programas de servicio social de la UAEM, arquitectos, abogados, contadores, psicólogos, antropólogos, a la Universidad La Salle Cuernavaca, con las y los estudiantes que participaron en proyectos con ARCUNA SA, y a las y los estudiantes de Diseño Industrial de la UAM Xochimilco, que participó en los primeros proyectos, entre 2002-2008, al Centro Universitario de la Costa Sur (CUCSUR) que en 2016 y 2017 apoyó con un proyecto de vinculación y la Ingeniera que estuvo 2 años interactuando entre prácticas profesionales y trabajo de extensión, y por último al AMSCLAE en Guatemala, que apoyó en los dos viajes a los talleres FILAGREC.

El mayor agradecimiento, principalmente a ARCUNA SA por los recursos de apoyo en más de 10 años.

Epílogo

¿Qué es Filagrec?

El trabajo consiste en dejar correr el agua por los filtros de piedra y arena contenidos en el prototipo Filagrec, para así canalizar el agua para riego de frutas o verduras, que también pudiera ser de plantas ornamentales. Tiene que ver con desviar el agua jabonosa hacia producción de biomasa vegetal.

Objetivo

El objetivo actual es hacerlo con plantas de alimento, para ir convirtiendo este trabajo en un círculo virtuoso. Esto es un agua considerada de desperdicio, que tiene un costo para tratarla, se reduce su costo en un 90%, se producen alimentos, utilizando el 85% del agua de desperdicio de las casas y edificios en una localidad.

Saneamiento Participativo

El prototipo está pensado para fomentar la colaboración de los usuarios, con los promotores de la técnica. La génesis del prototipo está basada en prácticas alternativas, sociales, ambientales, económicas y culturales.

Figura 6.5 Programa Servicio Social



Fuente: Elaboración Propia

Transferencia tecnológica socialmente aceptada

Talleres participativos, en los que se utilizan:

- Dinámicas grupales,
- Guías de trabajo,

- Dibujos y
- Participación en la historia y manejo del agua en las localidades.

¿Para qué sirve?

- Detiene el agua jabonosa en los espacios domésticos,
- Disminuye el volumen de agua que el municipio tiene que tratar
- Incrementa los nutrientes en las plantas que crecen con el agua jabonosa que se aprovecha
- Participación de modo activo en los problemas de la contaminación del agua en la comunidad, y en los ecosistemas relacionados al agua, así como en la comunidad donde se vive.

Figura 6.6 Micro riego de agua reciclada por FILAGREC en el invernadero



Fuente: Elaboración Propia

¿Qué hago cuando el filtro llega a mi casa para cuidarlo?

1. Revisar que sólo llegue el agua jabonosa de la lavadora, lavadero y baños o cualquiera de las tres.
2. En aproximadamente 6 meses ver qué tantos residuos se han acumulado, si ya no se ve el color rojo del tezontle ya es momento de hacer el mantenimiento:
 - Abrir el filtro
 - Sacar los cestos con piedra y lavarlas
 - Limpiar los tubos de la base del contenedor
 - Lavar todo el contenedor
 - Volver a colocar los tubos, y los cestos I y II con la malla tensa sobre la superficie del contenedor

Beneficios a nivel ambiental

Con esto se elimina el problema de la eutrofización y contaminación severa de mantos acuíferos barrancas y ríos:

Los compuestos tóxicos en exceso regados en los drenajes, los cuales van directo a los ríos y lagos, generando un problema conocido como eutrofización, que consiste en la contaminación del agua debido al exceso de nutrientes presentes en ella. Con ello amplias superficies acuáticas se encuentran en estado de enfermedad debido a los nutrientes que han sido depositados en ellos, y mucho tiene que ver el mal destino de la excreta humana, además de que las plantas de tratamiento no operan eficientemente.

Proyectos relacionados

ECOSAN (Saneamiento ecológico) es una línea de investigación, que sirvió como modelo para este importante avance, el cual propone alternativas para el manejo de aguas, cabe subrayar que México tiene un gran aporte ubicado en Tepoztlán, una institución llamada “Sara transformación”, donde la aportación es de voluntarios de todas partes del mundo, y se dan asesorías en sus diferentes talleres.

Preguntas frecuentes

¿El filtro sirve para ahorrar agua?

No, el objetivo del filtro es aprovechar en casa el agua con sus nutrientes, los que se añaden con el detergente al lavar la ropa, trastes o limpieza, y transformando el agua en planta, fruta o árbol.

¿Porque necesito filtro si ya uso el agua para regar mis plantas?

Porque los acuerdos nacionales de control de contaminación, han llegado a establecer multas a los pueblos y ciudades que no tengan sistemas de tratamiento, el filtro es un sistema de tratamiento, su característica es que es doméstico y no es caro.

¿Puedo tomar del agua que sale del filtro?

No, este es un filtro de reciclaje de agua, no es un filtro purificador, por lo que el agua sale gris pues contiene los residuos jabonosos transformados en nutrientes, ya eliminando las impurezas en sus capas filtrantes.

¿Quién se beneficia del uso de los filtros?

La comunidad, pueblo o colonia que los usa pues está pagando a menor costo el tratamiento del agua, por lo que el presupuesto que ingresa anualmente, alcanza a otras obras que se necesiten, al mismo tiempo que se cumplen las normas de calidad del agua y de tratamiento de la misma.

Referencias

Alcocer, M., Coria, I. & Vera, M. (2012). *Las aguas jabonosas: Manual de buenas prácticas*. Estado de México: Instituto Carlos Slim de la Salud, A.C.

Altamonte, H. (S.F). *CEPAL*. Recuperado de enero del 2014, de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) <http://www.cepal.org/drni/noticias/noticias/0/23550/HaltomonteNotas43.pdf>

Álvarez, A., Cutillas, P.P., Valle, R.V., Cabañero, A.J. (2016). *Análisis de la calidad del agua en las lagunas de Bustillos y de los mexicanos (Chihuahua, México)*. Papeles de Geografía, Vol. 62, pp. 107-118.

Calderón, V.A. (2017). *Tesis de Maestría "Manejo del agua en la vivienda en una localidad del Municipio de Xochitepec, Morelos"*. México: Instituto Nacional de Salud Pública.

Carrizo, S.C., Velut, S. & Ramousse, D. (2009). *Biocombustibles en Argentina, Brasil y Colombia: Avances y limitaciones*. Geograficando, Vol. 5, pp. 63-82.

Carvajal, L.M. (2016) *Extractivismo en América Latina*. Bogotá: Fondo de Acción Urgente.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina). (2003). *Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe: guía para la formulación de políticas energéticas*. Recuperado DE 14 de junio del 2019, CEPAL <https://www.cepal.org/es/publicaciones/27838-energia-desarrollo-sustentable-america-latina-caribe-guia-la-formulacion>

Cerutti, M.A., Coralli, F., Bustamante, G.C., Riegelhaupt, E., Chalico, A.T., Gregg, V.J., Jiménez, D.R., Pacheco, G.G. & Cecotti, L. (2011). *La bioenergía en México. Situación actual y perspectivas. Cuaderno Temático No. 4*. México: Red Mexicana de Bioenergía, A.C.

Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable. (2018). *Estudio de Energías Limpias en México*. México: Consejo Coordinador Empresarial.

- Conde, C. & Saldaña, S. (2007). *Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación*. Revista Ambiente y Desarrollo, Vol. 23 (2), pp. 23-30.
- Cruz, H., & Cesar, M. (2019). Aspectos Ambientales relacionados al Impacto Ambiental en Obras de Construcción Civil en la Ciudad de Arequipa. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/2091>
- Déniz, J.J., Verona, C.M. & De la Rosa, M.E. (2018). *Materialidad de los impactos sociales en la memoria de sostenibilidad. El caso del sector eólico y los pueblos indígenas en Oaxaca, México*. Revista Española de Financiación y Contabilidad, Vol. 48, pp. 1-33.
- Díaz, E., Alvarado, A. R., y Camacho, K. E. (2012). *El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México*. Quivera, Vol. 14, Núm. 1, pp. 78-97.
- European Hydration Institute. (2013). *Instituto Europeo de Hidratación*. Recuperado de junio del 2019, de European Hydration Institute. <https://www.europeanhydrationinstitute.org/>
- García, M.R., Godínez, G., Pineda, B. & Añorve, J. (2015). *Derecho al agua y calidad de vida*. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, Vol. 6, Núm. 11, pp. 1-15.
- Guerrero, J. B. (2019). Tesis doctoral. “*Modelo de planificación estratégica con una quinta perspectiva socioambiental, para explotar la energía geotérmica, e integrar la sostenibilidad socioambiental en Costa Rica*” <http://repositorio.uned.ac.cr/reuned/handle/120809/1795>
- Guzmán, J. (2014). *Tesis de Licenciatura*. México: Ingeniería de la Universidad La Salle.
- Guzmán, M.A.A. & Vela, L. (2018). *Transferencia tecnológica e innovación social para el saneamiento del agua en producción de Huertos familiares. Una experiencia mexicana en Guatemala*. México: Ediciones UAEM.
- Guzmán, M.A.A. (2002). *El Agua y las Cuencas en México, una alternativa para el saneamiento en el Estado de Morelos*. Morelos, México: UAEM-UNICEDES.
- Guzmán, M.A.A. (2004). *Integrated Water Management in Rural Mexico: Simple Technology with Community Participation*. Morelos, México: UAEM-UNICEDES.
- Guzmán, M.A.A. (2009). *Aspectos Socioambientales Para Reciclar Agua Jabonosa Con El Filtro Filagrec en Algunas Comunidades de Morelos*. TECNOCIENCIA: Revista de Investigación Científica y Tecnológica, Vol. Enero-Junio, 3 (1), pp. 66.
- Guzmán, M.A.A. (2012). *Una alternativa tecnológica para el riego de Huertos: reciclaje de Agua como tarea de sistemas de saneamiento en el Estado de Morelos*. Morelos, México: UAEM.
- Guzmán, M.A.A., Iglesias V.O. y Zanella, A. (2017). *Complementación de metodologías para un modelo de interacción comunidad-ambiente en microcuencas: Jalisco, Morelos y Guatemala*. México: Editorial Centro Universitario Tonalá de la Universidad de Guadalajara.
- Guzowski, C. (2016) (Comp.) *Políticas de Promoción de las Energías Renovables: Experiencias en América del Sur*. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur.
- He, Z.X., Xu, S.C., Shen, W.X., Long, R.Y., Chen, H. (2016). *Factors that influence corporate environmental behavior: empirical analysis based on panel data in China*. Journal of Cleaner Production, Vol. 133, pp. 531-543.
- Hernández, E., Castillo, J., & Margarita, A. (2017). *Energía eólica, discurso y movimientos sociales indígenas: el caso de la APPJ en Oaxaca*. México.
- Hondupalma. (2011). *Guía de Uso Eficiente del Agua*. Yoro, Honduras: Universidad Católica de Honduras, y Universidad Católica de Honduras.

Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (2013). *Nos cambiaron el Mapa: México ante la Revolución Energética del Siglo XXI*. México: Impresos Villaflorito, S.A. de C.V.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2016). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Recuperado el 14 de junio del 2019, de Naciones Unidas.
<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Pérez, G. (2014). *Ciclo Hidrológico*. Recuperado el 26 de enero del 2014, de Ciclo Hidrológico.
<http://www.ciclohidrologico.com/>

Recalde, Y.M., Bouille, H.D. & Girardin, O.L. (2015). *Limitaciones para el desarrollo de energías renovables en Argentina*. Revista Problemas del Desarrollo, Vol. 183 (46), pp. 89-115.

Rojas, J.J., Torres, A. & González, O. (2018). *Las ciencias en los estudios del agua; viejos desafíos sociales y nuevos retos tecnológicos*. México: Editorial Universidad de Guadalajara.

Sánchez, S.J. (2014). *Notas de clase - Hidrología - Ing. Javier Sánchez San Román, Apuntes de Hidráulica*. México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).

Toledo, V. (2019). Discurso inaugural al tomar la SEMARNAT. Recuperado el 14 de junio del 2019, de La Jornada.: <https://www.lajornadamaya.mx/2019-05-27/Victor-Toledo--del-discurso-de-tinta-en-defensa-del-medio-ambiente--ahora-a-cargo>

Anexo

Taller de capacitación para el uso de tecnología alternativa del filtro de reciclaje de agua jabonosa (FILAGREC)

Objetivo General

- Promover el uso de tecnologías alternativas para abatir la contaminación de agua en las comunidades rurales con perspectiva de cuenca y con metodología participativa.
- El fortalecimiento comunitario con prácticas sustentables de manejo de agua y solución de problemas de drenaje, al reciclar aguas jabonosas para riego de hortalizas.
- Mejorar las condiciones socio-ambientales en cuencas con poblaciones de extrema pobreza, se atiende al ambiente desde la perspectiva de cuencas, igual a los grupos sociales que habitan en ella. Con esto se contribuye al saneamiento ambiental y se mejora la salud y nutrición en aras de una mejor calidad de vida.

Metas y Resultados Previstos

Solución de problemas referentes al drenaje, en específico con el reciclaje de aguas jabonosas, para el riego de hortalizas. Con una perspectiva ambiental y de manejo de cuencas que mejora las condiciones socio-ambientales en las cuencas con poblaciones de extrema pobreza.

Avance en aspectos metodológicos participativos en comunidades rurales para cuidado ambiental:

- a) Al fortalecer los lazos ya existentes y aprovechar sus estructuras comunitarias con una visión integral de cuencas, específicamente en atención a la disminución de la contaminación
- b) Al dejar comités responsables de supervisar los grupos de usuarios de la tecnología propuesta para el saneamiento alternativo, para lograr, a partir de un proceso de sensibilización-capacitación-seguimiento, la instalación de 5 filtros de reciclaje de agua doméstica en el traspatio de sus casas.

Metodología e instrumentos:

1. Video que muestre el uso de prácticas alternativas.
2. Boletín de distribución comunitaria que informe las actividades realizadas en las comunidades seleccionadas, detallando la metodología y resultados.
3. Manuales de implementación de la tecnología.
4. Manuales de mantenimiento y seguimiento de metodología participativa y prototipo de saneamiento.

Se liga con un grupo comunitario existente en la región que maneja temas culturales y ambientales, con el que se firmará convenio para seguimiento de los resultados y generación de nuevos proyectos que se vean necesarios.

Al bajar drásticamente los índices de contaminación a mediano y largo plazo se ampliará el horizonte de trabajo con los municipios y sectores de las cuencas. Con esta visión de trabajo local y saneamiento alternativo como metas del nuevo milenio de la ONU se podrá trabajar en nuevos proyectos de seguimiento al aquí descrito.

¿Cómo se va a llevar a cabo?

Se imparten **tres talleres de Prácticas Alternativas en Micro cuencas y Transferencia Tecnológica**, Se presenta video y recuento fotográfico para sensibilizar a la gente de la problemática ambiental. Se presenta un mapa geográfico con las cuencas hídricas, se ubica a las comunidades en dicho mapa.

Se genera una dinámica intensa de capacitación y se enlistan los grupos de interesados para comenzar a instalar los prototipos de reciclaje.

Se forman comités responsables del cuidado del prototipo de reciclaje de aguas jabonosas con fines productivos en el huerto biológico, nos remite a la metodología participativa para generar un sistema productivo a pequeña escala.

Este proceso interactivo de acción y reflexión va dando las bases para un manejo de recursos más adecuado vía el desarrollo sustentable.

Metodología Experimental

Se proponen visitas semanales los primeros tres meses del año, en las que se contactará a la gente y se detallará la trayectoria del proyecto. Se seguirá un proceso de monitoreo tanto de la parte de concientización de las personas en la comunidad como de los efectos en el proceso de filtrado del agua, y análisis de los residuos. Esto implica un análisis mensual en laboratorio y un seguimiento en comunidad quincenal.

Experimentos in situ, se abrirá un pozo en el que se contemplen los perfiles de suelo, haciendo un monitoreo de variables en cada perfil, determinando las características fisicoquímicas del suelo.

Anexo Fotográfico



Capítulo VII Estudio y comparación de las partículas PM₁₀, de las estaciones de muestreo en el estado de Tabasco, y su comportamiento respecto a la NOM-025-SSA1-2014

Chapter VII Study and comparison of the PM₁₀ particles of the sampling stations in the state of Tabasco, and their behavior with respect to the NOM-025-SSA1-2014

SUAREZ-GARCÍA, Sandra Manuela†*, ZARATE, Marco Antonio, PEREZ-DURAN, Marco Antonio y REYES-HERNÁNDEZ, Guadalupe

Instituto Tecnológico Superior de Centla

ID 1^{er} Autor: SUAREZ-GARCÍA, Sandra Manuela / **ORC ID:** 0000-0002-8573-6409, **CVU CONACYT ID:** 565464

ID 1^{er} Coautor: ZARATE, Marco Antonio / **ORC ID:** 0000-0002-3977-5394, **CVU CONACYT ID:** 549508

ID 2^{do} Coautor: PEREZ-DURAN, Marco Antonio / **ORC ID:** 0000-0002-8267-1443, **CVU CONACYT ID:** 497892

ID 3^{er} Coautor: REYES-HERNÁNDEZ, Guadalupe / **ORC ID:** 0000-0003-4393-4383

DOI: 10.35429/H.2019.4.114.137

S. Suarez, M. Zárate, M. Pérez y G. Reyes.

ambiental@itscentla.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Díaz, L. Cruz. (Dir.) La ciencia y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2019.

Resumen

La contaminación del aire es un problema persistente que tiene implicaciones para el medio ambiente y la salud de la población; Existe una gran diversidad de fuentes que emiten contaminantes en el aire, incluidas las fuentes industriales y móviles. Uno de los principales contaminantes encontrados en la atmósfera es el material particulado, que es una mezcla compleja de sustancias en estado líquido o sólido, la cual permanece suspendida en la atmósfera por períodos de tiempo variables. El propósito de esta investigación es evaluar la calidad del aire, con base en el criterio de contaminante PM10 para el año 2018, utilizando los datos de la "Red de monitoreo atmosférico del Estado de Tabasco". Los municipios que serán considerados en este estudio son: Balancán, Centla, Centro, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo, Macuspana y Paraíso; que fueron muestreados de acuerdo con las disposiciones de la NOM-035-SEMARNAT-1993, y los resultados obtenidos se compararon con las LMP establecidas por la NOM-025-SSA1-2014. Por lo tanto, los resultados de los promedios mensuales que se obtuvieron de las estaciones de monitoreo indicaron que para el año 2018 el mes de julio fue el que registró las concentraciones más altas del contaminante PM10, sin embargo, no se excedió el LMP establecido por el Estándar.

Material Particulado, Calidad del aire, Contaminación del aire, Criterio contaminante

Abstract

Air pollution is a persistent problem that has implications for the environment and the health of the population; There is a great diversity of sources that emit pollutants in the air, including industrial and mobile sources. One of the main pollutants found in the atmosphere is particulate material, which is a complex mixture of substances in a liquid or solid state, which remains suspended in the atmosphere for varying periods of time. The purpose of this research is to evaluate the air quality, based on the PM10 pollutant criteria for the year 2018, using data from the "Tabasco State Atmospheric Monitoring Network". The municipalities that will be considered in this study are: Balancán, Centla, Centro, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo, Macuspana and Paraíso; which were sampled in accordance with the provisions of NOM-035-SEMARNAT-1993, and the results obtained were compared with the LMP established by NOM-025-SSA1-2014. Therefore, the results of the monthly averages that were obtained from the monitoring stations indicated that for the year 2018 the month of July was the one that registered the highest concentrations of the PM10 pollutant, however, the MPL established by the standard.

Particulate matter, Air quality, Air pollution, Criterion pollutant

1. Introducción

La contaminación atmosférica es un fenómeno muy complejo, en el que participan multitud de factores; teniendo implicaciones principalmente en el ambiente y la salud de los seres humanos, causando así en las personas enfermedades cardiovasculares y desencadenando afectaciones a la función pulmonar. Los niveles de contaminación en el aire dependen de la naturaleza y de las condiciones de las emisiones de contaminantes así como de las condiciones meteorológicas que determinan el transporte, la difusión y las consecuencias de estos mismos. Existe una gran diversidad de fuentes que emiten contaminantes al aire, incluyendo fuentes industriales, móviles en la que destacan los automóviles, camiones, aviones, etc., y la fuentes naturales como los volcanes, así como las fuentes de área como son los comercios y los diferentes servicios. Los tipos de contaminantes emitidos por la combustión de combustibles fósiles o biomasa incluyen gases como óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, bióxido de carbono, metano, hidrocarburos, así como partículas (Suárez García, Zárate, & Cupil Cupil, 2015).

El material particulado es una mezcla compleja de sustancias en estado líquido o sólido, que permanecen suspendidas en la atmósfera por periodos variables de tiempo. Por su origen, las partículas pueden definirse como primarias (aquellas producidas directamente por alguna fuente contaminante) o secundarias (las que se forman en la atmósfera, como resultado de la interacción química entre gases y partículas primarias). Las partículas pueden tener un origen natural y también antropogénico, de acuerdo con su diámetro aerodinámico, éstas pueden clasificarse en menores o iguales a 10 micras (PM₁₀), y en menores o iguales a 2.5 micras (PM_{2.5}).

El tamaño es un parámetro importante para caracterizar su comportamiento en la atmósfera y por ende, la concentración a la que puede estar expuesta la población; también determina la capacidad de penetración y retención en diversas regiones de las vías respiratorias (Sánchez, 2017) (Rojas Farías, 2019).

El monitoreo de la calidad del aire toma una importancia fundamental para identificar y proveer la información necesaria a fin de evaluar la calidad del aire de cada región y sus tendencias, como una herramienta para desarrollar estrategias de prevención y control, planes de manejo de la calidad del aire y políticas ambientales integrales, entre otras aplicaciones (NOM-156-SEMARNAT- 2012). A partir del monitoreo atmosférico se generan bases de datos que aportan información y dan sustento a diversos estudios para: a) Alertar a la población y las autoridades ante situaciones que pongan en riesgo la salud pública, b) Formular estándares de calidad del aire y verificar su cumplimiento, c) Establecer correlaciones entre las concentraciones de los contaminantes y efectos o daños a la salud, d) Inferir los tipos y fuentes emisoras, e) Evaluar la efectividad de las medidas de prevención y control implementadas, f) Llevar a cabo estrategias de control y políticas de desarrollo acordes con los ecosistemas locales, g) Desarrollar programas nacionales para el manejo de la calidad del aire, y h) Apoyar la investigación científica en química atmosférica, efectos en la salud, entre otros. Sin el monitoreo atmosférico no hay eficacia de la gestión ambiental del aire (Estrada, 2011).

Por lo anterior, el presente trabajo de investigación proporciona a los interesados en el tema, la información necesaria sobre la calidad del aire del Estado de Tabasco, en los diferentes puntos de muestreo establecidos en los municipios que pertenecen a la “Red Multi-Institucional de Muestreo de Partículas Fracción Respirable $\leq 10\mu\text{m}$ (PM₁₀), para el año 2018.

El capítulo sobre la metodología a desarrollar, define los puntos de muestreo establecidos por la Secretaria de Bienestar, Sustentabilidad y Cambio Climático (SBSCC) antes SERNAPAM, así como el diseño del estudio, los instrumentos de investigación, la ubicación geográfica de los puntos de muestreo, los principales componentes del muestreador manual de alto volumen y el formato de hoja de campo para el muestreo de partículas PM₁₀, con lo cual queda definida la metodología que permitirá el desarrollo de la investigación.

Desarrollo de la investigación, en este capítulo se trata sobre el acondicionamiento y los parámetros establecidos para los equipos, registros y materiales a utilizar, así como la normativa a la que deberá sujetarse y compararse los resultados.

El capítulo de resultados, muestra las tablas con las concentraciones registradas durante los días establecidos por mes, así como las gráficas del comportamiento mensual de las concentraciones del contaminante criterio PM₁₀, en los diferentes puntos de muestreos establecidos, así como los promedios anuales para cada estación de monitoreo y su comparación en la gráfica 10, con la NOM-025-SSA1-2014.

Discusión, en este capítulo de contrastan los resultados con lo establecido en la NOM-025-SSA1-2014 y contra el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).

En el capítulo de Anexos, se encuentran las tablas del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), el calendario de monitoreo y mantenimiento de los equipos muestreadores PM₁₀, y las fórmulas utilizadas con mayor frecuencia.

Agradecimientos, Se agradece a las instituciones que hicieron posible realizar esta investigación básica.

El capítulo de conclusiones, explica los resultados obtenidos, así como los posibles trabajos de investigación que se desprenderán de esta.

Referencias, se presentan los créditos de los autores que fueron consultados para darle sustento a este trabajo de investigación.

2. Planteamiento del problema

La contaminación del aire se considera como uno de los problemas ambientales más importantes; afectando al medio ambiente y a la salud de la población al padecer enfermedades graves debido a la exposición prolongada de ciertos compuestos o contaminantes presentes en el aire. Las causas que la originan son diversas, entre ellas, las actividades industriales, comerciales, domésticas, agropecuarias y principalmente las emisiones por parte de vehículos automotores (Carnier, 2017).

Por ello el monitoreo de la Calidad del Aire toma una importancia fundamental para identificar y proveer la información necesaria a fin de evaluar sus tendencias, como una herramienta para desarrollar estrategias de prevención y control, planes de manejo, así como políticas ambientales integrales, entre otras aplicaciones.

Para el 2001 en el Estado de Tabasco, la entonces Secretaria de Desarrollo y Protección del Medio Ambiente inicio la operación de una red de monitoreo atmosférico considerando equipos de partículas menores o iguales a 10 micras en las ciudades de Villahermosa y Cárdenas posteriormente en el año 2001 y 2006 en Comalcalco y Balancán respectivamente (Informe de la Calidad del Aire del Estado de Tabasco 2005). Con el paso de los años se han ido incorporando más municipios como Huimanguillo, Paraíso, Centla, Macuspana y últimamente el municipio de Cunduacán.

3. Hipótesis

- Se cree que las estaciones DACBIOL y UPC ubicadas en el municipio de centro sean las estaciones que registrarán mayor concentración de contaminación por partículas PM_{10} , al ser uno los municipios más industrializados; teniendo en cuenta que las industrias son los principales generadores de los contaminantes de PM_{10} .
- Se espera que también la estación UPGM ubicada en el municipio de Paraíso sea una de las estaciones que registrará altas concentraciones de partículas PM_{10} , ya que se encuentra en la zona costera del Estado, justo donde se ubican las plataformas de PEMEX.
- Se cree que la estación ITSR la cual se encuentra en el municipio de Balancán será la estación que registre menos concentración de contaminación por partículas PM_{10} , ya que se encuentra en uno de los municipios menos industrializado, por lo cual generaría menor contaminación por PM_{10} .

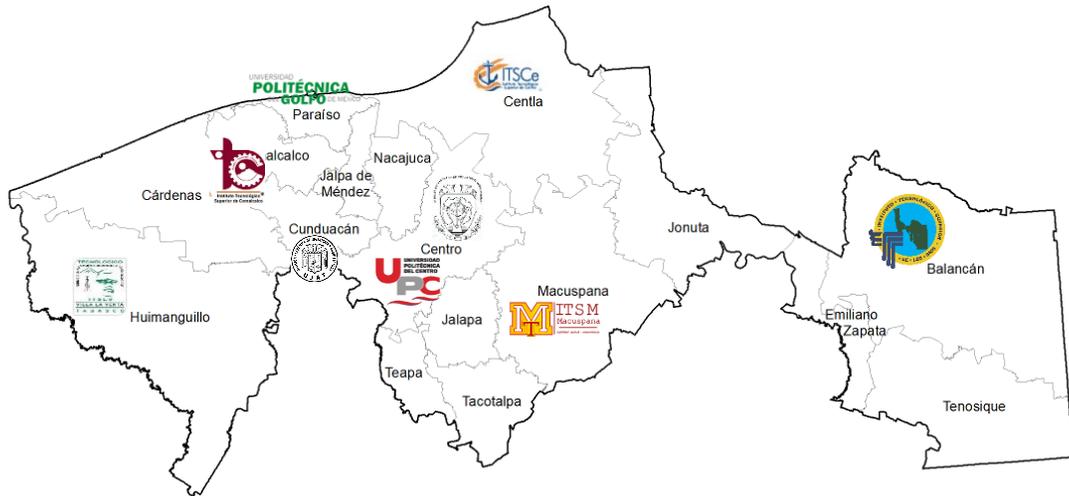
4. Metodología a desarrollar

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Estado de Tabasco, en los diferentes puntos de muestreo establecidos en los municipios de Balancán, Centro, Centla, Cunduacán, Comalcalco, Huimanguillo, Macuspana y Paraíso; que pertenecen a la “Red Multi-Institucional de muestreo de partículas fracción respirables PM_{10} en el estado de Tabasco”, está conformada por las instituciones mencionadas en la Tabla 1 y representadas en la figura 1.

Tabla 7.1 Instituciones pertenecientes a la Red Multi-Institucional de Muestreo de Partículas $\leq 10\mu m$ (PM_{10}) en el Estado de Tabasco

Instituciones pertenecientes a la Red Multi-Institucional de Muestreo de Partículas PM_{10} en el Estado de Tabasco	Municipio
Instituto Tecnológico Superior de los Ríos (ITSR)	Balancán
Instituto Tecnológico Superior de Centla (ITSCe)	Centla
División Académica de Ciencia Biológicas de la UJAT (DACBIOL)	Centro
Universidad Politécnica del Centro (UPC)	Centro
Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco (ITSC)	Comalcalco
División Académica de Ingeniería y Arquitectura de la UJAT (DAIA)	Cunduacán
Instituto Tecnológico Superior de La Venta (ITSLV)	Huimanguillo
Universidad Politécnica del Golfo de México (UPGM)	Paraíso
Instituto Tecnológico Superior de Macuspana (ITSM)	Macuspana

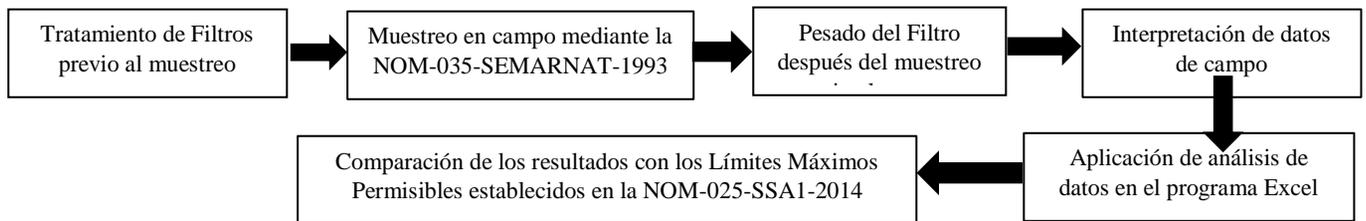
Figura 7.1 Instituciones que integran la Red Multi-Institucional de Muestreo de Partículas Fracción Respirable $\leq 10\mu\text{m}$ (PM₁₀) en el Estado de Tabasco



5. Diseño de estudio

Con la finalidad de cumplir el objetivo general y los objetivos específicos se realizó el siguiente diagrama (Diagrama 1), donde se explica las actividades que se realizarían antes, durante y después de del trabajo de investigación, dichos procesos basados en lo que indican las normas NOM-025-SSA1-1993 y NOM-035-SEMARNAT-1993.

Figura 7.2 Actividades para el desarrollo de la investigación



Equipo Muestreador Manual de PM₁₀

Este equipo está dentro del muestreo activo. Los equipos de esta clase involucran un sistema de bombeo que obliga a una corriente de aire medida a pasar por un sistema de retención. Este sistema de retención usa un filtro de características muy especiales y suele ser de fibra de vidrio (PM₁₀) o de fibra de cuarzo (PM_{2.5}) (Díaz, 2011) (Navarro Barbosa ., 2019).

El Equipo Muestreador de Alto Volumen (High Volume Sampler, HVS) consta básicamente de una bomba de vacío, marco de sujeción del filtro, adaptador de marco, controlador volumétrico de flujo (que ajusta un caudal constante durante el período de toma de muestra) y un controlador de tiempo (ver figura 7.2).

En este método de muestreo el aire es obligado a pasar por un filtro de baja resistencia, con un alto flujo. La entrada al ducto y el medio de colección miden aproximadamente 25-30cm. En todos estos equipos es muy importante la calibración del dispositivo para medir el flujo y el acondicionamiento del filtro antes y después de la colección de partículas.

El procedimiento de acondicionamiento consiste en equilibrarlo a condiciones estables de temperatura y humedad relativa antes de pesarlos. La concentración de partículas se calcula por medio de la diferencia en pesos del filtro antes y después del muestreo y el total del flujo de aire

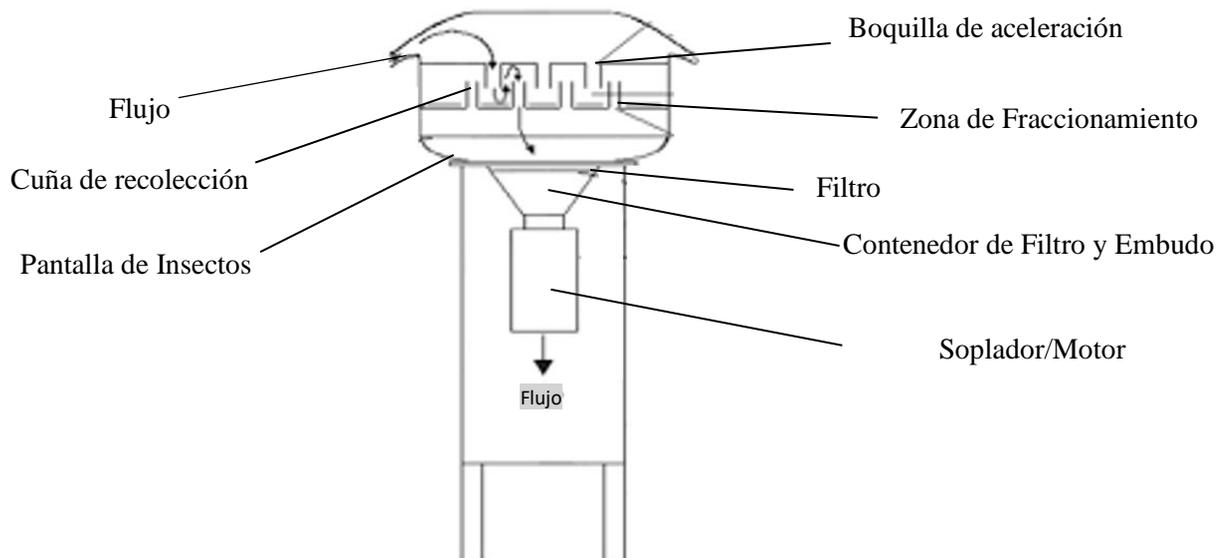
Figura 7.3 Equipos Muestreadores de Alto Volúmenes (High Volume Sampler, HVS) utilizado en los monitoreos de la Red Multi-Institucional de Monitoreo de Partículas PM_{10} en el Estado de Tabasco



Componentes del Equipo Muestreador Manual de PM_{10} (figura 7.3 y 7.4)

- Cubierta de aluminio
- Cabezal separador de partículas
- Orificio de restricción tipo venturi para mantener el flujo constante
- Reloj temporizador (timer) para 7 días
- Motor de succión de 0.6 h.p
- Cono receptor de filtro de acero inoxidable
- Marco sujetador de filtro con empaque de neopreno
- Graficador de tiempo y flujo

Figura 7.4 Componentes de un equipo muestreador



Fuente: Manual de PM_{10} .

Figura 7.5 Sección baja del equipo PM₁₀ (se muestra el reloj temporizador, el graficador de tiempo y flujo, el motor de succión)

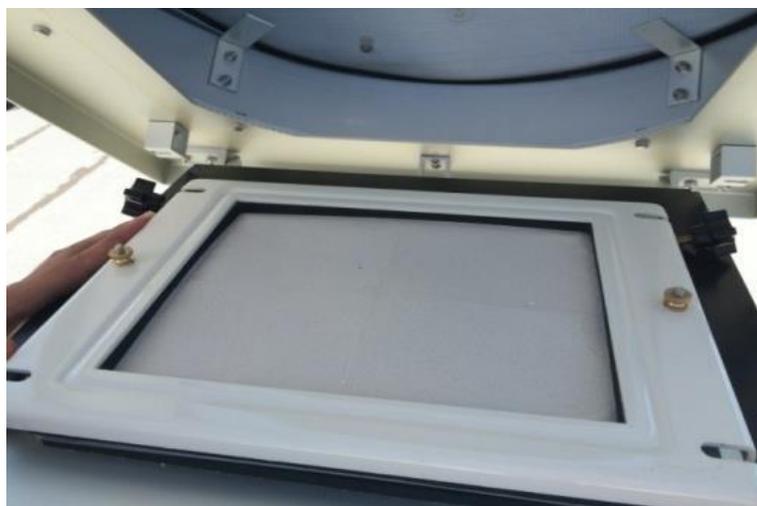


Filtro

Los filtros que utilizan los Equipos Muestreadores Manuales para PM₁₀ son de fibra de vidrio, los cuales deben de medir $20.3 \pm 0.2 \times 25.4 \pm 0.2$ cm, ver figura 7.6. Algunas características importantes que debe de cumplir el filtro de fibra de vidrio (ver figura 7.5) para el muestreo del Contaminante Criterio PM₁₀ son las siguientes:

- Área expuesta de 406.5 cm².
- De fibra de vidrio u otro material inerte no higroscópico.
- Eficiencia de colección de 99% mínimo para partículas de 0.3 μm de diámetro.
- Rango de la caída de presión. 5.6 a 7.2 kPa (42 a 54 mm Hg), a un flujo de 1.5 m³ptn/min a través del área expuesta.
- Potencial de hidrógeno con un rango de 6 a 10.
- Pérdida máxima de material del filtro 2.4 mg.
- No debe presentar ninguna perforación.
- Resistencia a la tensión de 500 g. para una tira de 2 cm de ancho.

Figura 7.6 Filtro de fibra de vidrio utilizados en los muestreos de la Red Multi-Institucional de Monitoreo de Partículas PM₁₀ en el Estado de Tabasco



Hoja de campo para el muestreo de partículas fracción respirable PM₁₀

La figura 7.7, muestra la hoja de campo que es utilizada para el muestreo de partículas de fracción respirable PM₁₀, donde se lleva a cabo el registro y control del muestreo realizado según la (EPA, 2017).

Figura 7.7 Hoja de campo para muestreo de partículas fracción respirable PM₁₀.

Hoja de campo para el muestreo de partículas fracción respirable (PM ₁₀)						
Núm. Filtro		Instala			Retira	
Obs. Atmosféricas Instalación:		Operador:				
		Fecha/ora:				
Obs. Atmosféricas Retiro:					F. Calendario	
Hodómetro		Hrs. Mues.	Verificación Flujo (InH ₂ O)/Temperatura (oC)			Sitio muestreo
Inicial	Final		F. Inicial	F. Final	Inicial	Final
Observaciones generales:			Tem. (oC)/H.R.(%)		Masa Filtro	
			Inicial	Final	Inicial	Final

Fuente: SBDSCC (antes SERNAPAM)

Desarrollo de la investigación

Acondicionamiento ambiental del filtro

El filtro deberá de rotularse en dos esquinas opuestas con un número de folio para su control, mismo que se colocará en el sobre protector para su resguardo antes y después del muestreo. Terminado esto se deberá colocar en un desecador para eliminar la humedad relativa del filtro (figura 8), para así pesarlo en una balanza analítica y saber cuál es el peso del filtro sin muestra (figura 9). La cámara de secado para el pre-tratamiento y post-tratamiento debe de cumplir con las siguientes características ambientales:

- La temperatura controlada debe ser entre 15 y 30°C con un máximo de $\pm 3^\circ\text{C}$ de variación durante el período de equilibrio.
- La humedad debe controlarse en un nivel menor del 50% de humedad relativa constante dentro de $\pm 5\%$. La sensibilidad de la balanza analítica debe ser de 0.01 mg.

Figura 7.8 Desecador de pre y pos-tratamiento, colocación de filtros en el desecador por un periodo de 24 a 48 horas**Figura 7.9** Pesado del filtro en una balanza analítica para obtener un peso inicial previo al muestreo

Procedimiento de Muestreo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-035- SEMARNAT-1993

El procedimiento de muestreo del método de referencia, se lleva a cabo de la siguiente manera según lo establecido por la NOM NOM-035- SEMARNAT-1993:

- Numerar cada filtro en dos orillas opuestas de la cara que no va a ser expuesta, si no está numerado previamente por el fabricante.
- Inspeccionar a contra luz cada filtro para detectar posibles orificios u otras imperfecciones. Deben descartarse los filtros con imperfecciones evidentes.
- Mantener en condiciones ambientales controladas al filtro por lo menos durante 24 horas.
- Después del paso anterior, pesar cada filtro llevando la fracción al miligramo más cercano y registrar el peso neto del filtro (Gi) junto con el número del filtro.
- No doblar o maltratar el filtro antes de coleccionar la muestra.
- Levantar la cubierta e instalar el filtro preparado y numerado en el muestreador siguiendo las especificaciones del fabricante. Cuando las condiciones climáticas sean adversas, deben tomarse precauciones adicionales al cambiar los filtros para evitar dañar los limpios y la pérdida de muestra del filtro cargado. Los envases de filtros pueden minimizar estos problemas.
- Cerrar la tapa y poner a funcionar el muestreador por lo menos durante 5 min, a fin de lograr la temperatura de operación.
- Registrar la lectura del indicador de flujo y en caso necesario, la presión barométrica (P3) y la temperatura ambiente (T3). Detener el muestreador y determinar la velocidad de flujo del muestreador; si está fuera del rango aceptable (1.1 a 1.7 m³/min) utilizar otro filtro o ajustar la velocidad de flujo del muestreador. Ajustes sustanciales pueden afectar la calibración.
- Registrar la información que identifique el muestreador (número de filtro, sitio, fecha del muestreo y hora de inicio).
- Poner el dispositivo de control de tiempo para activar y detener el muestreador, de modo que funcione 24 horas, tomando como base la media noche.
- Poner a funcionar el muestreador por lo menos durante 5 min, para establecer nuevamente la temperatura de operación, tan pronto como sea posible después del período de muestreo y sin retirar la muestra.
- Registrar la lectura del indicador de flujo y en caso necesario, la presión barométrica (P3) y la temperatura ambiental (T3).
- Detener el muestreador y quitar cuidadosamente el filtro. Tocar únicamente los bordes del filtro. Doblar el filtro a lo largo, de modo que solamente se toquen entre sí las superficies con partículas coleccionadas y colocarlo dentro de un sobre de papel manila.
- Anotar la hora de término y el tiempo transcurrido en la hoja de registro del filtro. El período de muestreo debe ser de $1,440 \pm 60$ min para que la muestra sea válida.
- Anotar en la hoja de registro del filtro todos los factores de interés, como las condiciones meteorológicas, actividades de construcción, tormentas de arena, entre otras, que pudieran afectar la medición. En caso de que la muestra sea defectuosa desecharla.
- Permita que el filtro alcance el equilibrio a condiciones ambientales por lo menos 24 horas.
- Inmediatamente después del acondicionamiento, pese el filtro llevando la fracción al miligramo más cercano y registrar el peso neto del filtro (Gf) junto con el número del filtro.

6. Resultados

Para la interpretación de la Calidad del Aire en el Estado de Tabasco del año 2018, fue considerado el Límite Máximos Permisible (LMP) del Contaminante Criterio PM10 que establece la Norma Oficial Mexicana **NOM-025-SSA1-2014** (Tabla 7.2).

Tabla 7.2 Límite Máximo Permissible (promedio de 24 horas y promedio anual) del Contaminante Criterio PM₁₀ que establece la NOM-025-SSA1-2014

Norma Oficial Mexicana	Valor promedio del LMP en 24 horas	Valor promedio del LMP anual
NOM-025-SSA1-2014	75 µg/m ³	40 µg/m ³

Fuente: NOM-025-SSA1-2014

A continuación, se muestran los datos de la Calidad del Aire por cada estación de monitoreo del Estado de Tabasco obtenidos en el año 2018 por la entonces Secretaria de Energía Recursos Naturales y Protección Ambiental (SERNAPAM), los cuales fueron utilizados para conocer las concentraciones del contaminante criterio PM₁₀.

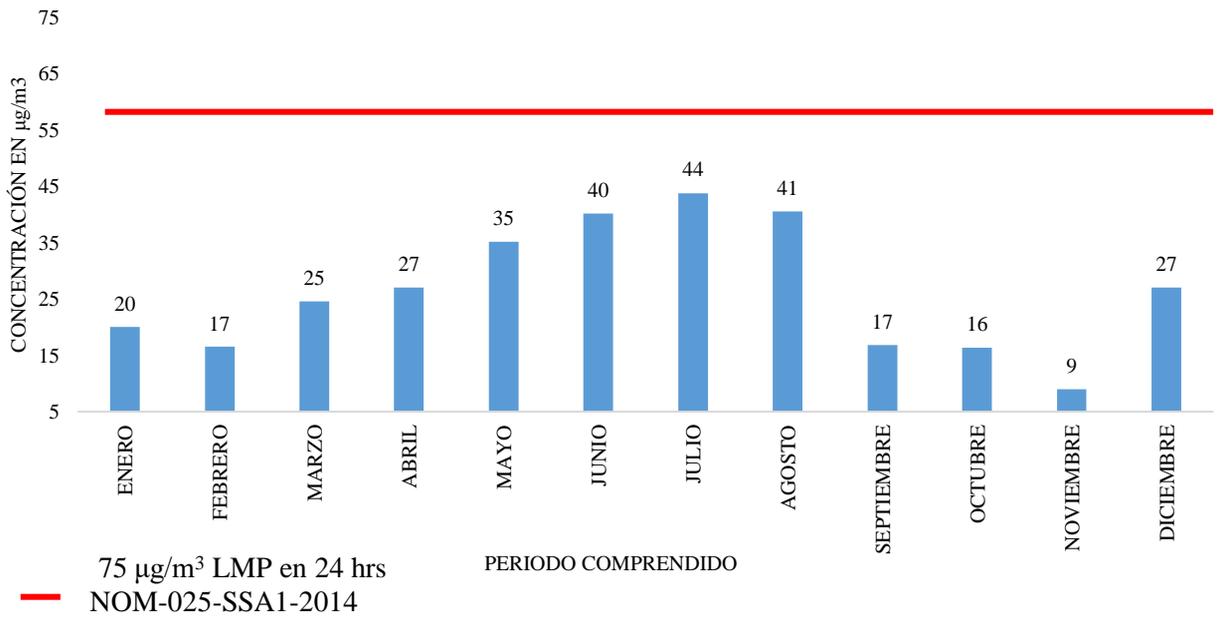
En la tabla 7.3 muestran los resultados de las concentraciones de partículas PM₁₀ en µg/m³ obtenidas en el Municipio de Macuspana en la estación ITSM del año 2018, así como la gráfica 1 muestra los promedios mensuales.

Tabla 7.3 Resultados de las concentraciones de Partículas PM₁₀ en µg/m³ obtenidas en el Municipio de Macuspana en la estación del ITSM del año 2018

Mes	Fecha de muestreo	Concentración	Mes	Fecha de muestreo	Concentración
Enero	14/01/2018	20		01/07/2018	30
Febrero	01/02/2018	16	Julio	07/07/2018	43
	07/02/2018	16		13/07/2018	38
	19/02/2018	13		25/07/2018	89
	25/02/2018	21		31/07/2018	19
Marzo	03/03/2018	24	Agosto	06/08/2018	27
	09/03/2018	26		12/08/2018	54
	15/03/2018	21	SEPTIEMBRE	05/09/2018	15
	21/03/2018	31		11/09/2018	24
	27/03/2018	21		17/09/2018	17
Abril	02/04/2018	22	OCTUBRE	23/09/2018	16
	08/04/2018	20		29/09/2018	12
	14/04/2018	38		05/10/2018	41
	20/04/2018	22	11/10/2018	10	
	26/04/2018	33	17/10/2018	9	
Mayo	02/05/2018	26	NOVIEMBRE	23/10/2018	14
	08/05/2018	34		29/10/2018	8
	14/05/2018	35		04/11/2018	12
	20/05/2018	41	10/11/2018	3	
	26/05/2018	40	16/11/2018	7	
Junio	01/06/2018	21	DICIEMBRE	22/11/2018	14
	07/07/2018	46		10/12/2018	14
	13/06/2018	34		22/12/2018	62
	19/06/2018	33		28/12/2018	4
	25/06/2018	67			

Fuente: SBDSCC (antes SERNAPAM).

Gráfico 7.1 Promedio mensual de las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante criterio PM_{10} de la estación ITSM del año 2018



Como se observa en la gráfica, la estación del ITSM en Macuspana registró cuatro meses con concentraciones altas, siendo julio el mes con el promedio más alto con una concentración de $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo, este no rebasa el LMP en 24 hrs que establece la norma.

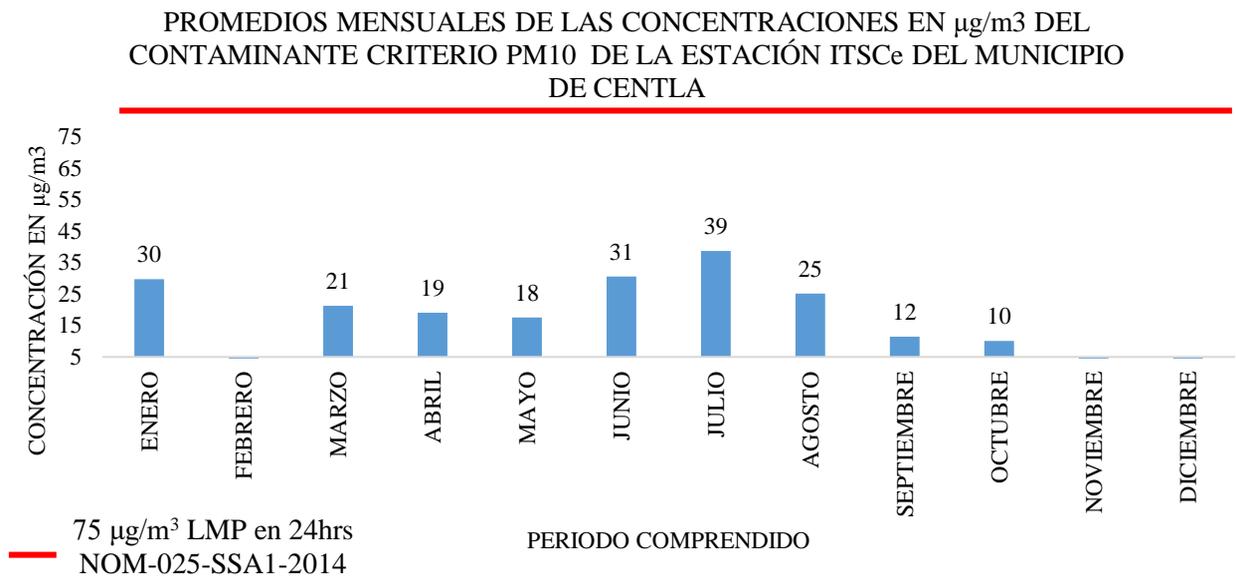
En la tabla 7.4 se registran las concentraciones de partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el Municipio de Centla en la estación ITSCe del año 2018. La gráfica 2 se muestra los promedios mensuales

Tabla 7.4 Resultados de las concentraciones de Partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el Municipio de Centla en la estación del ITSCe del año 2018

Mes	Fecha de muestreo	Concentración	Mes	Fecha de muestreo	Concentración
Enero	11/01/2018	21	Julio	10/07/2018	48
	17/01/2018	25		22/07/2018	43
	23/07/2018	43		28/07/2018	25
Febrero	No hay dato		Agosto	03/08/2018	36
Marzo	06/03/2018	17		09/08/2018	40
	18/03/2018	21		15/08/2018	8
	24/03/2018	17		24/08/2018	12
	30/03/2018	30	30/08/2018	30	
Abril	20/04/2018	22	Septiembre	11/09/2018	22
	26/04/2018	16		17/09/2018	1
Mayo	02/05/2018	24	Octubre	05/10/2018	19
	08/05/2018	21		11/10/2018	1
	14/05/2018	14	NOVIEMBRE	NO HAY DATO	
	26/05/2018	11			
Junio	22/06/2018	23	Diciembre	No hay dato	
	28/06/2018	38			

Fuente: SBDSCC (antes SERNAPAM).

Gráfico 7.2 Promedio mensual de las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante criterio PM_{10} de la estación ITSCe del año 2018



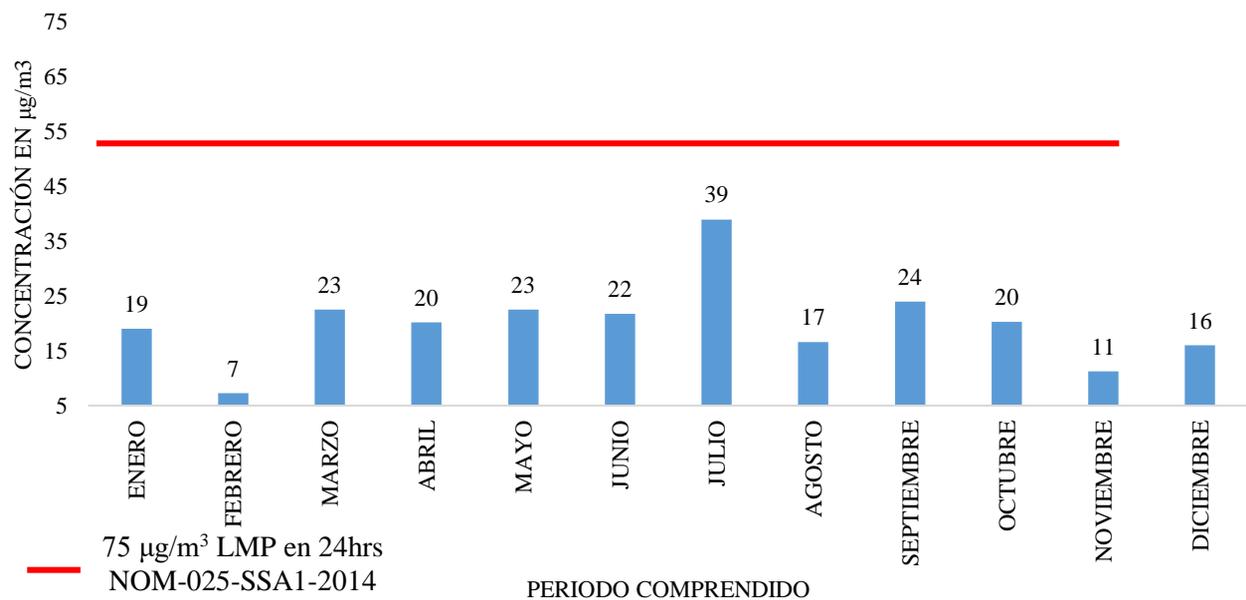
Como se observa en la gráfica 7.2, en la estación del ITSCe en Centla se registró que julio fue el mes con el promedio más alto con una concentración de $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo este no rebasa el LMP en 24 hrs que establece la norma. En la tabla 7.5 se muestran los resultados de las concentraciones de partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el Municipio de Centro en la estación DACBIOL del año 2018. La gráfica 7.3 ilustra los promedios mensuales.

Tabla 7.5 Resultados de las concentraciones de Partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el municipio de Centro en la estación de la DACBIOL del año 2018

Mes	Fecha de Muestreo	Concentración	Mes	Fecha de Muestreo	Concentración
Enero	02/01/2018	40	Julio	01/07/2018	48
	14/01/2018	16		07/07/2018	33
	20/01/2018	14		13/07/2018	79
	26/01/2018	6		19/07/2018	20
				31/07/2018	15
Febrero	01/02/2018	19	Agosto	06/08/2018	6
	07/02/2018	8		12/08/2018	39
	13/02/2018	1		18/08/2018	11
	19/02/2018	1		24/08/2018	15
				30/08/2018	12
Marzo	09/03/2018	26	Septiembre	05/09/2018	22
	15/03/2018	24		17/09/2018	11
	21/03/2018	22		23/09/2018	52
	27/03/2018	18		29/09/2018	11
Abril	02/04/2018	18	Octubre	05/10/2018	15
	08/04/2018	14		17/10/2018	11
	14/04/2018	30		23/10/2018	13
	20/04/2018	16		29/10/2018	42
26/04/2018	23				
Mayo	02/05/2018	25	Noviembre	04/11/2018	18
	08/05/2018	32		10/11/2018	11
	20/05/2018	20		16/11/2018	15
	26/05/2018	13		22/11/2018	14
				28/11/2018	1
Junio	01/06/2018	36	Diciembre	04/12/2018	5
	12/06/2018	10		16/12/2018	29
	19/06/2018	21		28/12/2018	14
	25/06/2018	20			

Fuente: SBDSCC (antes SERNAPAM).

Gráfico 7.3 Promedio mensual de las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante criterio PM_{10} de la estación DACBIOL del año 2018



Como se observa en la gráfica 3, la estación de la DACBIOL en el municipio del Centro registró que julio fue el mes con el promedio más alto con una concentración de $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo este no rebasa el LMP en 24 hrs que establece la norma.

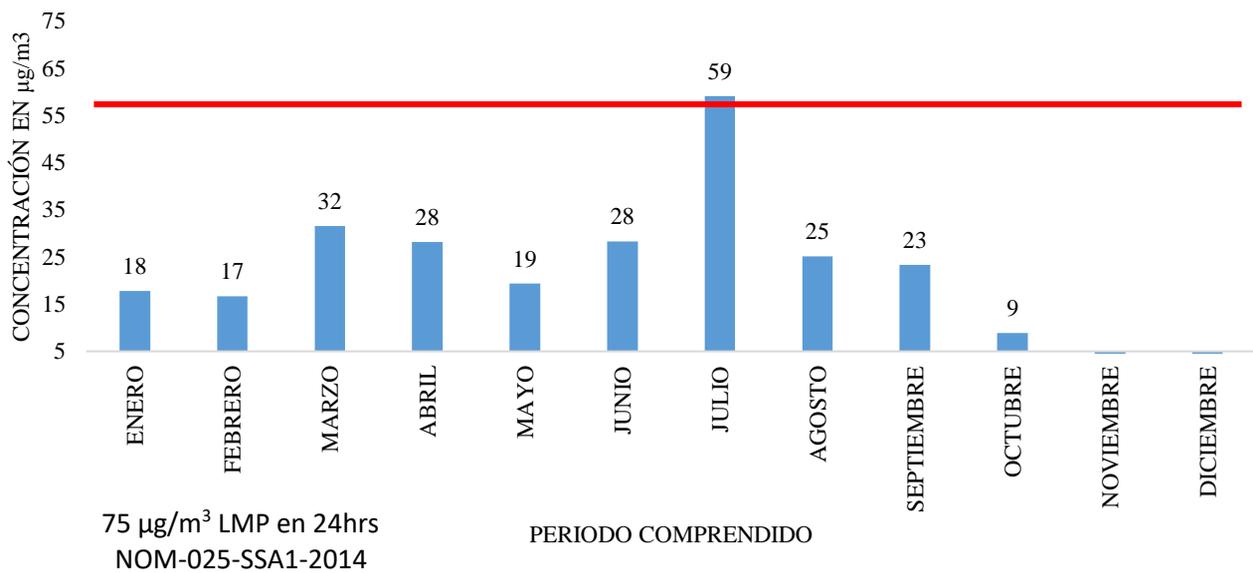
En la tabla 6 se muestran los resultados de las concentraciones de partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el Municipio de Balancán en la estación ITSR del año 2018, así como la gráfica 4 refleja los promedios mensuales.

Tabla 7.6 Resultados de las concentraciones de Partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el municipio de Balancán en la estación de la ITSR del año 2018

Mes	Fecha de muestreo	Concentración	Mes	Fecha de muestreo	Concentración	
Enero	02/01/2018	19	Junio	19/06/2018	33	
	20/01/2018	28		25/06/2018	23	
	26/01/2018	6	JULIO	19/07/2018	43	
Febrero	01/02/2018	16		25/07/2018	79	
	07/02/2018	10		31/07/2018	55	
	13/02/2018	21	AGOSTO	12/08/2018	54	
	19/02/2018	13		18/08/2018	16	
25/02/2018	24	24/08/2018		13		
03/03/2018	44	30/08/2018		18		
Marzo	15/03/2018	35	SEPTIEMBRE	05/09/2018	23	
	21/03/2018	29	OCTUBRE	04/10/2018	8	
	27/03/2018	19		11/10/2018	9	
	Abril	02/04/2018		26	17/10/2018	10
08/04/2018		32	NOVIEMBRE	NO HAY DATO		
14/04/2018		27		Diciembre	No hay dato	
20/04/2018		23				
26/04/2018		32				
Mayo	08/05/2018	20				
	14/05/2018	30				
	20/05/2018	9				

Fuente: SBDSCC (antes SERNAPAM)

Gráfico 7.4 Promedio mensual de las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante criterio PM_{10} de la estación ITSR del año 2018



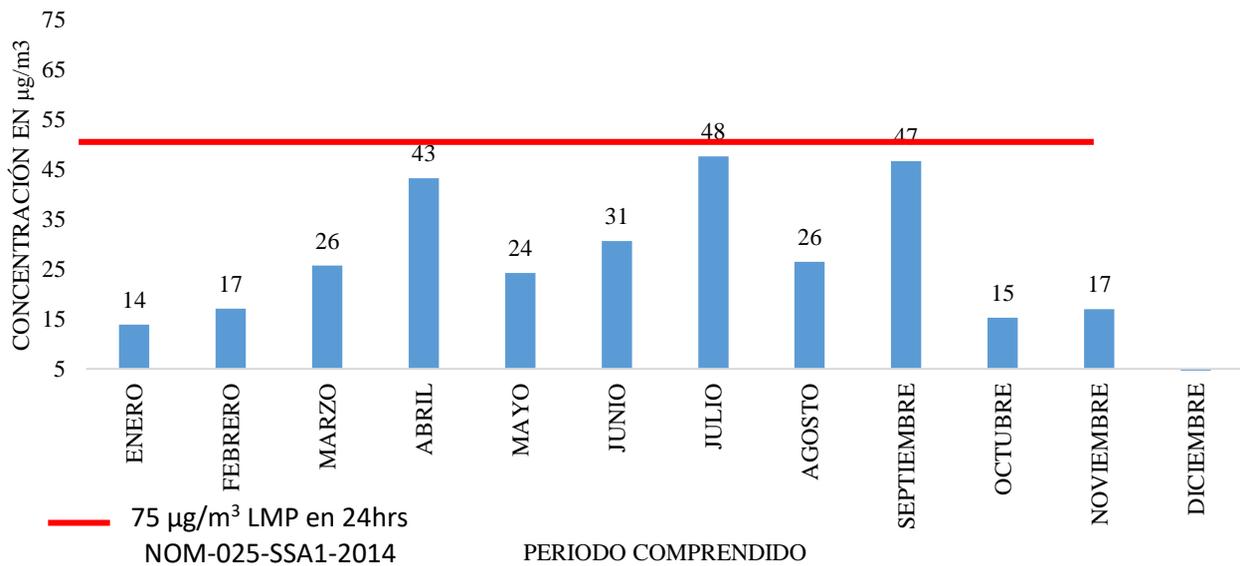
En la gráfica 4 puede observarse que la estación de ITSR en el municipio de Balancán registró que julio fue el mes con el promedio más alto con una concentración de $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo este no rebasa el LMP en 24 hrs que establece la norma.

En la tabla 7 se muestran los resultados de las concentraciones de partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el Municipio de Comalcalco en la estación ITSC del año 2018, se complementa con los promedios mensuales plasmados en la gráfica 5.

Tabla 7 Resultados de las concentraciones de Partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el municipio de Comalcalco en la estación de la ITSC del año 2018

Mes	Fecha de muestreo	Concentración	Mes	Fecha de muestreo	Concentración
Enero	26/01/2018	14	Julio	01/07/2018	59
Febrero	07/02/2018	19		07/07/2018	34
	13/02/2018	18		13/07/2018	38
	19/02/2018	15		19/07/2018	30
	25/02/2018	16		25/07/2018	77
Marzo	03/03/2018	22	Agosto	06/08/2018	22
	09/03/2018	26		12/08/2018	59
	15/03/2018	25		18/08/2018	15
	21/03/2018	32		24/08/2018	17
	27/03/2018	23		30/08/2018	19
Abril	02/04/2018	23	Septiembre	05/09/2018	154
	08/04/2018	31		11/09/2018	24
	14/04/2018	47		17/09/2018	16
	26/04/2018	72		23/09/2018	25
Mayo	02/05/2018	31		Octubre	29/09/2018
	08/05/2018	25	05/10/2018		19
	14/05/2018	28	Noviembre	11/10/2018	12
	20/05/2018	25		04/11/2018	16
	26/05/2018	12		10/11/2018	15
Junio	01/06/2018	34	Noviembre	22/11/2018	18
	07/06/2018	50		28/11/2018	19
	13/06/2018	30	Diciembre	No hay dato	
	19/06/2018	17			
	25/06/2018	23			

Gráfico 7.5 Promedio mensual de las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante criterio PM_{10} de la estación ITSC del año 2018



Como se puede observar en la gráfica 5, la estación de ITSC en el municipio de Comalcalco registró tres meses con concentraciones altas, pero julio fue el mes con el promedio más alto con una concentración de $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo este no rebasa el LMP en 24 hrs que establece la norma.

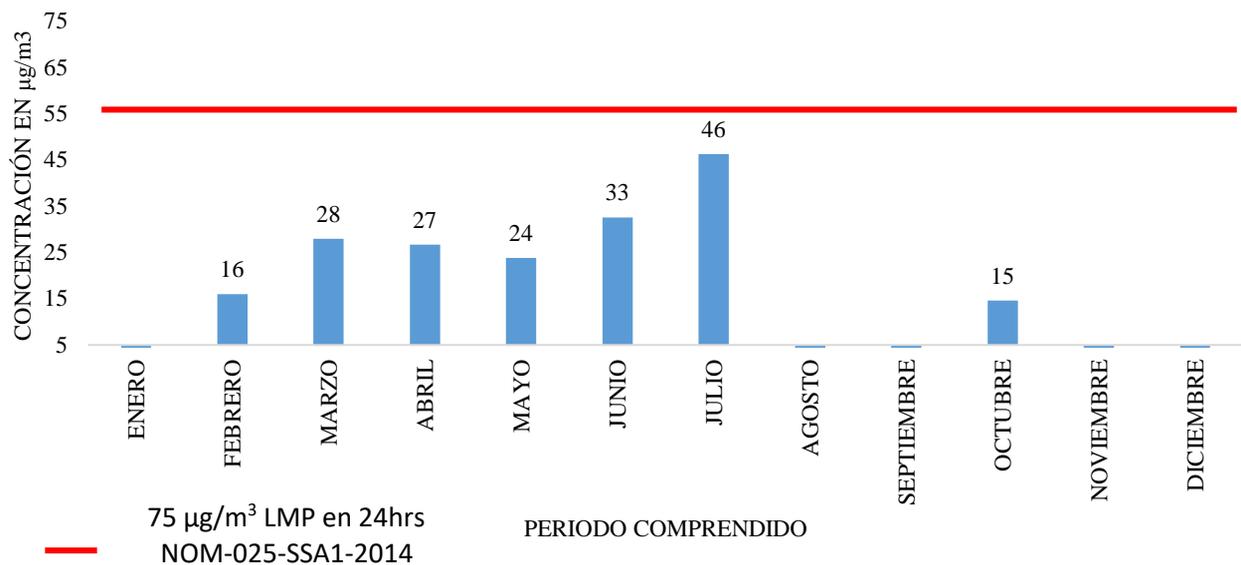
La tabla 8 muestran los resultados de las concentraciones de partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el Municipio de Paraíso en la estación UPGM del año 2018, por otro lado la gráfica 6 ilustra los promedios mensuales.

Tabla 7.8 Resultados de las concentraciones de Partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el municipio de Paraíso en la estación de la UPGM del año 2018

Meses	Fecha de muestreo	Concentracion
Enero	No hay dato	
Febrero	07/02/2018	16
Marzo	09/03/2018	28
Abril	14/04/2018	40
	20/04/2018	12
	26/04/2018	28
Mayo	08/05/2018	42
	20/05/2018	19
	26/05/2018	11
Junio	01/06/2018	28
	07/06/2018	49
	13/06/2018	30
	25/06/2018	23
Julio	01/07/2018	48
	07/07/2018	45
	13/07/2018	40
	19/07/2018	27
	25/07/2018	71
Agosto	No hay dato	
Septiembre	No hay dato	
Octubre	05/10/2018	17
	11/10/2018	11
	17/10/2018	15
Noviembre	No hay dato	
Diciembre	No hay dato	

Fuente: SBDSCC (antes SERNAPAM)

Gráfico 7.6 Promedio mensual de las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante criterio PM_{10} de la estación UPGM del año 2018

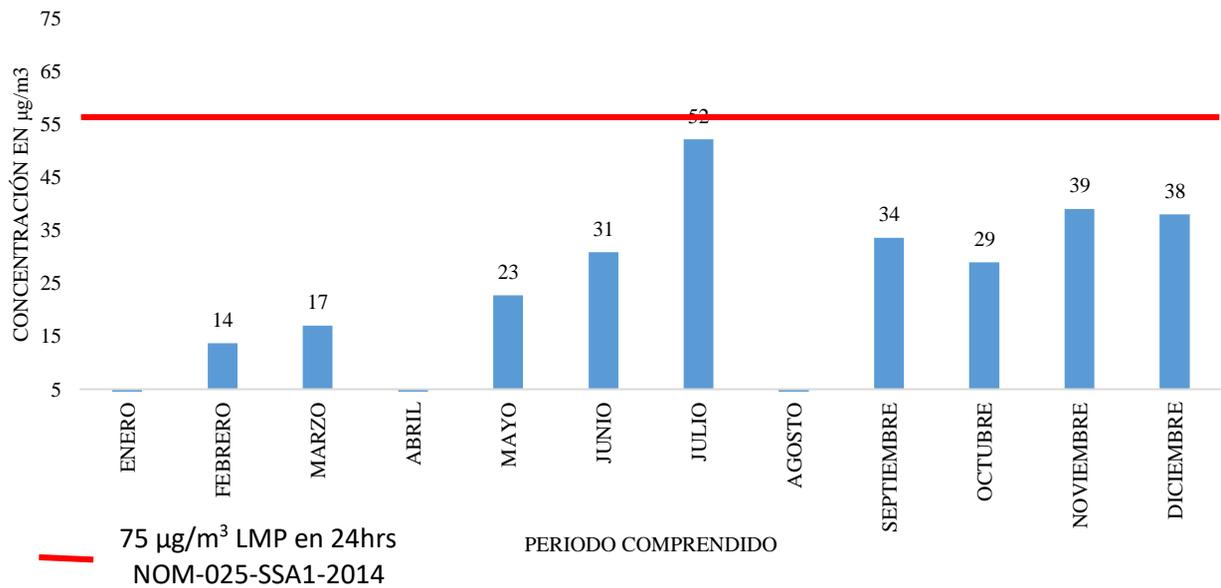


Se puede observar en la gráfica 6, de la estación UPGM en el municipio de Comalcalco, que julio fue el mes con el promedio más alto, con una concentración de $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo este no rebasa el LMP en 24 hrs que establece la norma. En la tabla 9 se muestran los resultados de las concentraciones de partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el Municipio de Huimanguillo en la estación ITSLV del año 2018, y la gráfica 7 muestra los promedios mensuales.

Tabla 7.9 Resultados de las concentraciones de Partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el municipio de Huimanguillo en la estación del ITSLV del año 2018

Meses	Fecha de muestreo	Concentración
Enero	No hay dato	
Febrero	13/02/2018	13
	19/02/2018	17
	25/02/2018	11
Marzo	03/03/2018	11
	09/03/2018	24
	15/03/2018	21
	21/03/2018	12
Abril	No hay dato	
Mayo	14/05/2018	20
	20/05/2018	38
	26/05/2018	11
Junio	01/06/2018	21
	01/06/2018	30
	07/06/2018	50
	13/06/2018	22
	19/06/2018	32
Julio	01/07/2018	28
	07/07/2018	64
	19/07/2018	65
Agosto	No hay dato	
Septiembre	05/09/2018	19
	11/09/2018	31
	17/09/2018	37
	29/09/2018	47
Octubre	05/10/2018	29
Noviembre	04/11/2018	17
	10/11/2018	77
	16/11/2018	22
Diciembre	04/12/2018	28
	10/12/2018	42
	16/12/2018	44

Gráfico 7.7 Promedio mensual de las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante criterio PM_{10} de la estación ITSLV del año 2018



Como se puede observar en la gráfica 7, la estación ITSLV en el municipio de Huimanguillo registró que julio fue el mes con el promedio más alto con una concentración de $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo este no rebasa el LMP en 24 hrs que establece la norma.

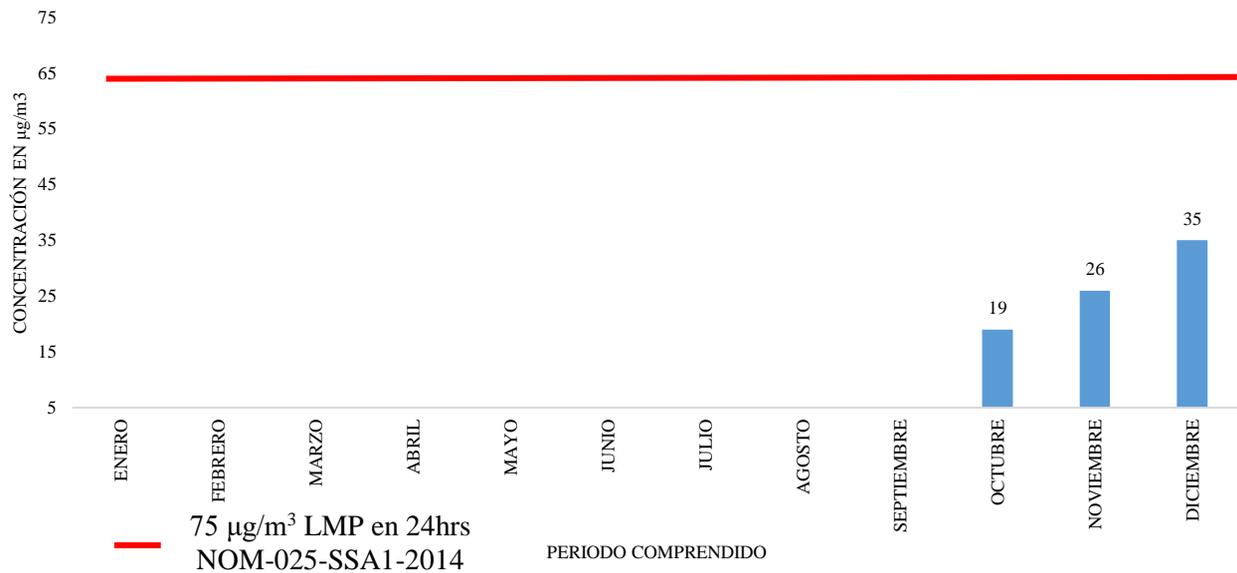
En la tabla 10 se muestran los resultados de las concentraciones de partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el Municipio de Cuauacán en la estación DAIA del año 2018. La gráfica 8 ilustra los promedios mensuales.

Tabla 7.10 Resultados de las concentraciones de Partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el municipio de Cuauacán en la estación de la DAIA del año 2018

Meses	Fecha de muestreo	Concentracion
Enero	No hay dato	
Febrero	No hay dato	
Marzo	No hay dato	
Abril	No hay dato	
Mayo	No hay dato	
Junio	No hay dato	
Julio	No hay dato	
Agosto	No hay dato	
Septiembre	No hay dato	
Octubre	05/10/2018	22
	11/10/2018	14
	17/10/2018	19
	23/10/2018	22
	29/10/2018	18
Noviembre	04/11/2018	30
	10/11/2018	25
	16/11/2018	28
	22/11/2018	29
	28/11/2018	18
Diciembre	04/12/2018	33
	10/12/2018	9
	22/12/2018	25
	28/12/2018	72

Fuente: SBDSCC (antes SERNAPAM)

Gráfico 7.8 Promedio mensual de las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante criterio PM_{10} de la estación DAIA del año 2018



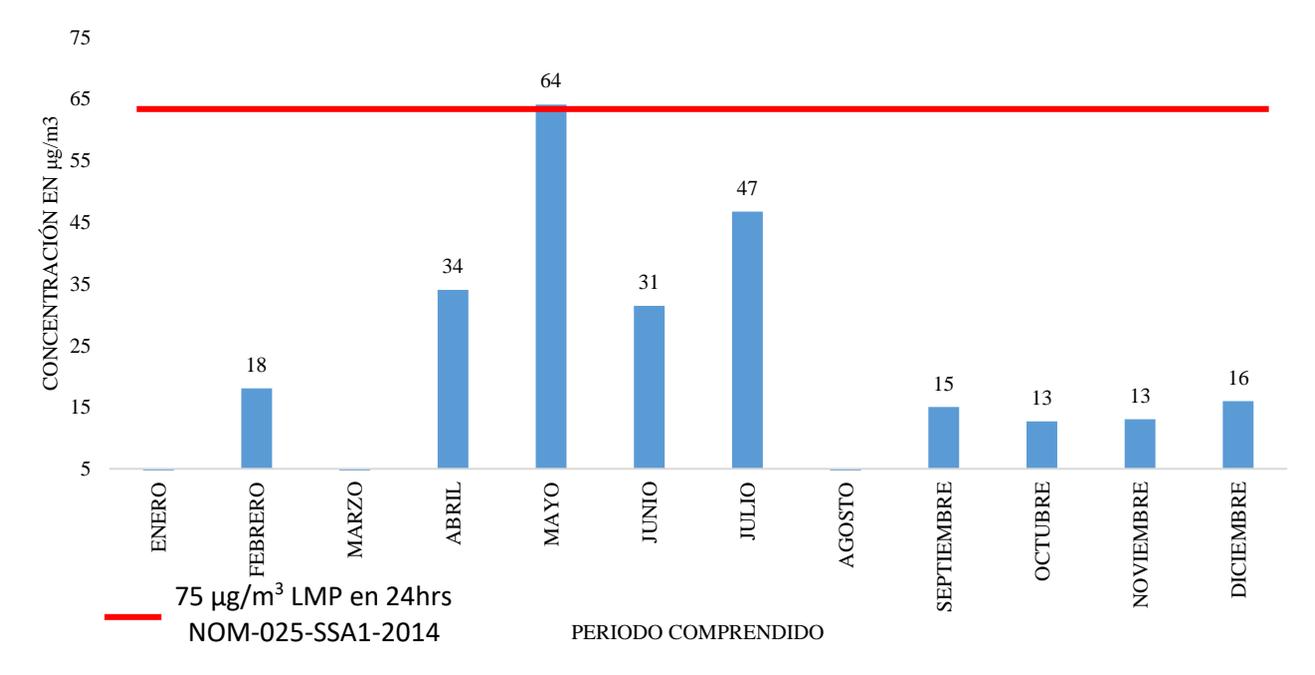
Como se puede observar en la gráfica 8, la estación DAIA en el municipio de Cunduacán registró en el mes de diciembre una concentración alta de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo este no rebasa el LMP en 24 hrs que establece la norma. Cabe mencionar que esta estación se incorporó en octubre del 2018 por lo tanto solo tiene registro de los últimos tres meses del año.

Por ultimo la tabla 11 muestra los resultados de las concentraciones de partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el Municipio de Centro en la estación UPC del año 2018, y la gráfica 9 sus promedios mensuales.

Tabla 7.11 Resultados de las concentraciones de Partículas PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas en el municipio de Centro en la estación de la UPC del año 2018

Meses	Fecha de muestreo	Concentracion
Enero	No hay dato	
Febrero	07/02/2018	14
	13/02/2018	22
Marzo	No hay dato	
Abril	14/04/2018	34
Mayo	14/05/2018	30
	20/05/2018	26
	26/05/2018	137
Junio	01/06/2018	27
	07/06/2018	40
	13/06/2018	28
	19/06/2018	24
	25/06/2018	38
Julio	01/07/2018	76
	07/07/2018	46
	31/07/2018	18
Agosto	No hay dato	
Septiembre	29/09/2018	15
Octubre	11/10/2018	11
	17/10/2018	12
	22/10/2018	16
	29/10/2018	11
Noviembre	16/11/2018	19
	22/11/2018	14
	28/11/2018	5
Diciembre	04/12/2018	26
	10/12/2018	6

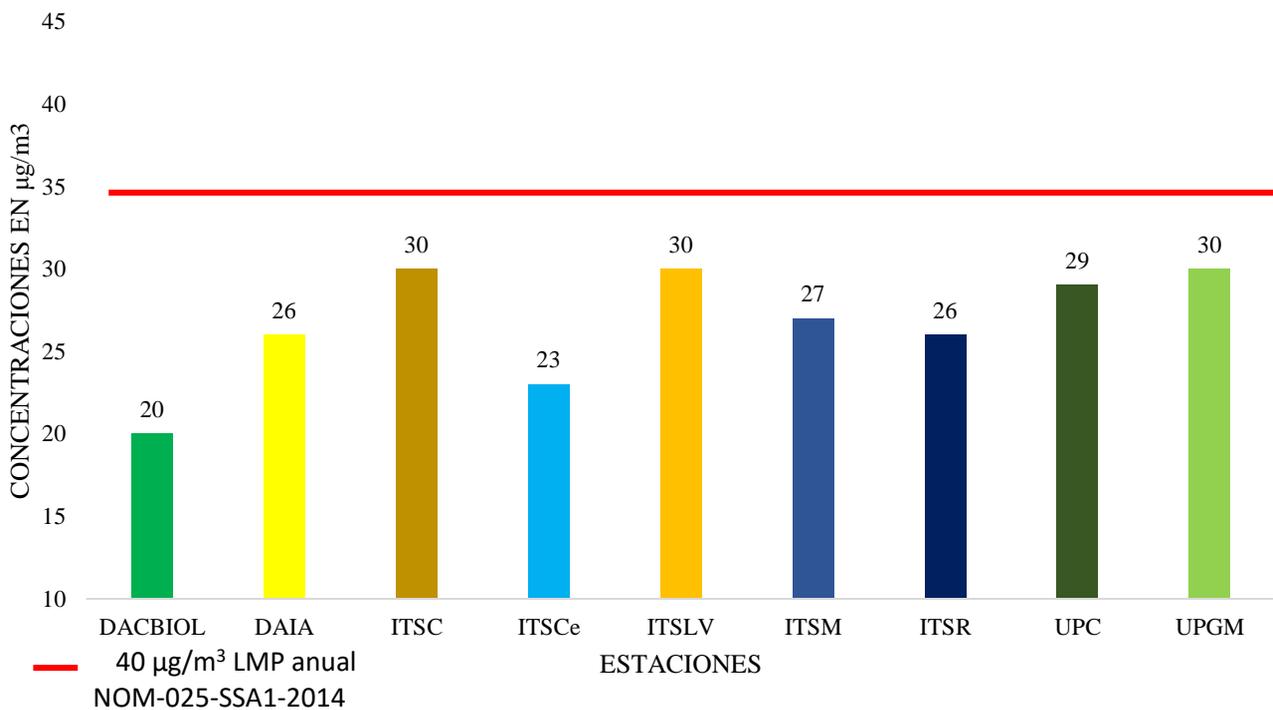
Gráfico 7.9 Promedio mensual de las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante criterio PM_{10} de la estación UPC del año 2018



Como se puede observar en la gráfica 9, la estación UPC en el municipio de Centro registró que el mes de mayo fue el mes con el promedio más alto con una concentración de $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo este no rebasa el LMP en 24 hrs que establece la norma.

La gráfica 10 muestra el promedio anual de las concentraciones del Contaminante Criterio PM_{10} en los diferentes puntos de monitoreo en el Estado de Tabasco. Tomando en cuenta el valor Límite Máximo Permisible (LMP) del promedio anual de la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014 que son $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se puede observar que los sitios de muestreo NO sobrepasaron el valor LMP que establece la norma.

Gráfico 7.10 Promedio anual de las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante criterio PM_{10} de las estaciones de monitoreo de la “Red Multi-Institucional de Muestreo de Partículas Fracción Respirable $\leq 10\mu\text{m}$ (PM_{10}) en el Estado de Tabasco” del año 2018



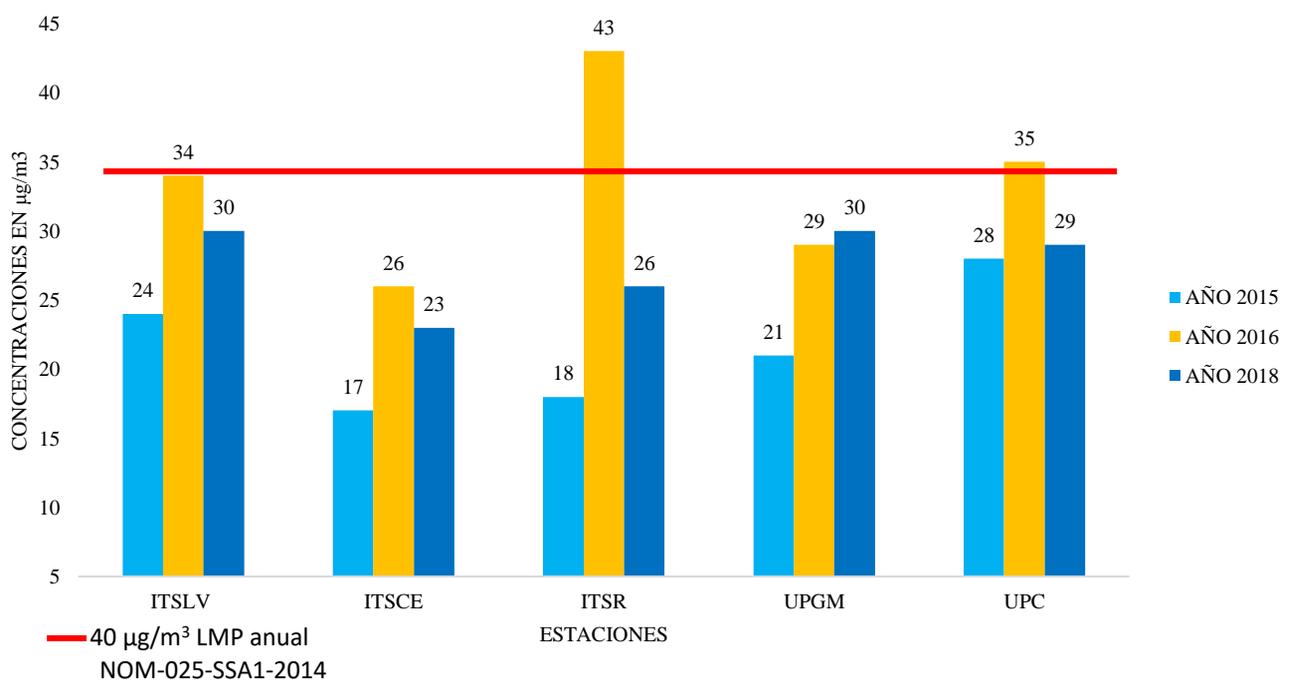
7. Discusión

En el año 2015 (Suárez García , Zárate, & Cupil Cupil, 2015) realizaron una investigación donde demostró que la estación del ITSCe en el año 2014 tuvo un promedio anual de una concentración de $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Así también Caparroso Sánchez en el 2017 realizó una investigación, obteniendo que esta misma estación registró un promedio anual con una concentración de $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2015 y en el 2016 un promedio anual con una concentración de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante el desarrollo de esta investigación en el periodo enero-diciembre 2018, se registró que también esta estación del ITSCe obtuvo un promedio anual de concentración de $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$; con un promedio mensual bajo de concentración de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el cual fue en el mes de octubre y el promedio más alto se obtuvo en el mes de julio con una concentración de $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

De igual manera Caparroso Sánchez en su investigación realizada demostró que en el año 2015 la estación ITSLV obtuvo un promedio anual de concentración de $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$; también en ese mismo año la estación ITSR registró un promedio anual de concentración de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la estación UPGM un promedio anual de concentración de $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la estación UPC un promedio anual de concentración de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$; y para el año 2016 los promedios anuales de concentraciones de estas mismas estaciones fueron: ITSLV $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ITSR $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, UPGM $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y UPC $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mientras que en esta investigación los promedios anuales de concentración también de estas estaciones fueron: ITSLV $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ITSR $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, UPGM $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y UPC $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

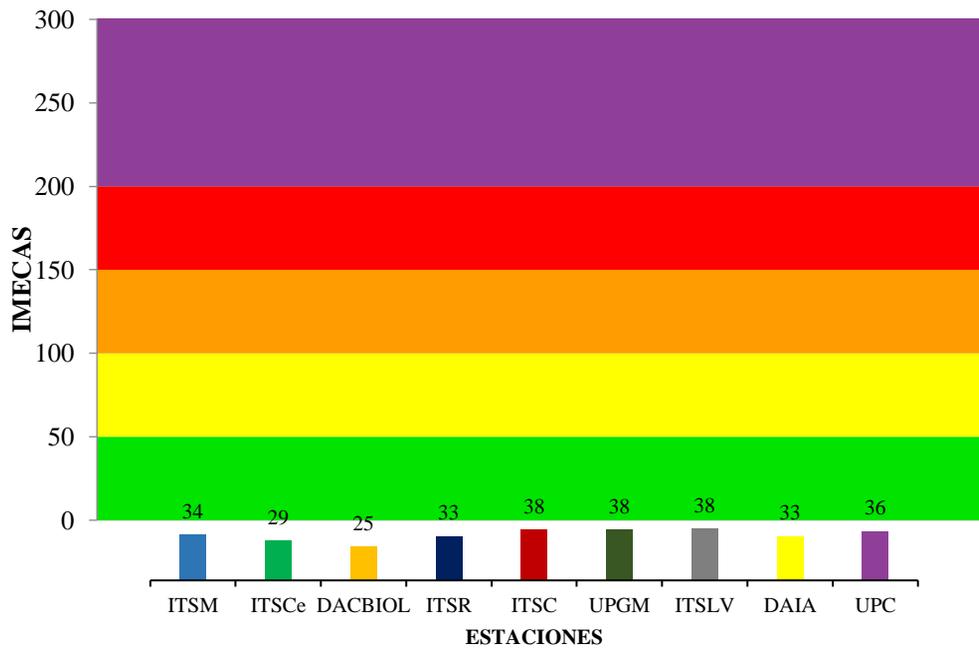
En la gráfica 11 se muestra la comparación de los promedios anuales de las estaciones ITSLV, ITSCe, ITSR, UPGM y UPC de los años 2015, 2016 y 2018, en donde se observa que solo en el año 2016 la estación ITSR rebaso el LMP anual establecido en la NOM-025-SSA1-2014 que son $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico 7.11 Comparación de los promedios anuales registrados de las estaciones ITSLV, ITSCe, ITSR, UPGM y UPC, de los años 2015, 2016 y 2018



En referencia al Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), la calidad del aire del Estado de Tabasco para el año 2018 fue BUENA, debido a que las concentraciones que se registraron no fueron perjudiciales para la salud humana ya que se encuentran dentro del límite permisible marcado por la Norma Oficial Mexicana.

Gráfico 7.12 IMECA anual del contaminante criterio PM_{10} de las estaciones de monitoreo de la “Red Multi-Institucional de Muestreo de Partículas Fracción Respirable $\leq 10\mu m$ (PM_{10}) en el Estado de Tabasco” del año 2018



Fuente: Propia, con datos de SERNAPAM

Como puede observarse en esta gráfica los resultados obtenidos se mantienen dentro de los límites establecidos en el índice IMECAS, por lo que la calidad del aire es buena en el estado de Tabasco.

8. Anexos

Anexo 7.1 Tabla indicadora del Índice Metropolitano de la Calidad del aire

Categoría	Intervalo	mensaje	Significativo	Recomendado
BUENA	0-50	Sin riesgo	La calidad del aire es satisfactoria y existe poco o ningún riesgo para la salud.	Se puede realizar cualquier actividad al aire libre.
REGULAR	51-100	Aceptable	La calidad del air es estable, sin embargo, en el caso de algunos contaminantes, las personas que son inusualmente sensibles, pueden presentar síntomas moderados.	Las personas que son extremadamente sensibles a la contaminación deben considerar limitar los esfuerzos prolongados al aire libre.
MALA	101-150	Dañina a la salud de los grupos sensibles	Quienes pertenecen a los grupos sensibles pueden experimentar efectos en la salud. El público en general usualmente no es afectado.	Los niños, adultos mayores, personas que realizan actividad física intensa o con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, deben limitar los esfuerzos prolongados al aire libre.
MUY MALA	151-200	Dañina a la salud	Todos pueden experimentar efectos en la salud, quienes pertenecen a los grupos sensibles pueden experimentar efectos graves en la salud	Los niño, adultos mayores, personas que realizan actividad física intensa o con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, deben evitar el esfuerzo prolongado al aire libre.
EXTREMADAMENTE MALA	≥ 200	Muy dañina a la salud	Representa una condición de emergencia. Toda la población tiene probabilidad de ser afectada.	La población en general debe suspender los esfuerzos al aire libre.

Fuente: SERNAPAM

Anexo 7.2 Calendario de monitoreo y mantenimiento de equipo muestreador manual PM10



CALENDARIO 2018



Calendario de monitoreo y mantenimiento de equipo muestreador manual PM10

ENERO						
DOM	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17, ITSLR	18	19	20
21	22	23	24, UPGM	25	26	27
28	29	30, ITSLV	31, ITLV			

FEBRERO						
DOM	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
				1, ITSM	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15, ITSCe	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28			

MARZO						
DOM	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

ABRIL						
DOM	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13, UPC	14
15	16	17	18, ITSCe	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

MAYO						
DOM	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
		1	2	3	4	5
6	7	8	9, ITSR	10	11	12
13	14	15	16, UPGM	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

JUNIO						
DOM	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
					1	2
3	4	5	6	7, ITSM	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26, UPC	27	28	29	30

JULIO						
DOM	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
1	2	3, ITSCe	4	5, ITSLV	6	7
8	9	10, ITSC	11	12	13	14
15	16	17, ITSR	18	19	20	21
22	23, UPGM	24	25	26	27	28
29	30	31				

AGOSTO						
DOM	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

Fuente: SERNAPAM

Anexo 7.3 Formulas

Fórmula para determinar la velocidad del flujo en m³ según la norma NOM-SEMARNAT-035-

$$Vf_{m^3} = F. \text{cte.} \frac{ft^3}{min} \times T.E. \times 0.0283 \quad (1)$$

VFm³ = Velocidad del flujo

F. cte. = Flujo Constante $\frac{ft^3}{min}$

T.E. = Tiempo de Exposición

Valor estándar = 0.0283

Fórmula para determinar las concentraciones de partículas PM_{10} en μ/m^3

$$C = \frac{PF-PI}{VFm^3} \times 1000000 \quad (2)$$

C = Concentración

PF = Peso Final

PI = Peso Inicial

VF m^3 = Velocidad del Flujo m^3

Fórmula para determinar el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA)

$$IMECA = \frac{CPM_{10}}{0.833} \quad (3)$$

IMECA = Índice Metropolitano de la Calidad del Aire

CPM₁₀ = Concentración de Partículas PM_{10}

Valor estándar = 0.833

9. Agradecimiento

El presente trabajo no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de la “Red Multi-Institucional de Muestreo de Partículas Fracción Respirable $\leq 10\mu m$ (PM_{10})”, de la Secretaria de Bienestar, Sustentabilidad y Cambio Climático (SBSCC) antes SERNAPAM, dicha secretaria financio en especie a las instituciones participantes.

Al Instituto Tecnológico Superior de Centla (ITSCe), quienes nos brindaron las facilidades para realizar esta investigación y nos permite colaborar en la Red Multi-Institucional de Muestreo de Partículas Fracción Respirable $\leq 10\mu m$ (PM_{10}).

10. Conclusiones

De acuerdo con el indicador de la calidad del aire del IMECA, **la calidad del aire de Estado de Tabasco del año 2018 es considerada BUENA**, ya que tanto los promedios mensuales y el promedio anual obtenido de las estaciones no sobrepasan el LMP en 24 hrs ni el LMP anual que establece la NOM-025-SSA1-2014. Sin embargo en la estación de la UPC en el municipio del Centro se registró que el mes de mayo tuvo la concentración más alta de todas las estaciones en el periodo comprendido, con un promedio mensual de concentración de $64 \mu g/m^3$, a su vez en los promedios mensuales obtenidos de las ocho estaciones de monitoreo restante todas coinciden que en el mes de julio fueron registradas las concentraciones más altas, aun así ninguna estación sobrepaso el LMP en 24 hrs que son $75 \mu g/m^3$.

El comportamiento del contaminante criterio PM_{10} muestra que a través de los años ha aumentado el valor de las concentraciones, mismos que han obligado en cierta forma a las normas aplicables en materia de aire a disminuir los límites máximos permisibles, ya que todos los días nos encontramos expuestos a cada uno de los contaminantes que se encuentran en la atmosfera, ya que algunos permanecen por un largo tiempo, considerando que el exceso de los contaminantes en el aire puede producir efectos adversos, perjudicando la calidad de vida de la población en general.

Por lo tanto, es indispensable involucrar a la población sobre la prevención hacia la problemática que la calidad del aire presenta y pueda presentar el Estado de Tabasco con el paso del tiempo, creando programas de concientización y participación ciudadana, y en conjunto con las autoridades competentes se tomen acciones para reducir y prevenir los problemas de contaminación del aire y salvaguardar la salud de la población tabasqueña.

Los trabajos futuros que se desprenden de esta investigación serán los siguientes:

- Establecer el comportamiento de las temporalidades partículas fracción respirable $\leq 10\mu m$ (PM_{10}), analizando su comportamiento en el tiempo (5 años).
- Analizar la correlación existente entre los resultados de las diferentes estaciones de Partículas Fracción Respirable $\leq 10\mu m$ (PM_{10}), y su posible predicción.
- Analizar el viento y los diferentes fenómenos - la quema – o factores que intervienen en la distribución de los contaminantes.

11. Referencias

Carnier. (2017). Contaminación Ambiental. CONACYT, Ciencia y Tecnología. Mexico: Ciencia y Tecnología.

Díaz, V. (noviembre de 2011). Contaminación del Aire. Salud y Medio Ambiente, 4(2), 3-7.

EPA. (enero de 2017). Efecto del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente. (EPA, Ed.) Obtenido de español.eoa.gov/español/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente.

Estadística, I. M. (s.f.). Operación de Estaciones de Medición de la Calidad del Aire., Mantenimiento y Calibración de sus Componentes. (INE, Ed.) Mexico, Estado de Mexico.

Estrada. (2011). Informe de resultados del monitoreo de partículas suspendidas realizadas en la comunidad del Refugio. Institucion Nacional de Ecología, Calidad del Aire. León Guanajato: Institucion Nacional de Ecología.

INE. (s.f.). Operaciones de Medición de la Calidad del Aire, mantenimiento y calibración de sus componentes. Mantenimiento y calibración de sus componentes de calidad del aire. (INE, Ed.) Mexico, Estado de Mexico.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Norma oficial mexicana; NOM-035-SENARNAT-1993, Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Norma oficial mexicana; NOM-025-SSA-2014, 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. Criterios para evaluar la calidad del aire. Diario Oficial de la Federación.

Sánchez, C. (2017). Interpretación de la calidad del aire con base en el contaminante criterio PM10 en el Estado de Tabasco (Vol. I). (C. Sánchez, Ed.) Villaermosa , Tabasco, Mexico: Secretaria de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental.

Suárez García , S. M., Zárate, M. A., & Cupil Cupil, A. (Diciembre de 2015). Evaluación de las concentraciones de Partículas PM10 y su relación con las condiciones meteorológicas (Temperatura, Humedad Relativa) en las instalaciones del ITSCe. (I. E. Martinez, Ed.) INGENIANTES, 2(I), 52 - 57. Recuperado el enero de 2019

Capítulo VIII Material Particulado Fino (PM₁) y fracción orgánica

Chapter VIII Fine Particulate Matter (PM₁) and organic fraction

OJEDA-CASTILLO, Valeria^{1,2} †* & HERNÁNDEZ-MENA, Leonel²

¹*Centro Universitario UTEG*

²*Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco*

ID 1st Author: *Valeria, Ojeda-Castillo* / **ORC ID:** 0000-0002-1397-0589, **CVU CONACYT ID:** 417629

ID 1st Coauthor: *Leonel, Hernández-Mena* / **ORC ID:** 0000-0001-9120-5527, **CVU CONACYT ID:** 42463

DOI: 10.35429/H.2019.4.138.154

V. Ojeda & L. Hernández

valeria.castillo@uteg.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Diaz, L. Cruz. (Dir.) La ciencia y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2019.

Resumen

Las PM₁ son las partículas ambientales más citotóxicas. Hasta la fecha, pocos estudios realizados alrededor del mundo se han centrado en PM₁ debido a la falta de disponibilidad de equipos de monitoreo de aire. Por lo tanto, la composición orgánica de una fracción respirable significativa de PM es desconocida. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y las quinonas en partículas finas son preocupantes debido a sus propiedades potencialmente carcinógenas y mutagénicas. En el aerosol (mezcla de partículas y líquidos en una fase gaseosa), los HAP y quinonas absorbidos se producen a partir de una combustión incompleta o pirólisis de material orgánico, y pueden formarse por procesos atmosféricos.

Los procesos atmosféricos gaseosos y heterogéneos de los HAP puede producir quinonas adicionales a través de la actividad fotoquímica y las reacciones con oxidantes atmosféricos, incluidos los radicales libres $\cdot\text{OH}$, O_3 y NO_3 . Existe una falta general de información sobre los niveles, las fuentes y la exposición a estos contaminantes. Por lo tanto, las regulaciones y las estrategias de control aún no existen.

Material particulado fino, Quinonas, HAP, Contaminantes atmosféricos.

Abstract

PM₁ are the most cytotoxic ambient particles. To date, few studies conducted around the world have focused on ambient PM₁ due to the unavailability of air monitoring equipment. Therefore, the organic composition of a significant fraction of respirable PM is unknown. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and quinones in fine particulate matter raise concerns due to their potentially carcinogenic and mutagenic properties. In the aerosol (mix of particles and liquids in a gas phase), sorbed PAHs and quinones are produced from incomplete combustion or pyrolysis of organic material, and can be formed also by atmospheric processes.

Gaseous and heterogeneous atmospheric processing of PAHs can yield further quinones via photochemistry and reactions with atmospheric oxidants including $\cdot\text{OH}$ free radicals, O_3 and NO_3 . There is an overall lack of information about levels, sources, and exposure to these pollutants. Therefore, regulations and control strategies are still non-existent.

Fine particulate matter, Quinones, PAHs, Atmospheric pollutants

1. Introduction

The World Health Organization pronounce that, in 2012, an estimated 3.7 million premature deaths were due to air pollution. The level of air pollution increasing in urban areas is a major concern. Recently, an environmental projection to 2050 carried out by the Organization for Economic Co-operation and Development determined that, if new policies are not implemented, the quality of urban air (typically governed by levels of particulate matter and ground-level ozone) will continue to deteriorate worldwide, becoming in 2050 the leading cause of environmental deaths worldwide.

Even though the importance of aerosols in atmospheric chemistry, climate and air pollution has been recognized, our ability to assess the impact of aerosols on the physics and chemistry of the atmosphere remains limited due to insufficient understanding of many processes associated with the sources of particles (mechanisms of formation). Atmospheric aerosols can be seen as a complex conglomerate of thousands of chemical compounds in a giant, strongly oxidizing chemical reactor in the Earth's atmosphere.

The complexity of the chemical and physical processes involving aerosols has not yet been fully evaluated due to the distribution and lifetimes of air pollutants that are strongly dependent on many meteorological parameters. It is likely that the fate of the air pollutants will be altered under changed climate conditions although the anthropogenic emissions are stagnated to levels of today.

Atmospheric aerosols can be categorized into primary, which are directly emitted by their sources, and secondary, in the atmosphere from inorganic and gaseous organic precursors. Approximately, that 10^4 - 10^5 different organic compounds have been identified in the atmosphere, each of which can undergo distinct atmospheric degradation processes to produce a range of oxidized products, which can take part in to the formation and growth of secondary organic aerosols (SOA). Also, a range of organic compounds associated with particles are emitted in the atmosphere directly in the form of primary organic aerosol (POA).

The distinction between primary and secondary particles diffuses with time, since the particles are subjected to a battery of physical (gas-particle repartitioning, particle coagulation, water uptake by particles, etc.) and chemical (reactive uptake of gases by particles, cloud/fog processing of particulate compounds, photochemistry, etc.) processes. All of these processes are known as “aging” of aerosols, and photochemistry is at the core of many particle aging processes in the atmosphere.

In the process of formation of organic particles during combustion, Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are components of organic carbon (OC) on PM (fine fraction) and are products of incomplete combustion. In contrast to PAHs which are emitted directly from combustion processes, the sources of oxygenated PAHs emission in the atmosphere can be both by direct introduction and by tropospheric conversion of PAHs or other precursor molecules.

2. Theoretical bases

2.1 Particulate Matter (Atmospheric aerosol)

2.1.1 Overview

Particulate matter (PM) is a mixture of solid and liquid particles that vary in size, shape and chemical composition suspended in the air (Wenger et al., 2009). It is an atmospheric pollutant originated from a wide variety of natural sources (vegetation, volcanoes) and anthropogenic (fossil fuel burning, industrial processes) or may be the result of gas phase chemical conversions, heterogeneous particulate reactions and multiphase processes (Spindler et al., 2013). The PM can be found in sizes ranging from 10^{-3} μm to 100 μm and according to health experts the PM fraction ≤ 100 μm (PM_{100}) is known as PM inhalable.

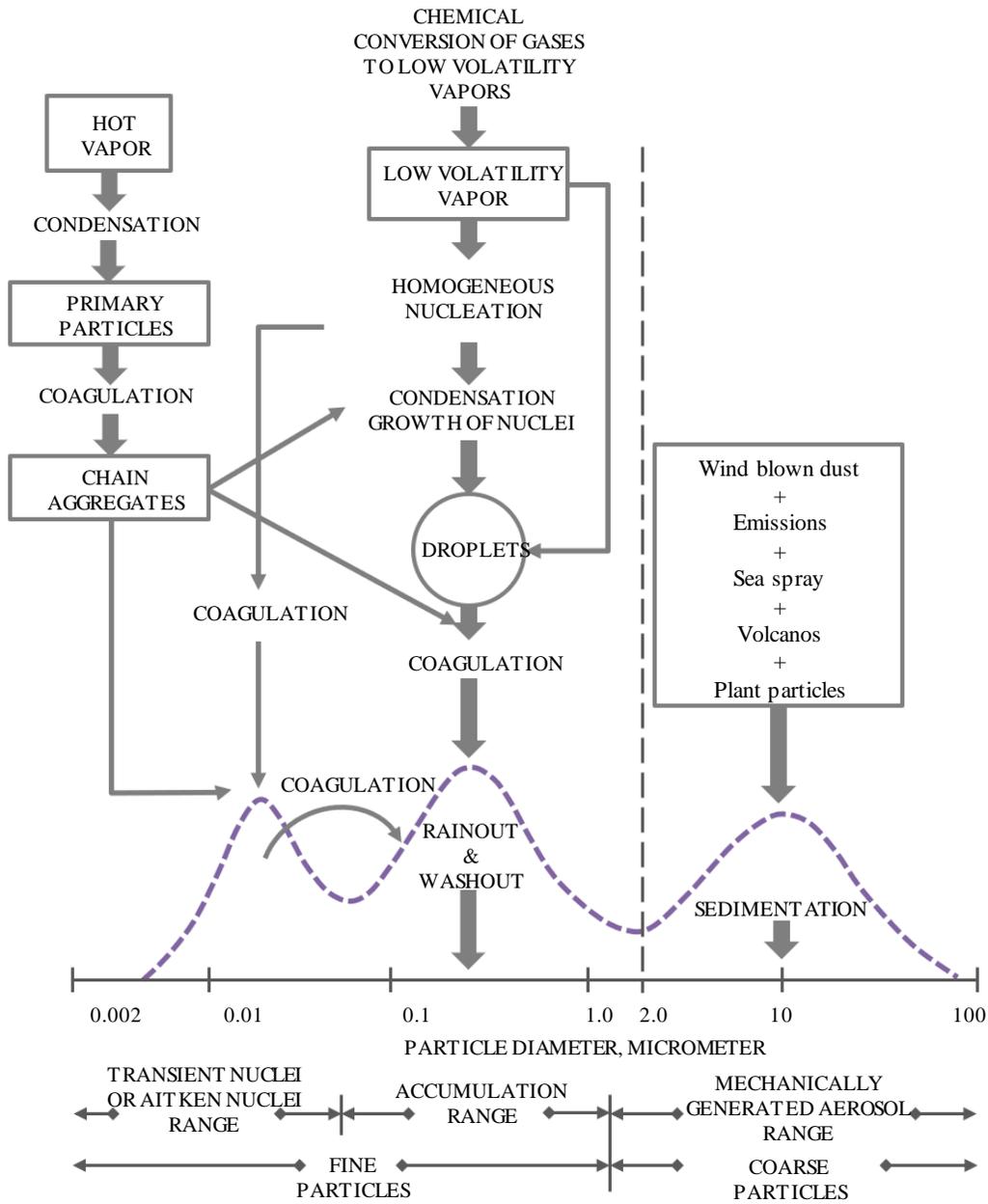
The fraction $\text{PM} \leq 10$ μm (PM_{10}) is known as the thoracic fraction because it is able to enter the thoracic pathways, and finally, there is a finer fraction ($\text{PM} \leq 4$ μm or PM_4) that can penetrate the tracheobronchial tree pathways that act as air exchange sites in the lungs, this fraction is known as respirable PM (Pérez et al., 2008). Similarly, PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ ($\text{PM} \leq 2.5$ μm or alveolar fraction) are selected as monitoring parameters in global air quality standards.

Thus, in air quality, the coarse fraction is considered between 2.5 and 10 μm ($\text{PM}_{2.5-10}$), while $\text{PM}_{2.5}$ is considered the fine fraction. This particular classification over the years has lost accuracy with respect to the definition given by Whitby and is due to the fact that fine and coarse particles generally have different sources and formation mechanisms (Whitby, 1978).

So, it is essential to distinguish between fine and coarse particles for any discussion of physics, chemistry, measurements or air quality standards. Whitby (1978) includes fine particles in ≤ 1 μm (PM_1) because most of the particles in the coarse fraction (>1 μm) are primary and generated by mechanical processes aerosol (Figure 8.1). Also, secondary coarse particles can be found by the chemical interaction of gases with primary particles of marine origin or of the earth's crust (greater than 1 μm).

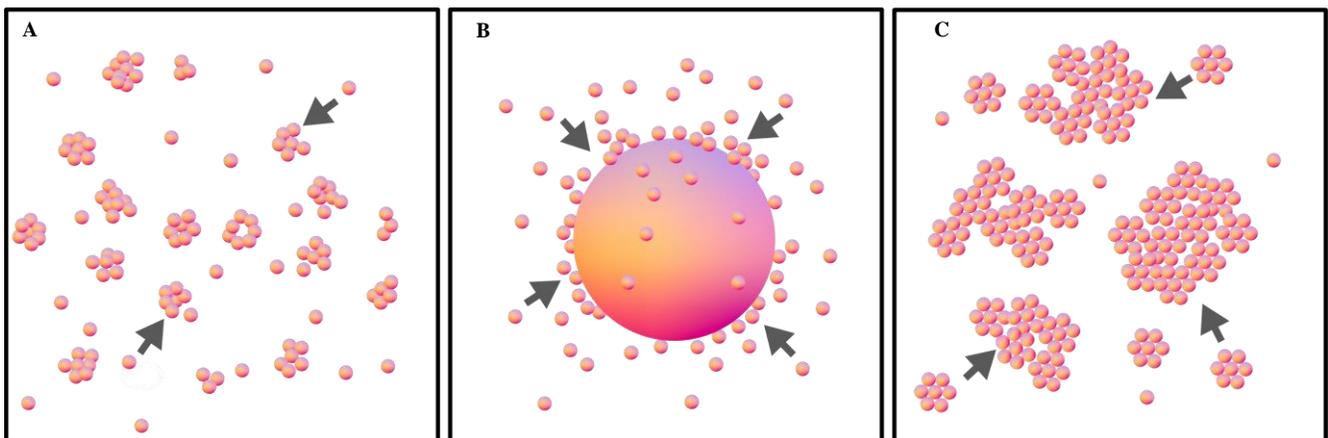
In the fine fraction (PM_1), primary particles (such as diesel soot), or secondary particles formed by precursor gases can be found via nucleation or condensation of existing particles (Figure 8.2).

Figure 8.1 Schematic of an atmospheric aerosol size distribution showing the three modes, main source of mass for each mode, the principal processes involved in inserting mass into each mode, and the principal removal mechanisms



Source: Whitby, 1978

Figure 8.2 Scheme of the mechanisms of formation of the secondary particles, A) Homogenous nucleation, B) Condensation and C) Coagulation



2.1.2 Formation process

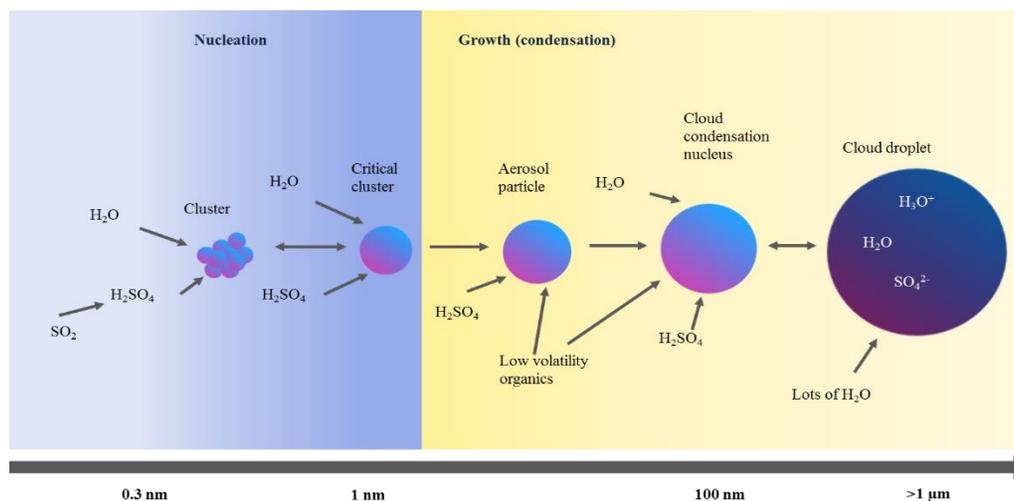
Nucleation

The new particles are formed by nucleation of low or zero volatility gas phase compounds emitted from biogenic or anthropogenic sources, followed by their growth into small particles. The generation of new particles has been observed in a variety of environments (Holmes, 2007) and varied atmospheric and climatological conditions. Many of the open questions are about the details of nucleation mechanisms and nucleation agents. So far, in general, it cannot be predicted when and where nucleation will take place. However, nucleation and subsequent growth processes influence the total number of particles, the particle size distribution, as well as the chemical and optical properties of the atmospheric aerosol. Both the climatic and the indirect effects of aerosols are potentially influenced by the number of growing nucleation particles in sizes at which they can become active nuclei of cloud condensation (Spracklen et al., 2006).

Pure sulfuric acid (H_2SO_4) has a low vapor pressure (0.3 mmHg at 20 °C) at atmospheric temperatures, and is lower in the presence of water, due to the large enthalpy that is released when two substances are mixed (Spindler et al., 2013; Viana et al., 2008). When H_2SO_4 is produced from sulfur dioxide (SO_2) in the gas phase, it is therefore easily super-saturated and the gaseous H_2SO_4 begins to condense. Water vapor is ubiquitous in the atmosphere and therefore a co-condensation of H_2SO_4 and H_2O is always occurring. If H_2SO_4 gaseous molecules do not find pre-existing surfaces (particles) to condense before colliding with other H_2SO_4 and H_2O molecules, they can be grouped with other molecules. If these aggregates continue to grow and exceed the nucleation barrier, then new thermodynamically stable aerosol particles will be formed from the gas phase (Curtius, 2006).

Two important steps have been recognized in the generation of new particles that can grow to a detectable size (Agudelo-Castañeda et al., 2014; Křůmal et al., 2013). The first for the formation of an initial nucleus and the second is the growth of particles to a larger size. The mechanisms proposed as candidates for the passage of the formation of an initial nucleus based on observations and theoretical considerations include: 1) homogeneous binary nucleation of sulfuric acid and water (Weber et al., 1999) (Figure 8.3); 2) homogeneous ternary nucleation of ammonia-water-sulfuric acid (Allen et al., 1997; Cho et al., 2004; Chung et al., 2006); 3) homogenous nucleation of organic compounds with low vapor pressure (O'Dowd et al., 2002); and 4) ion-induced nucleation (Kim et al., 2002). The second step in the formation of new detectable particles, growth, is also uncertain. These particles can grow by condensation of sulfuric acid or by self-coagulation. However, of the hundreds of different compounds trace in the atmosphere, only very few can nucleate as new particles. Sulfuric acid, in combination with water vapor and ammonia, iodine oxides and some organic substances such as certain sesquiterpene oxidation products are currently the only compounds that produce significant amounts of new particles in the ambient atmosphere (Curtius, 2006).

Figure 8.3 Schematic representation of nucleation and the subsequent growth process for homogeneous binary nucleation of H_2SO_4 and H_2O . Once stable groups are formed, other substances such as low volatility organic compounds may also participate in the growth process. Particles can grow to sizes large enough to act as cloud condensation nucleus and over time can be cloud droplets



Growth

Particle growth occurs through coagulation and condensation, both dependent on particle size. Coagulation involves the collision of particles with each other due to their kinetics. Although large particles provide a bigger surface area for absorption, the smaller particles have a higher diffusion rate. Condensation is a function of the vapor pressure saturation and the available surface area of the particle (both are related to the particle diameter). Within the different environments, the varying concentrations of sulfuric acid and low VOCs (volatile organic compounds) levels between clean and contaminated areas result in growth rates with a significant difference (Holmes, 2007).

Coagulation

Coagulation consists of aggregations between particles (mainly nucleation mode) and resulting in the fusion or aggregation of particles into a single. From the kinetic point of view, coagulation is a second-order process, whose constant rate, leaving aside an efficiency factor, depends on the radius and diffusion coefficients of the particles (Cozzi and Cadorin, 1972). The method of collision or aggregation is a major factor in determining the coagulation effect. Brownian motion or thermal coagulation is the dominant mechanism in the coagulation of submicron particles (in high concentrations) (Otto and Fissan, 1999). Where hydrodynamic, electrical and gravitational forces of the molecules that surround a particle result in collisions or aggregations asymmetric, causing movement and consequent impact with other particles (Seinfeld and Pandis, 2006). As a consequence, a decrease in the number of particles is obtained, but the mass is maintained (Holmes, 2007).

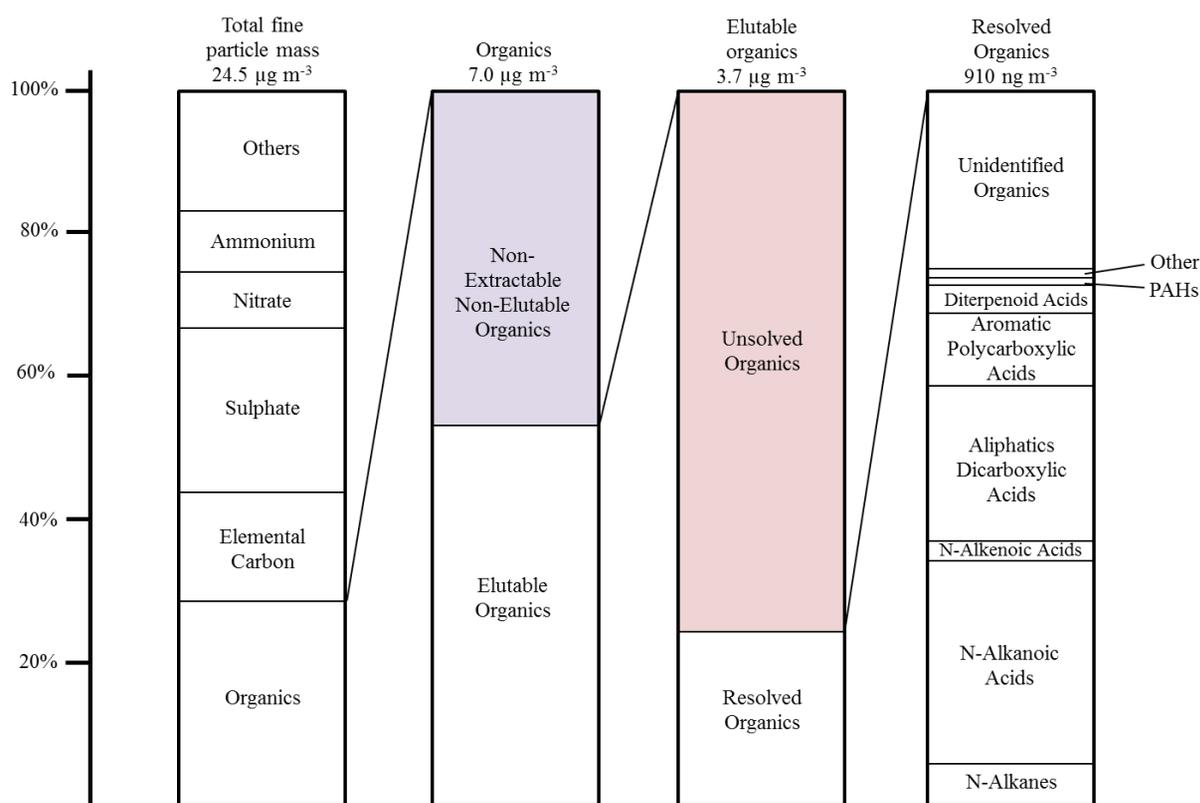
Condensation

Condensation is the partition of species between the gas phase and the particle phase as a result of the difference in ambient concentrations and equilibrium. However, due to the similarity between the size of the nanometric particles and the gas molecules the condensation to new particles is best determined by the collision rate between the gas molecules and the particles (Lehtinen and Kulmala, 2002). Most condensation models do not consider the diffusion effects of the molecules of the particles through the air. Though, for condensation to nanoparticles, since the gas dimensions are similar to those of the particles, ignoring the diffusion of the particles through the air can lead to an overestimation of the rate of condensation (Holmes, 2007). Gas phase diffusion is the first step for condensing low and semi-volatile organic vapors into existing particles. The gas phase diffusion correction factor describes the influence of gas phase diffusion (Pöschl, 2011). Therefore, it is an important parameter in the formation and growth of SOA (Pierce et al., 2011; Riipinen et al., 2011).

2.1.3 PM composition

The chemical components found in the particles are very diverse and depend mainly on both the emitting source and the mechanism of particle formation. Since the coarse, fine and ultrafine particles are generated through different processes, it is expected that each of these PM groups will have a unique composition of chemical species, allowing inferences about the sources and processes of formation. The formation of coarse particles through mechanical processes such as wind and erosion results in the abundance of inorganic species that derive from sand, soil and marine salt present in large particles. Common elements found in the Earth's crust may contribute to the chemical composition of coarse particles. Crushed limestone is a common material used on paved roads; it is a major source of calcium in large particles (Finlayson-Pitts and Pitts, 2000). Sulphates and organics are prominent compounds present in the ultrafine particles due to their formation by homogenous nucleation. In addition to inorganic species such as nitrates and ammonium, the chemical composition of the fine particles also comprises sulfates and organic polar species, derived from the fine particles that may arise from the coagulation of ultrafine particles. Organic species are a substantial fraction of fine particulate matter ranging from 20-90% of the mass of particles in the troposphere (Kanakidou et al., 2005). The formation of fine particles through the combustion and condensation processes of low volatility vapors also results in particular combustion products such as organic carbon, elemental carbon and traces of metals. As far as organic matter is concerned, only a small percentage can be characterized. In Figure 8.4, a percentage relationship scheme is presented, illustrating the fraction concerning total carbon.

Figure 8.4 Mass balance applied to the fraction of organic matter contained in fine particles ($<2 \mu\text{m}$ aerodynamic diameter) and its relation to other components



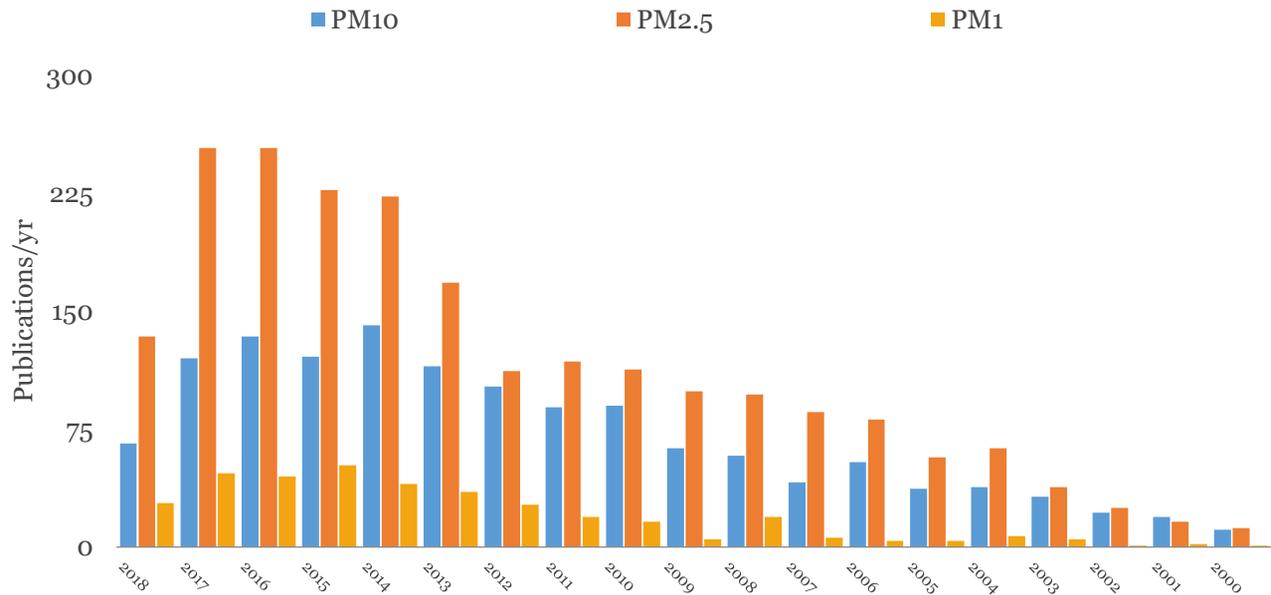
Source: Rogge et al., 1993

2.1.4 Previous research of PM_{10}

It has been established that PM_{10} are a better indicator of roadside emissions compared to $\text{PM}_{2.5}$. Also, PM_{10} are more cytotoxic for penetrating deeper into the respiratory system. Currently, several studies about PM_{10} concentrations have been published (Ariola et al., 2006; Godec et al., 2012; Gomišček et al., 2004; Pérez et al., 2008; Perrone et al., 2013; Spindler et al., 2004, 2013), however, compared to the information generated with coarse particle sizes ($> \text{PM}_{10}$) are scarce. Viana et al. (2008) reviewed publications in Europe focusing on PM and their sources over 18 years (1987-2005); and concluded that the contribution of origin detail requires characterization of specific tracers and chemical profiles for fine PM ($\leq \text{PM}_{10}$). Therefore, it is expected that the sources and profiles for each fraction will be different in the contribution of specific anthropogenic emissions, quantification of natural sources, identification of biomass combustion sources, nitrate components, etc.

More recent studies such as that of Hu et al. (2016) report high concentrations of PM_{10} in Beijing in the range of $60\text{--}85 \mu\text{g m}^{-3}$, of which it is estimated that 82% of the concentration of the mass of PM_{10} is composed of secondary species, where 62% is a secondary inorganic aerosol and 20% is a secondary organic aerosol. Valotto et al. (2014) indicate a total mass of PM_{10} in Italy of $27 \mu\text{g m}^{-3}$ in addition to a characterization of 16 elements (Fe, Mn, Zn, K, S, Mg, among others). Similarly, Perrone et al. (2013) report concentrations of a total mass of PM_{10} in $15 \pm 5 \mu\text{g m}^{-3}$ and characterization of ions, organic carbon and elemental carbon. Spindler et al. (2013) analyzed the mass of particles, ions, organic carbon and elemental carbon for PM_{10} in Germany and their difference according to the movement of the air masses, finding concentrations between 17 and $34 \mu\text{g m}^{-3}$ of SE to NW.

On the other hand, Agudelo-Castañeda et al. (2014) in one of the few studies oriented to the organic composition of PM_{10} and its health risk, reports polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) levels for two sampling sites in Brazil, with concentrations of $\Sigma_{16}\text{PAHs}$ of 1.57 and 3.05 ng m^{-3} for summer and winter respectively. Similarly, Křůmal et al. (2013) analyzed 16 PAHs and 4 hopanes in PM_{10} at two sampling sites in the Czech Republic. In winter reports $\Sigma_{16}\text{PAHs}$ of 22.2 ng m^{-3} (in 2009) and 39.8 ng m^{-3} (in 2010); in summer 5.01 ng m^{-3} (in 2009) and 1.68 ng m^{-3} (in 2010). According to the above, it is evident that it requires information focused on the organic characterization of PM_{10} that would contribute to elucidate transformation mechanisms, atmospheric processes, and health in the population.

Figure 8.5 Reported sources contribution studies for PM₁ (2000-2018)

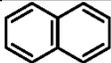
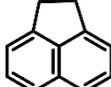
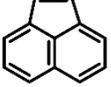
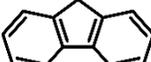
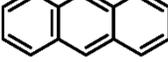
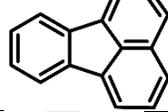
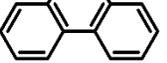
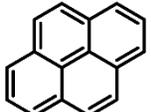
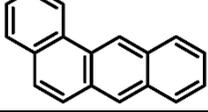
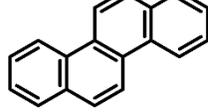
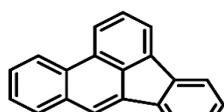
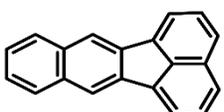
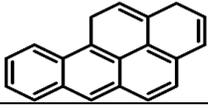
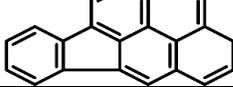
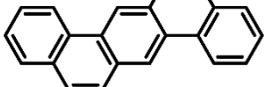
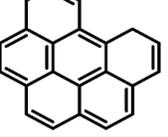
2.2 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

PAHs are a group of various complex organic compounds, consisting of carbon and hydrogen together with two or more fused benzene rings (Ravindra et al., 2008). In the atmosphere, PAHs can be present in the gas phase, in case of PAH with high volatility ($P_v > 13$ mmHg). In particle phase, they are adsorbed/absorbed to the surfaces of fine particles; or they may be distributed between the two phases as shown in Table 1.1 (Finlayson-Pitts and Pitts, 2000). High molecular weight compounds are considered those are having 5 or 6 rings and are mainly found in the solid phase associated with the particulate matter; while the 4 ring PAHs may be in the gaseous phase and particle phase, Table 1.2 shows their properties.

Table 8.1 Forms of PAHs present in the atmosphere

PAHs	Acronym	Gas/Particle distribution
Naphthalene	Nap	Gas
Acenaphthene	Ace	Gas
Acenaphthylene	Acy	Gas
Fluorene	Fl	Gas
Anthracene	Ant	Gas/Particle
Fluoranthene	Flu	Gas/Particle
Phenanthrene	Phe	Gas/Particle
Pyrene	Pyr	Gas/Particle
Benzo[<i>a</i>]anthracene	BaA	Particle
Chrysene	Chr	Particle
Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	BbF	Particle
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	BkF	Particle
Benzo[<i>a</i>]pyrene	BaP	Particle
Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyrene	Ind	Particle
Dibenz[<i>a,h</i>]anthracene	Dib	Particle
Benzo[<i>g,h,i</i>]perylene	BghiP	Particle

Table 8.2 Physico-chemical properties of U.S. EPA priority PAHs

PAHs	Molecular formula	Structure	Molecular weight (g mol ⁻¹)	Vapor pressure of the supercooled liquid $p^{\circ}L$ at 298 K (Pa)	τ_{total} (h)*
Nap	C ₁₀ H ₈		128	38	13
Ace	C ₁₂ H ₁₀		154	1.7	5
Acy	C ₁₂ H ₈		152	2.6	1
Fl	C ₁₃ H ₁₀		166	0.54	21
Ant	C ₁₄ H ₁₀		178	5.9x10 ⁻²	2
Flu	C ₁₆ H ₁₀		202	6.8x10 ⁻³	14-25
Phe	C ₁₄ H ₁₀		178	0.10	9
Pyr	C ₁₆ H ₁₀		202	4.2x10 ⁻³	5-6
BaA	C ₁₈ H ₁₂		228	3.8x10 ⁻⁴	3-11
Chr	C ₁₈ H ₁₂		228	1.3x10 ⁻⁴	9-27
BbF	C ₂₀ H ₁₂		252	1.0x10 ⁻⁵	34 to>330
BkF	C ₂₀ H ₁₂		252	7.8x10 ⁻⁶	8-21
BaP	C ₂₀ H ₁₂		252	7.9x10 ⁻⁶	2-5
Ind	C ₂₂ H ₁₂		276	6.6x10 ⁻⁷	6-9
Dib	C ₂₂ H ₁₄		278	9.5x10 ⁻⁸	34 to>330
BghiP	C ₂₂ H ₁₂		276	4.6x10 ⁻⁷	5

High molecular weight PAHs are expected to require more time to partition to coarse particles than low molecular weight PAHs so that high molecular weight PAHs can be found mainly in the fine fraction (Duan et al., 2007). Also, fine particles have a higher organic carbon content and higher surface area; fine particles may, therefore, have higher PAH adsorption than coarse particles (Sheu et al., 1997).

On the other hand, the highest concentrations of PAHs occur in winter, a seasonal tendency possibly caused by the increase of adsorption of these substances at lower temperatures.

The reduction of PAHs concentration associated with PM₁ is related to the mechanisms of particle removal, such as dry and wet deposition. Wet deposition refers to the removal of rain or snow, and dry deposition refers to sedimentation and inertial impaction.

However, PAHs can be decomposed by photodegradation, chemical reactions with pollutants in the urban environment or the gas-particle partition. Photodegradation is the main chemical decomposition mechanism for PAHs of 4 to 6 rings associated with particulate matter (Finlayson-Pitts and Pitts, 2000).

While decomposition processes for PAH in the gas phase involve photolysis ($\lambda \geq 290$ nm); daytime reaction with hydroxyl radicals ($\cdot\text{OH}$), reactions with ozone (O_3), reactions with nitrate radicals (NO_3) at night and reactions of basic species with acids (HNO_3 or H_2SO_4 formed of NO_x and SO_x emissions) (Neilson, 1998).

2.2.1 Source identification

PAHs are typical components of incomplete combustion in automobiles that use gasoline and diesel and are emitted mainly to ambient air from vehicle exhausts and other sources of combustion as products of incomplete combustion (Ayers and Gillett, 1980; Spracklen et al., 2006). PAHs emissions can also arise from environmental tobacco smoke and biomass burning (Curtius, 2006; Marti et al., 1997).

It is estimated that about 90% of total PAH comes from incomplete combustion processes (Neilson, 1998). Some PAHs have been suggested as indicators of certain processes that release PAHs into the environment. These PAHs are known as sources, markers, tracers, or signatures. Concentration profiles and their relationships can be used to determine the contribution of different sources to concentrations in ambient air (Ravindra et al., 2008).

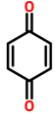
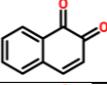
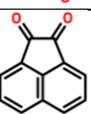
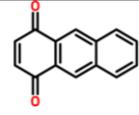
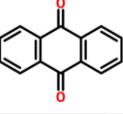
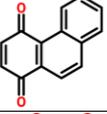
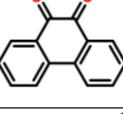
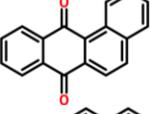
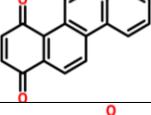
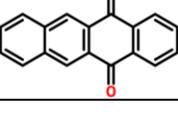
2.3 Quinones

Quinones are a class of organic molecules derived from aromatic species, which consist of a ring structure including two double bonds of carbonyl groups, located relatively in "ortho" (adjacent) or "para" positions.

Using as a criterion the type of aromatic system, quinones are classified as benzoquinones, naphthoquinones, anthraquinones and phenanthrenequinones. Quinones such 1,4-benzoquinone (1,4-BQ), 1,2-naphthoquinone (1,2-NQ), 1,4-naphthoquinone (1,4-NQ), 9,10-phenanthrenequinone (9,10-PQ) and 9,10-anthraquinone (9,10-AQ) are the most volatile, reactive and abundant in the atmosphere and are identified as environmental pollutants.

The most important physicochemical properties of quinones are shown in Table 1.3. Quinones are generally characterized by having higher molecular weights and lower vapor pressures compared to their precursor PAHs. These properties are important for the understanding of the behavior of quinones, both in the environment (e.g. partition between the gas and particulate phase) and in the human body (e.g. absorption and bioaccumulation) since those chemical properties allow them to interact with biological targets by forming covalent bonds and acting as transfer agents of electrons in the oxidation-reduction reactions (Sousa et al., 2016).

Table 8.3 Physico-chemical properties of selected quinones

Quinone	Molecular formula	Structure	Molecular weight (g mol ⁻¹)	Vapor pressure of the supercooled liquid $p^{\circ}L$ at 298 K (Pa)
1,4-Benzoquinone	C ₆ H ₄ O ₂		108	9.47x10 ²
1,2-Naphthoquinone	C ₁₀ H ₆ O ₂		158	2.44x10 ⁻¹
1,4-Naphthoquinone	C ₁₀ H ₆ O ₂		158	0.10
1,2-Acenaphthenequinone	C ₁₂ H ₆ O ₂		182	1.73x10 ⁻²
1,4-Anthraquinone	C ₁₄ H ₈ O ₂		208	1.1x10 ⁻⁴
9,10-Anthraquinone	C ₁₄ H ₈ O ₂		208	9.29x10 ⁻⁴
1,4-Phenanthrenequinone	C ₁₄ H ₈ O ₂		208	1.1x10 ⁻⁴
9,10-Phenanthrenequinone	C ₁₄ H ₈ O ₂		208	3.0x10 ⁻³
1,2-Benzoantraquinone	C ₁₈ H ₁₀ O ₂		258	5.65x10 ⁻⁷
1,4-Chrysenequinone	C ₁₈ H ₁₀ O ₂		258	5.51x10 ⁻⁸
5,12-Naphthacenequinone	C ₁₈ H ₁₀ O ₂		258	5.65x10 ⁻⁷

It has been demonstrated the presence of quinones in ambient air (Alam et al., 2013; Delgado-Saborit et al., 2013; Eiguren-Fernandez et al., 2008a, 2008b; Valavanidis et al., 2006). However, their potential health risks, their sources, and atmospheric concentrations have not been fully understood. Sources of these species may be primary or secondary (McWhinney et al., 2013). The secondary quinones can be products of the oxidation of PAHs, such as naphthalene, phenanthrene and anthracene through the reaction with oxidants in gas phase, which will generate their corresponding species (naphthoquinone, phenanthrenequinone and anthraquinone). Some sources identified are a) emission of diesel exhaust (Kulmala et al., 2001; Lazar et al., 1999; O'Dowd et al., 2002), and b) atmospheric formation in situ by reactions initiated by radicals and precursor PAHs (Sasaki et al., 1998) or photolysis of nitro-PAH (Cozzi and Cadorin, 1972; Otto and Fissan, 1999). It is expected that the formation of photochemical oxidants from precursor emissions is limited to daylight hours (usually during midday), since chemical reactions in the atmosphere are driven by sunlight. It has been shown that 1,4-naphthoquinone is formed from hydroxyl radical ([•]OH) and nitrate radical (NO₃) by initial reactions. With naphthalene in yields of 1-2% (Sasaki et al., 1998) and photolysis of 1-nitronaphthalene and 2-methyl-1-nitronaphthalene leads to the formation of 1,4-naphthoquinone and 2-methyl-1,4-naphthoquinone, respectively, with yields of ~ 20% (Cozzi and Cadorin, 1972; Otto and Fissan, 1999).

Quinones contribute to the adverse health effects caused by PM because they produce reactive oxygen species (ROS) due to their high redox potential (Li et al., 2012), which is a pathological factor of many diseases such as asthma, cardiovascular diseases, Alzheimer's, atherosclerosis, diabetes and neuromotor diseases (Finlayson-Pitts and Pitts, 2000; Kanakidou et al., 2005). Recently, Gurbani et al. (2013) conducted a study that establishes a connection between damage in the DNA of human lung cells and changes in the metabolism of exposure to quinone in PM that may lead the development of cancer.

2.3.1 Quinones in airborne

The presence of aromatic quinones in the atmosphere has been widely documented; different studies have identified and determined their concentrations in ambient air in urban and suburban areas. Bayona et al. (1994) studied the relationship between PAHs sources in PM and the seasonal variability of oxygenated mutagens (aromatic ketones, quinones, lactones, and aldehydes), concluding that these compounds have a greater contribution to atmospheric transformation processes than their parents (PAHs) and than primary emissions from combustion processes. Allen et al. (1997) reported concentrations of four quinones (1,4-naphthoquinone, phenanthrenequinone, 5,12-naphthacenoquinone, and benzo[a]pyrene-6,12-dione) in Boston, Massachusetts. Likewise, Cho et al. (2004) confirm the presence of 1,2-naphthoquinone, 1,4-naphthoquinone, 9,10-anthraquinone, and 9,10-phenanthrenequinone in PM_{2.5} samples in different rural and urban communities in Los Angeles, California. Researchers such as Chung et al. (2006) quantified the mass of twelve quinones in total suspended particle samples and their ability to generate ROS through chemical assays with dithiothreitol (DDT) in Fresno, California. Valavanidis et al. (2006) determined the presence of five quinones in samples of PM₁₀ and PM_{2.1} particles in the Athens metropolitan area. Most studies on the presence of quinones in ambient air indicate that the burning of fuels emits them. But less are those that have focused on establishing and describing the processes that guide their formation in the atmosphere, explaining the relationship with their precursors and understand the role of their physicochemical properties, the processes of transport of pollutants in urban areas with high vehicular traffic and meteorological conditions. Recently Lee et al. (2015) observed in laboratory chambers, under controlled conditions, the gas phase reactions of naphthalene and phenanthrene with $\cdot\text{OH}$ radicals, suggesting the formation of quinones through oxidation processes. Similarly, some studies have attempted to demonstrate the contribution of PAHs derivatives in the atmosphere by quantifying the relative level of compounds originating from atmospheric transformation processes. Wang et al., (2007) suggest that gas phase diurnal reactions with $\cdot\text{OH}$ radicals and nocturnal NO₃ radicals are significant sources for the formation of 9,10-phenanthrenequinone in the atmosphere. Eiguren-Fernandez et al. (2008b) found a significant increase in the concentration of phenanthrenequinone according to the movement of the air mass throughout its trajectory, suggesting the presence of photochemical reactions that contribute to the environmental levels of phenanthrenequinone. It was determined and estimated that about 90% of phenanthrenequinone in Los Angeles originates from photochemical reactions during atmospheric transport. Eiguren-Fernandez et al. (2008a) report the presence of quinones in the gas phase and particle with greater distribution towards the gas phase, which represents a significant fraction of the total levels of quinones. Also, it suggests that temperature determines its distribution and deposition mechanisms and therefore the relative concentrations of quinones in the gas and particle phase. While Kojima et al. (2010) found that the percentage contribution of oxy-PAH (including 9,10-anthraquinone) by the atmospheric formation at windy sites ranges from 9-72%, depending on the compound and the season, with a secondary contribution observed in the summer. These findings demonstrate that a considerable fraction of the aromatic quinones detected in the particulate matter and the gas phase of urban areas is caused by atmospheric reactions favored by the photochemical susceptibility of PAHs and the presence of oxygenated chemical species originated through oxidation and reduction processes. Important factors have been found to influence the emission rates of PAHs and oxy-PAHs, meteorological parameters such as the height of the air mixing layer, wind speed, and direction, which is influenced by dilution levels, and the degree of gas-particle fractionation for PAHs and oxy-PAHs (Kojima et al., 2010).

In spite of the valuable information provided by the distribution of quinones between the gas phase and PM, the studies for quinones in the gas phase are still scarce. The gas phase is a crucial route in which a series of reactions are triggered and which may help to establish the relative contribution of quinones in both phases. Thus, it is necessary to contemplate the evaluation of the gas-particle partition behavior (Eisele and McMurry, 1997; Wang et al., 2006) to reduce the uncertainty in the identification of the specific contribution of sources.

3. Conclusions

The growing extent of pollution of the environment as a result of human activities has highlighted the need for a broad set of legislative and regulatory measures. However, reliable and relevant data on the levels of air pollutants in the environment are necessary for designing effective environmental protection policies with the objective of regulating each pollutant since the human body is at a variety of air pollutants at once, in a complex mixture and thereby minimize adverse effects on public health. It is considered that among the most toxic pollutants are the organic ones, such as PAHs. Their atmospheric and photochemical reactions are important because; a) individual PAHs can be removed from the atmosphere as a result of chemical reactions and b) derived products from PAHs may be more hazardous to human health than the PAHs themselves, such as quinones. The quinones have gained large attention recently because these can increase the concentration of reactive oxygen species (ROS) within the human body, which may cause significant damage to lipids, proteins and DNA. It has been established that most quinones are mainly secondary products, however, due to the challenges afore mentioned, studies of the transformation of PAHs in closed chambers under variable UV radiation and in the presence of oxidizing species to detect secondary products and conducting short time samplings (4 or 6 h) of quinones and PAHs to determine trends and occurrence are necessary in order to better assess the origin of the quinones ambient levels observed in urban areas.

4. References

- Agudelo-Castañeda, D.M., Teixeira, E.C., 2014. Seasonal changes, identification and source apportionment of PAH in PM1.0. *Atmos. Environ.* 96, 186–200. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.07.030>
- Alam, M.S., Delgado-Saborit, J.M., Stark, C., Harrison, R.M., 2013. Using atmospheric measurements of PAH and quinone compounds at roadside and urban background sites to assess sources and reactivity. *Atmos. Environ.* 77, 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.068>
- Allen, J.O., Durant, J.L., Dookeran, N.M., Taghizadeh, K., Plummer, E.F., Lafleur, A.L., Sarofim, A.F., Smith, K. A., 1997. Measurement of Oxygenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons associated with a size-segregated urban aerosol. *Environ. Sci. Technol.* 31, 2064–2070. <https://doi.org/10.1021/es970919r>
- Ariola, V., D'Alessandro, A., Lucarelli, F., Marazzan, G., Mazzei, F., Nava, S., Garcia-Orellana, I., Prati, P., Valli, G., Vecchi, R., Zucchiatti, A., 2006. Elemental characterization of PM10, PM2.5 and PM1 in the town of Genoa (Italy). *Chemosphere* 62, 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.05.004>
- Ayers, G.P., Gillett, R.W., 1980. Division of Cloud Physics, CSIRO, P.O. Box 134, Epping, N.S.W. 2121, Australia 7, 433–436.
- Bayona, J.M., Casellas, M., Fernández, P., Solanas, A. M., Albaigés, J., 1994. Sources and seasonal variability of mutagenic agents in the Barcelona City aerosol. *Chemosphere* 29, 441–450. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(94\)90432-4](https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)90432-4)
- Cho, A.K., Di Stefano, E., You, Y., Rodriguez, C.E., Schmitz, D. A, Kumagai, Y., Miguel, A.H., Eiguren-Fernandez, A., Kobayashi, T., Avol, E., Froines, J.R., 2004. Determination of Four Quinones in Diesel Exhaust Particles, SRM 1649a, and Atmospheric PM2.5 Special Issue of Aerosol Science and Technology on Findings from the Fine Particulate Matter Supersites Program. *Aerosol Sci. Technol.* 38, 68–81. <https://doi.org/10.1080/02786820390229471>
- Chung, M.Y., Lazaro, R.A., Lim, D., Jackson, J., Lyon, J., Rendulic, D., Hasson, A.S., 2006. Aerosol-borne quinones and reactive oxygen species generation by particulate matter extracts. *Environ. Sci. Technol.* 40, 4880–4886. <https://doi.org/10.1021/es0515957>
- Cozzi, C., Cadorin, D., 1972. Nucleation, Growth and Coagulation of Solid Particles in Flames. *Combust. Sci. Technol.* 5, 213–218. <https://doi.org/10.1080/00102207208952524>
- Curtius, J., 2006. Nucleation of atmospheric aerosol particles. *Comptes Rendus Phys.* 7, 1027– 1045. <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2006.10.018>

- Delgado-Saborit, J.M., Alam, M.S., Godri Pollitt, K.J., Stark, C., Harrison, R.M., 2013. Analysis of atmospheric concentrations of quinones and polycyclic aromatic hydrocarbons in vapour and particulate phases. *Atmos. Environ.* 77, 974–982. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.05.080>
- Duan, J., Bi, X., Tan, J., Sheng, G., Fu, J., 2007. Seasonal variation on size distribution and concentration of PAHs in Guangzhou city, China. *Chemosphere* 67, 614–22. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.08.030>
- Eiguren-Fernandez, A., Miguel, A.H., Di Stefano, E., Schmitz, D.A., Cho, A.K., Thurairatnam, S., Avol, E.L., Froines, J.R., 2008a. Atmospheric Distribution of Gas- and Particle-Phase Quinones in Southern California. *Aerosol Sci. Technol.* 42, 854–861. <https://doi.org/10.1080/02786820802339546>
- Eiguren-Fernandez, A., Miguel, A.H., Lu, R., Purvis, K., Grant, B., Mayo, P., Di Stefano, E., Cho, A.K., Froines, J., 2008b. Atmospheric formation of 9,10-phenanthraquinone in the Los Angeles air basin. *Atmos. Environ.* 42, 2312–2319. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.12.029>
- Eisele, F.L., McMurry, P.H., 1997. Recent progress in understanding particle nucleation and growth. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 352, 191–201. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0014> Finlayson-Pitts, B.J., Pitts, J.J.N., 2000. *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere. Theory, Experiments, and Applications.* Academic Press, New York, USA.
- Godec, R., Čačković, M., Šega, K., Bešlić, I., 2012. Winter mass concentrations of carbon species in PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ in Zagreb Air, Croatia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 89, 1087–1090. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0787-4>
- Gomišček, B., Hauck, H., Stopper, S., Preining, O., 2004. Spatial and temporal variations of PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and particle number concentration during the AUPHEP - Project. *Atmos. Environ.* 38, 3917–3934. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.03.056>
- Gurbani, D., Bharti, S.K., Kumar, A., Pandey, A.K., Ana, G.R.E.E., Verma, A., Khan, A.H., Patel, D.K., Mudiam, M.K.R., Jain, S.K., Roy, R., Dhawan, A., 2013. Polycyclic aromatic hydrocarbons and their quinones modulate the metabolic profile and induce DNA damage in human alveolar and bronchiolar cells. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 216, 553–565. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.04.001>
- Holmes, N.S., 2007. A review of particle formation events and growth in the atmosphere in the various environments and discussion of mechanistic implications. *Atmos. Environ.* 41, 2183–2201. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.058>
- Hu, W., Hu, M., Hu, W., Jimenez, J.L., Yuan, B., Chen, W., Wang, M., Wu, Y., Chen, C., Wang, Z., Peng, J., Zeng, L., Shao, M., 2016. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres 1955–1977.* <https://doi.org/10.1002/2015JD024020>.
- Kanakidou, M., Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., Barnes, I., Dentener, F.J., Facchini, M.C., Van Dingenen, R., Ervens, B., Nenes, A., Nielsen, C.J., Swietlicki, E., Putaud, J.P., Balkanski, Y., Fuzzi, S., Horth, J., Moortgat, G.K., Winterhalter, R., Myhre, C.E.L., Tsigaridis, K., Vignati, E., Stephanou, E.G., Wilson, J., 2005. Organic aerosol and global climate modelling: a review. *Atmos. Chem. Phys.* 5, 1053–1123. <https://doi.org/10.5194/acp-5-1053-2005>
- Keyte, I.J., Harrison, R.M., Lammel, G., 2013. Chemical reactivity and long-range transport potential of polycyclic aromatic hydrocarbons –A review. *Chem. Soc. Rev.* 42, 9333. <https://doi.org/10.1039/c3cs60147a>
- Kim, C.S., Adachi, M., Okuyama, K., Seinfeld, J.H., 2002. Effect of NO₂ on Particle Formation in SO₂/H₂O/Air Mixtures by Ion-Induced and Homogeneous Nucleation. *Aerosol Sci. Technol.* 36, 941–952. <https://doi.org/10.1080/02786820290092122>

- Kojima, Y., Inazu, K., Hisamatsu, Y., Okochi, H., Baba, T., Nagoya, T., 2010. Influence of secondary formation on atmospheric occurrences of oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons in airborne particles. *Atmos. Environ.* 44, 2873–2880. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.04.048>
- Křůmal, K., Mikuska, P., Vecera, Z., 2013. Polycyclic aromatic hydrocarbons and hopanes un PM1 aerosols in urban areas. *Atmos. Environ.* 67, 27–37.
- Kulmala, M., Hämeri, K., Aalto, P.P., Mäkelä, J.M., Pirjola, L., Douglas Nilsson, E., Buzorius, G., Rannik, Ü., Dal Maso, M., Seidl, W., Hoffman, T., Janson, R., Hansson, H.C., Viisanen, Y., Laaksonen, A., O'Dowd, C.D., 2001. Overview of the international project on biogenic aerosol formation in the boreal forest (BIOFOR). *Tellus, Ser. B Chem. Phys. Meteorol.* 53, 324–343. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0889.2001.530402.x>
- Lazar, A.C., Reilly, P.T. A, Whitten, W.B., Ramsey, J.M., 1999. Real-time surface analysis of individual airborne environmental particles. *Environ. Sci. Technol.* 33, 3993–4001. <https://doi.org/10.1021/es9905849>
- Lee, J.Y., Douglas, A.L., Yong, P.K., 2015. Formation of polyaromatic hydrocarbon (PAH)-quinones during the gas phase reactions of PAHs with the OH radical in the atmosphere. *Environ. Chem.* 12, 307–315. <https://doi.org/10.1071/EN14150>
- Lehtinen, K.E.J., Kulmala, M., 2002. A model for particle formation and growth in the atmosphere with molecular resolution in size. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 2, 1791–1807. <https://doi.org/10.5194/acpd-2-1791-2002>
- Li, Y., Zhu, T., Zhao, J., Xu, B., 2012. Interactive enhancements of ascorbic acid and iron in hydroxyl radical generation in quinone redox cycling. *Environ. Sci. Technol.* 46, 10302–10309. <https://doi.org/10.1021/es301834r>
- Marti, J.J., Jefferson, A., Cai, X.P., Richert, C., McMurry, P.H., Eisele, F., 1997. H₂SO₄ vapor pressure of sulfuric acid and ammonium sulfate solutions. *J. Geophys. Res. Atmos.* 102, 3725– 3735. <https://doi.org/10.1029/96JD03064>
- McWhinney, R.D., Zhou, S., Abbatt, J.P.D., 2013. Naphthalene SOA: Redox activity and naphthoquinone gas-particle partitioning. *Atmos. Chem. Phys.* 13, 9731–9744. <https://doi.org/10.5194/acp-13-9731-2013>
- Neilson, A., 1998. *The Handbook of Environmental Chemistry: PAHs and Related Compounds*. New York. O'Dowd, C.D., Aalto, P.P., Hämeri, K., Kulmala, M., Hoffmann, T., 2002. Atmospheric particles from organic vapours. *Nature* 416, 4–6.
- Otto, E., Fissan, H., 1999. Brownian coagulation of submicron particles. *Adv. Powder Technol.* 10, 1–20. [https://doi.org/10.1016/S0921-8831\(08\)60453-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8831(08)60453-7)
- Pérez, N., Pey, J., Querol, X., Alastuey, A., López, J.M., Viana, M., 2008. Partitioning of major and trace components in PM₁₀-PM_{2.5}-PM₁ at an urban site in Southern Europe. *Atmos. Environ.* 42, 1677–1691. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.11.034>
- Perrone, M.R., Becagli, S., Garcia Orza, J. A., Vecchi, R., Dinoi, A., Udisti, R., Cabello, M., 2013. The impact of long-range-transport on PM₁ and PM_{2.5} at a Central Mediterranean site. *Atmos. Environ.* 71, 176–186. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.02.006>
- Pierce, J. R., Riipinen, I., Kulmala, M., Ehn, M., Petäjä, T., Junninen, H., ... Donahue, N. M. (2011). Quantification of the volatility of secondary organic compounds in ultrafine particles during nucleation events. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(17), 9019–9036. <https://doi.org/10.5194/acp-11-9019-2011>

- Pöschl, U. (2011). Gas-particle interactions of tropospheric aerosols: Kinetic and thermodynamic perspectives of multiphase chemical reactions, amorphous organic substances, and the activation of cloud condensation nuclei. *Atmospheric Research*, 101(3), 562–573. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.12.018>
- Ravindra, K., Sokhi, R., Van Grieken, R., 2008. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. *Atmos. Environ.* 42, 2895–2921. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.12.010>
- Riipinen, I., Pierce, J. R., Yli-Juuti, T., Nieminen, T., Häkkinen, S., Ehn, M., ... Kulmala, M. (2011). Organic condensation: A vital link connecting aerosol formation to cloud condensation nuclei (CCN) concentrations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(8), 3865–3878. <https://doi.org/10.5194/acp-11-3865-2011>
- Rogge, W.F., Mazurek, M. A., Hildemann, L.M., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1993. Quantification of urban organic aerosols at a molecular level: Identification, abundance and seasonal variation. *Atmos. Environ. Part A. Gen. Top.* 27, 1309–1330. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(93\)90257-Y](https://doi.org/10.1016/0960-1686(93)90257-Y)
- Sasaki, J., Aschmann, S.M., Kwok, E.S.C., Atkinson, R., Arey, J., 1998. Products of the gas-phase OH and NO₃ radical-initiated reactions of naphthalene. *Environ. Sci. Technol.* 31, 3173–3179. <https://doi.org/10.1021/es9701523>
- Seinfeld, J., Pandis, S., 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., USA. Sheu, H.L., Lee, W.J., Lin, S.J., Fang, G.C., Chang, H.C., You, W.C., 1997. Particle-bound PAH content in ambient air. *Environ. Pollut.* 96, 369–382. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(97\)00044-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(97)00044-4)
- Sousa, E.T., Lopes, W.A., de Andrade, J.B., 2016. Fontes, Formação, Reatividade E Determinação De Quinonas Na Atmosfera. *Quim. Nova* 39, 486–495. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20160034>
- Spindler, G., Grüner, A., Müller, K., Schlimper, S., Herrmann, H., 2013. Long-term size-segregated particle (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁) characterization study at Melpitz - Influence of air mass inflow, weather conditions and season. *J. Atmos. Chem.* 70, 165–195. <https://doi.org/10.1007/s10874-013-9263-8>
- Spindler, G., Müller, K., Brüggemann, E., Gnauk, T., Herrmann, H., 2004. Long-term sizesegregated characterization of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ at the IfT research station Melpitz downwind of Leipzig (Germany) using high and low-volume filter samplers. *Atmos. Environ.* 38, 5333–5347. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.12.047>
- Spracklen, D. V., Carslaw, K.S., Kulmala, M., Kerminen, V.-M., Mann, G.W., Sihto, S.-L., 2006. The contribution of boundary layer nucleation events to total particle concentrations on regional and global scales. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 6, 7323–7368. <https://doi.org/10.5194/acpd-6-7323-2006>
- Valavanidis, A., Fiotakis, K., Vlahogianni, T., Papadimitriou, V., Pantikaki, V., 2006. Determination of selective quinones and quinoid radicals in airborne particulate matter and vehicular exhaust particles. *Environ. Chem.* 3, 118–123. <https://doi.org/10.1071/EN05089>
- Valotto, G., Squizzato, S., Masiol, M., Zannoni, D., Visin, F., Rampazzo, G., 2014. Elemental characterization, sources and wind dependence of PM₁ near Venice, Italy. *Atmos. Res.* 143, 371–379. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.03.007>
- Viana, M., Kuhlbusch, T. A J., Querol, X., Alastuey, A., Harrison, R.M., Hopke, P.K., Winiwarter, W., Vallius, M., Szidat, S., Prévôt, A. S.H., Hueglin, C., Bloemen, H., Wählin, P., Vecchi, R., Miranda, A. I., Kasper-Giebl, A., Maenhaut, W., Hitzenberger, R., 2008. Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results. *J. Aerosol Sci.* 39, 827–849. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2008.05.007>
- Wang, L., Arey, J., Atkinson, R., 2006. Kinetics and Products of Photolysis and Reaction with OH Radicals of a Series of Aromatic Carbonyl Compounds. *Environ. Sci. Technol.* 40, 5465–5471.

Wang, L., Atkinson, R., Arey, J., 2007. Formation of 9,10-phenanthrenequinone by atmospheric gas-phase reactions of phenanthrene. *Atmos. Environ.* 41, 2025–2035. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.11.008>

Weber, R.J., McMurry, P.H., Mauldin, R.L., Tanner, D.J., Eisele, F.L., Clarke, A. D., Kapustin, V.N., 1999. New Particle Formation in the Remote Troposphere: A Comparison of Observations at Various Sites. *Geophys. Res. Lett.* 26, 307. <https://doi.org/10.1029/1998GL900308>

Wenger, D., Gerecke, A.C., Heeb, N. V., Hueglin, C., Seiler, C., Haag, R., Naegeli, H., Zenobi, R., 2009. Aryl hydrocarbon receptor-mediated activity of atmospheric particulate matter from an urban and a rural site in Switzerland. *Atmos. Environ.* 43, 3556–3562. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.04.012>

Whitby, K.T., 1978. The physical characteristics of sulfur aerosol. *Atmos. Environ.* 12, 135–159. Zhang, R., Khalizov, A., Wang, L., Hu, M., Xu, W., 2012. Nucleation and Growth of Nanoparticles in the Atmosphere. *Chem. Rev.* 112, 1957–2011. <https://doi.org/10.1021/cr2001756>

Capítulo IX Energías renovables enfoque ambiental

Chapter IX Renewable energies environmental approach

LOZANO-CAMARGO, Maria Luisa†*, ESPINOSA-SÁNCHEZ, Gloria Lizbeth, HERNÁNDEZ-LÓPEZ, Adriana María y GALICIA-LUIS, Laura

Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

ID 1^{er}Autor: *Maria Luisa, Lozano-Camargo* / **ORD ID:** 0000-0002-0777-6392, **CVU CONACYT ID:** 46638

ID 1^{er}Coautor: *Gloria Lizbeth, Espinosa-Sánchez*/ **ORC ID:** 0000-0003-0657-1317

ID 2^{do}Coautor: *Adriana María, Hernández-López*/ **ORC ID:** 0000-0003-3734-773X

ID 3^{er} Coautor: *Laura, Galicia-Luis* / **CVU CONACYT ID:** 120121

DOI: 10.35429/H.2019.4.155.163

M. Lozano, G. Espinosa, A. Hernández y L. Galicia

maría.lozano@tesoem.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Díaz, L. Cruz. (Dir.) La ciencia y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2019.

Resumen

La Zona Este del Valle de México, ahora se considera una Zona Urbana debido a la influencia que tiene con los límites del CDMX, y debido a su alto crecimiento poblacional que no está ordenado territorialmente, altera el ecosistema, por lo que sufre una Transformación económica, que requiere en lugar de más servicios públicos y una alta demanda de energía que tiende a ser insuficiente, lo que lleva a intentar implementar el uso de energías alternativas utilizando células fotovoltaicas. Para hacer esto, se realizó un estudio de población para analizar su percepción de la transición energética en el este del valle de México basada en la tecnología de paneles solares utilizando técnicas socio estadísticas. La evaluación social y la percepción ambiental y económica del uso de la energía solar mostraron que el nivel de marginación, los costos de energía y la falta de conocimiento sobre el tema limitan en esta área la implementación de nuevas tecnologías que reducen el gran problema ambiental que vive hoy. Debido a la mala gestión de los recursos naturales.

Transición energética, Percepción de la sociedad, Medio ambiente

Abstract

The East Zone of the Valley of Mexico, is now considered an Urban Zone due to the influence it has with the limits of the CDMX, and because of its high population growth that is not territorially ordered it alters the ecosystem, thus suffering a socio-economic transformation, which requires instead of more public services and a high energy demand that tend to be insufficient, which leads to try to implement the use of alternative energies using photovoltaic cells. To do this, a population study was conducted to analyze their perception of the energy transition in the East of the Valley of Mexico based on solar panel technology using socio-statistical techniques. The social evaluation and the environmental and economic perception of the use of solar energy, showed that the level of marginalization, energy costs and lack of knowledge on the subject limits in this area the implementation of new technologies that reduce the great environmental problem that lives today due to the mismanagement of natural resources.

Energy transition, Society perception, Environment

1. Introducción

El incremento población que se tiene a nivel mundial en los últimos años, ha generado un gran impacto ambiental, por la alta demanda energética, y el uso excesivo de los recursos naturales de manera desmedida; recursos que por años no se han valorado y que actualmente se ha llegado al punto de pérdida total; los recursos que generalmente son usados para la demanda energética son finitos lo que causa un gran desgaste en el planeta.

Trayendo consigo una alteración en la región de América Latina y del caribe (ALC), cuanto al clima e impactos que se han manifestado de forma negativa sobre los seres vivo y los recursos naturales; se presentan escenarios nada favorables hacia fines del siglo XXI ya que se vislumbra un incremento de la temperatura en la superficie global entre 1°C a 3,7 °C, en las últimas cuatro décadas en ALC se ha registrado un aumento moderado del 2,54% anual en cuanto a la economía lo que ha generado que los niveles de PIB per cápita sean demasiado bajos, teniendo una tasa de crecimiento anual de 0,97% en promedio lo que ha llevado a tener un incremento constante en el sector energético y actividades económicas de cada uno de los países que la componen, lo que hace que la ALC sea sensible a los impactos de la crisis petrolera y las fluctuaciones en los costos energéticos, indicadores macroeconómicos, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en particular el CO₂ con un aumento significativo del 10% de las emisiones a nivel mundial.

Es por ello, que los productores de combustibles fósiles pueden llegar a provocar una desestabilización en cuanto a la disminución de las emisiones de CO₂ al ver sus ganancias afectadas por fallas del mercado, por lo que se tiene incertidumbre por los cambios de los costos energéticos en el futuro, y una incontrolada explotación de los recursos fósiles en el presente aumentando las emisiones de CO₂ en la atmósfera expandiendo la magnitud de los impactos del cambio climático en periodos de tiempo más cortos como lo han determinado algunos estudios científicos (Sánchez, 2019).

Entre las energías más empleadas a nivel mundial son los fósiles (energías sucias), que ocasionan contaminación ambiental en suelos, aire y agua; dichas energías comúnmente emiten gases a la atmósfera como: dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrógeno (NO), metano (CH₄), clorofluorocarbonos (CFC) u ozono (O₃) que son generados por la quema de combustibles como el carbón, gas, o petróleo (IDEA,2001).

Por ello, se buscan alternativas que permitan frenar la contaminación y degradación ambiental que afecta gravemente en entorno; el realizar investigaciones sobre la transformación de la energía que existe en la naturaleza que es la que permite que la tierra gire, que tengamos vida, que las plantas crezcas, que el sol brille y que las civilizaciones puedan desarrollarse (Ballesteros,2019), esta debe ser manejada con mucho cuidado ya que una energía mal orientada o controlada puede afectar gradualmente el entorno ambiental.

A nivel mundial, las energías Renovables se han tornado un tema de interés Científico-Tecnológico e innovador, sobre todo en el sector energético por no emitir gases a la atmósfera minimizando de esta manera el efecto invernadero, beneficiando así el ambiente; en cuanto a la conservación del ecosistema y especies, mitigando las causas del cambio climático entre otros, lo que llevará a largo plazo tener un incremento económico en los países.

Actualmente, se conocen diversas fuentes renovables donde se resaltan la energía eólica (generada por la fuerza del viento) las cuales son construidas por turbinas o aerogeneradores que aprovechan la corriente del viento convirtiéndola en electricidad dentro de esta energía también podemos encontrar *la eólica marina*; la energía solar la cual es generada por la radiación electromagnética emitida por el sol en forma de luz, calor, y rayos ultravioleta principalmente, de esta energía podemos destacar la energía *solar térmica* comúnmente utilizada para generar agua caliente para uso sanitario y *la solar fotovoltaica* que esta es más compleja donde a través de placas semiconductores que alteran la radiación se logra la generación de electricidad, la energía geotérmica esta es muy poco común esta está ligada a volcanes, aguas termales, fumarolas y geiseres en términos generales esta energía proviene del interior de la tierra, la energía biomasa esta energía es generada principalmente por el aprovechamiento de materia orgánica animal y vegetal o residuos agroindustriales por último la energía mareomotriz que se produce por el movimiento de las mareas o corrientes marinas capaces de generar energía de manera limpia. Todas las energías ya mencionadas pueden ser aplicadas en el mundo, adaptándose a cada región, país o estado brindando una alternativa viable y amigable.

Desde el año 2000 se ha tenido un incremento favorable en el consumo e implementación de las energías renovables, en España tomándolo como un ejemplo, el consumo de productos petrolíferos perdió peso después de ser sustituido en gran parte por gas natural, el consumo de energías renovables aumento un 8.4% incluyendo la Hidráulica, haciendo así que la planta hidráulica más grande de España pensara en el desarrollo y evolución de nuevas energías renovables aplicadas en la empresa (IDEA,2001).

La importancia de las energías renovables además de ser una fuente de energía esta es inagotable, limpias y competitivas por lo que su importancia aumenta en gran medida, estas son importantes para combatir los grandes cambios ambientales que están surgiendo en el planeta, una energía renovable se caracteriza por ser eficiente, limpia, inagotable y al ser implementada crea un equilibrio entre energía-ambiente.

En América latina la implementación de energías limpias se encuentran grandes controversias ya que en estas predomina la energía hidroeléctrica con un 62% de la cuota total de energías renovables, llegando a elevarse hasta el 90% en algunos países como Brasil o Paraguay. Las centrales hidroeléctricas han causado daños medioambientales en algunos lugares del continente como la selva amazónica. Es por ello, que tampoco podría hablarse de la energía del agua como una auténtica energía alternativa (Schallenberg, 2008). Los países de América Latina tienen un gran potencial en el desarrollo de energías limpias. Los países Latinoamericanos, están expuestos a unos fuertes y constantes vientos que pueden ser aprovechados para la generación de energía eólica.

Los recursos que se encuentran en América son muy favorables, pero a pesar de eso nos encontramos con una de las más grandes problemáticas, la falta de voluntad política para la promoción de planes de inversión o las ayudas para el desarrollo de instalaciones; aunque las disposiciones actuales son proclives a dar un papel cada vez más importante a las energías renovables.

Conforme se avanza en este ámbito podemos percatarnos que existen diversas problemáticas que desfavorecen el uso de las energías limpias, se estima que cada país representa una situación distinta, ya sea por el escaso conocimiento de estas o por los recursos monetarios escasos; sino también por las características, tamaño de las redes o por los costes de generación, no hay un entendimiento claro en que las energías que son contaminantes causan daños irreversibles en el planeta.

Al implementarse energías limpias en todo nuestro planeta podemos asegurar que existirán diversos impactos positivos hablando a nivel ambiental, donde existiría una disminución considerable de dióxido de carbono y metano, ecosistemas de todo tipo dejaran de ser afectados así como la pérdida de especies, la economía subiría considerablemente ya que al convertirse en una energía renovable esta no se agotara, lo único que lo que se invertiría sería en el mantenimiento de la maquinaria, maquinaria que aseguran tendrá una duración prolongada, por lo que la demanda se mantendría estable.

Si nos enfocamos en las energías renovables y las grandes repercusiones que están traen consigo, es más que seguro que muchos de los países que creen que es innecesario lo implementarías sin objeción alguna, es el caso de la energía eólica que, si bien esta es limpia, tiene una gran ventaja en la economía de la regios los únicos inconvenientes sería una interferencia a nivel tv y radio, el impacto es mínimo a comparación de la energía nuclear o energía extraída del petróleo.

Muchos países ya están optando por alternativas como esta, países como Colombia, Brasil, Alemania entre otros ya están teniendo una visión hacia un futuro renovable, implementándolo en los hogares, su objetivo es claro, reducir considerablemente la emisión de gases, tener una calidad y acceso al aguas, la recuperación de tierras degradadas por los contaminantes, reducción sobre la contaminación ocasionada por el transporte, y sobre todo tener una mejor calidad de vida, para sus ciudadanos, sus ecosistemas y recursos.

Con estas nuevas alternativas renovables se pretende logra una provisión de oportunidades de trabajo en áreas rurales, donde minimice la urbanización, además de una promoción de la descentralización de los mercados energéticos, esto claramente ayudara a un desarrollo económico, donde el dinero que es utilizado para combustible claramente sea utilizado para otras oportunidades, y el principal punto , la electricidad emitida por las energías limpias tenga una aceleración en la llegada de comunidades rurales, que ese servicio sea para todos los ciudadanos sin excepción alguna.

No está muy lejos el hecho de que la demanda mundial de energía va a crecer significativamente a corto plazo, lo que ocasionara que la demanda sea satisfecha por energías sucias causara un gran daño en el medio ambiente.

Como ya mencionamos, muchos países de América latina así como países del mundo ya están optando por alternativas nuevas en energía renovable, México comienza a incursionarse en este nuevo avance, siendo uno de los países más rico en diversidad ocupando el cuarto lugar a nivel mundial, lo que debería ser una importante ventaja, lamentablemente el implementar el uso de energías renovables en un 100% aún está muy lejos de lograrse, a nivel mundial México compite con Brasil en la implementación de proyectos en temas de energías renovables aportando un 23% de éstos y Brasil un 40% , a pesar de ello, no logra salir a flote ya que muchos de los países vecinos controlan nuestros recursos impidiendo el avance tecnológico (*Merino, 2008*).

La degradación medioambiental es un problema global que se ha incrementado durante las últimas décadas debido a un inadecuado crecimiento y desarrollo económico. La Curva Medioambiental de Kuznets (EKC por sus siglas en inglés) permite entender la relación entre la degradación ambiental y el desarrollo económico. Rojas y col. Realizaron un estudio de las variables económicas relacionadas con las energías renovables y no renovables, así como del producto interno bruto (PIB) per cápita, sobre las emisiones de dióxido de carbono en el consumo energético en el Ecuador del periodo de 1980-2014, empleando la EKC; donde se plantearon una hipótesis de acuerdo con EKC que en una primera etapa el desarrollo industrial y económico del país va creciendo, el factor medioambiental empeora hasta que los ingresos lleguen a un punto de inflexión, que por la dinámica de la EKC, la calidad ambiental mejora.

Los resultados que obtuvieron no permitieron cumplir con la hipótesis planteada ya que la elasticidad de largo plazo es mayor que la obtenida a corto tiempo, lo que implica que las emisiones de dióxido de carbono del consumo de energía per cápita se ve incrementada en función del tiempo a medida que existen mayores niveles de PIB per cápita; lo que indica que el consumo de energía de fuentes no renovables como el gas natural seco y el petróleo son responsables de las emisiones de CO₂, sin embargo, el consumo eléctrico proveniente de fuentes renovables per cápita no presentó una incidencia significativa estadísticamente. Mostraron también que la elasticidad del consumo del petróleo es mayor a la elasticidad del consumo de gas natural seco, en la relación con las emisiones, por lo que el gas natural seco es un candidato para reemplazar al petróleo; y que una mejor alternativa ambiental y económica es el uso de la energía proveniente de centrales hidroeléctricas, campos eólicos y fotovoltaicos, de acuerdo con los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo.

Sus pronósticos realizados son que para el 2025 las emisiones de dióxido de carbono del consumo de energía aumentara en el Ecuador como consecuencia de un consumo de petróleo de 0,88% mayor a la tasa promedio anual en comparación con el promedio anual consumido de electricidad de fuentes renovables de 0,71%; es por ello, que en la última década Ecuador se ha interesado mucho en la generación de energía renovable que le permita reducir las emisiones de dióxido de carbono y aprovechar sus recursos naturales eficientemente comprometiendo a la sociedad civil a tomar conciencia sobre el uso de éstas; (Rojas et al. 2019).

Es importante considerar el consumo energético de una ciudad, región o países a corto, mediano y largo plazo de manera continua, empleando parámetros de calidad y precios aceptables, para tener una idea clara sobre el aprovechamiento que se le está dando y así establecer una buena planificación energética para satisfacer las necesidades medioambientales y sociales; considerando criterios económicos para el dimensionamiento de la estructura energética. Barragán y colaboradores identificaron once recursos urbanos que pueden ser aprovechados para generar energías, los cuales son: Biomasa (desechos urbanos lignocelulosos), Bioetanol (desechos urbanos forestales), Biogás (lodos de aguas residuales, fracción de desechos urbanos biodegradables podas), Biogás RSU (residuos sólidos urbanos), Mareomotriz y Pequeña hidroeléctrica (agua), Pequeña eólica (viento), Geotermia (calor de la tierra), fotovoltaica y Solar térmica (Radiación solar). En el mundo hay una gran problemática a pesar del avance de las energías renovables y es que estamos acostumbrados aun a las energías fósiles. Más del 80% del requerimiento de energía a nivel mundial se basa en el consumo de combustibles fósiles (Barragán-Escandó, et al.2019)

Se han realizado diversos estudios no solo en América Latina sino en todo el mundo sobre el gran incremento que ha tenido la emisión de dióxido de carbono que incrementa con el tiempo a medida que existe una demanda mayoritaria por parte de la sociedad. Por lo tanto, se debe promover no solo el uso de energías renovables limpias, sino que además una arquitectura bioclimática, una eficiencia energética y la implementación de programas que incentiven el desarrollo de nuevas energías. La evolución del país hacia las energías renovables está dando un cambio positivo. En el mundo existe un 21 por ciento de generación mediante energías renovables, con mayor crecimiento en la solar, El impacto de las fuentes renovables de energía podremos apreciar un crecimiento de empleos de calidad. En tanto, en México la generación de energía mediante fuentes renovables es del 14 por ciento, un crecimiento que se ha incrementado en los últimos años. Tenemos un gran potencial en la solar, eólico y geotérmico, la alta dependencia de recursos fósiles contaminantes y extinguidos ha hecho que paulatinamente se haya incrementado la participación de las energías renovables, sobre todo a gran escala. Para contribuir al desarrollo de las energías renovables a nivel regional, se ha requerido establecer estrategias a largo plazo que apunten a un sistema energético sostenible, basado en el aprovechamiento de recursos autóctonos.

Tal enfoque plantea mejorar la calidad de vida de los habitantes de una ciudad a través de tecnologías de información o comunicación que, entre otros aspectos, contribuyan a alcanzar eficiencia en la movilidad, proporcionen mayor seguridad y fomenten el consumo racional de recursos, o permitan alcanzar configuraciones urbanas compactas y accesibles. (Barragán-Escandó, et al.2019). La evaluación y selección de distintas opciones energéticas, tanto convencionales como alternas, se deben realizar en forma integral al analizar el efecto de diversos factores, tales como: sector de uso, estado de las tecnologías, temporalidad, requerimientos de infraestructura, nivel de inversión, disponibilidad de divisas, escalas de producción. Los hidrocarburos, combustibles fósiles, son una fuente de energía primaria con grandes ventajas en cuanto a su extracción, manejo y uso, por lo que se convirtieron en el energético más importante de este siglo. (Ballesteros, 2019).

A largo plazo se espera que se puede tener una disminución notable en la contaminación ambiental y mejoramiento en la calidad de vida entre la sociedad, al implementar las energías renovables, en México como en América Latina han ido avanzando paulatinamente en el empleo de energías alternativas como la solar que es producida de manera natural en cualquier parte del mundo y que es aprovechada al instalar paneles solares. En México, la Ley de Transición Energética permitirá tener una reducción considerable en el consumo eléctrico industrial ya que el 5 % de su consumo se obtiene de fuentes renovables desde el 2018 y se espera que para el 2024 sea su consumo energético del 35 % de energías renovables.

En México además del proyecto de parque eólico que Cemex y Acciona inauguraron en Oaxaca con financiación del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de la Organización de Naciones Unidas, se están realizando otros proyectos como el destinado a incentivar el uso de calentadores solares en viviendas del Distrito Federal. Dado que la Zona Oriente del Valle de México esta fisiográficamente dividida en tres subregiones: la parte sur de Chalco, la parte central de Texcoco y la parte norte de Temascalapa, las cuales abarcan un conjunto de 37 municipios (Acolman, Atenco, Amecameca, Atlautla, Axapusco, Coacalco, Chiautla, Chiconcuac, Cocotitlán, Chalco, Chimalhuacán, Ecatepec, Ecatzingo, Ixtapaluca, La Paz, Nezahualcóyotl, Valle de Chalco, Papalotla, Tecámac, Teotihuacan, Tepetlaoxtoc, Texcoco, Chicoloapan, Jaltenco, Nextlapan, Nopaltepec, Otumba, San Martín de las pirámides, Ozumba, Tezoyuca, Temascalapa, Juchitepec, Temematla, Tenango del Aire, Tepertixpa y Tlalmanalco. Al estar en los límites de la CDMX; la zona Oriente en la ciudad de México está conformada por La zona oriente en la ciudad de México está conformada por Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta.

En primer punto Iztapalapa, cuenta con 1 827 868 habitantes desde el año 2018, esta es una de las entidades que forman parte del oriente de la Ciudad de México, con Tláhuac cuenta con 361 593 habitantes, en Xochimilco se encuentra una población de 415 933 habitantes y Milpa Alta cuenta con 137 927 habitantes (IDEA, 2001).

La zona oriente a tenido un avance sustentable bastante lento, por ejemplo, creación de la Universidad Autónoma Metropolitana, UAM, en Iztapalapa al inicio de los 70 estuvo caracterizada por varios aspectos coyunturales; en el entorno nacional, se daba una gran demanda de educación superior, por lo que era necesaria la ampliación de la oferta de las grandes instituciones federales, por lo que se desarrollan tres puntos importantes que son:

- Racionalización en el uso de la energía, es decir, consumir cada vez menos energía por unidad de producto interno.
- Una mayor orientación a la diversificación energética y el desarrollo de fuentes alternas de energía.
- Inclusión de la energía nuclear de potencia en las políticas energéticas de varios países

Desde entonces el plan de estudios ha sufrido varias modificaciones menores y actualmente se puede decir que se tiene una experiencia acumulada de más de 30 años en la formación de recursos humanos en el campo de la energía. Los objetivos actuales del plan de estudio es el de formar profesionales capacitados para:

- Utilizar racional y productivamente las fuentes de energía disponibles en el país.
- Investigar sobre nuevas fuentes de energía que se aparten de las conocidas como convencionales, para adaptarlas a las necesidades del país.
- Poder asesorar, y en su caso, actuar para trazar una política nacional de energéticos cuando el profesionista adquiera experiencia.
- Contribuir a la descentralización de la energía, principalmente dotando a las áreas rurales que abundan en México de sistemas energéticos locales basados en las fuentes asintóticas de energía.
- Mediante el uso de métodos de ingeniería y técnica de procesos, determinar localmente la solución para el aprovechamiento de la energía.

Las energías renovables desarrolladas en Iztapalapa han sido mínimas, aun con la presencia de la UAM, no se ha tenido un cambio como tal, en Xochimilco, como tal **en energías renovables no ha tenido un avance grande**, Xochimilco puede verse **como un espacio** urbano que se ha estado reconstruyendo a partir de la década de los ochenta en su contacto con la ciudad de México en varias dimensiones por ser un lugar turístico se han planteado alternativas, La primera a través de la reconfiguración de su espacio por la expansión urbana y su impacto en las áreas rurales que la circundan (Catalan, 2017).

Xochimilco está constituido por 18 barrios del centro y 14 pueblos, y 58.4% de su superficie es de uso agrícola. Representa la tercera delegación del Distrito Federal con la mayor área con ese uso de suelo, constituida por terrenos de cultivo, poblados rurales y áreas naturales cubiertas por bosques, matorrales y pastizales, repartidas en dos zonas: la zona cerril y la zona lacustre o de llanura, es por ello que el avance en energías renovables no se ha podido tener en cuenta, ya que la idea central es el desarrollo de invernaderos y alternativas de organismo (Rodolfo, 2017).

En Milpa Alta se inauguró en el 2015 el primer biodigestor de sitio, fue desarrollado por la empresa Sustentabilidad en Energía y Medio Ambiente, con apoyo de la Secretaría de Ciencia Tecnología e Innovación.

Estas es la primera Planta Piloto del Sistema para el Tratamiento Integral en sitio de Residuos Orgánicos Mbio, única en su tipo en el país que trabaja a partir de la digestión anaerobia y termoflica, además de ser la primera en estar instalada en el

Centro de Acopio y Comercialización de Nopal-Verdura (CANV) de la demarcación, para poder procesar hasta 100 toneladas de mejorador de suelos al mes.

En tanto a Tláhuac, el avance en energías renovables no se ha visto del todo avanzado, por que urge que se desarrollen alternativas de cambio. Por lo antes mencionado se realizó un estudio para determinar qué tan familiarizada esta la población con las energías o paneles solares.

2. Descripción del método

Se realizó un estudio en 5 municipios de la Zona Oriente del Valle de México, Chimalhuacán, Chalco, La Paz e Ixtapaluca; con la finalidad de conocer las condiciones de sus viviendas, el interés que tienen sobre el medio ambiente y si están involucrados con las energías renovables, si en algún momento han pensado en invertir para adquirir paneles solares. Para ello, se realizó una encuesta que se muestra en la Tabla 1. De ésta se realizaron 200 encuestas a personas mayores de edad que en su mayoría solventan sus gastos, en los 4 municipios elegidos del Valle de la Zona Oriente México (Chimalhuacán, Chalco, La Paz e Ixtapaluca), durante el periodo del 4 de marzo al 25 de abril del 2019 en diferentes horarios de 15:00 a 21:00 horas en diferentes días a la semana.

Una vez recabados los datos obtenidos de las encuestas realizadas, se procedió a realizar el análisis estadístico permitirá determinar qué municipio se encuentra aún marginado, y así discernir sobre el proceso y la calidad de la información recabada.

3. Resultados y Análisis

De las preguntas generadas su tuvo un total de 800 encuestas, de los 4 municipios se observa claramente que no existen investigaciones que aborden mucho el problema de marginación, así como la transición energética. Se realizó una gráfica de columnas para mostrar la media muestras que se tiene del número de personas que habitan una vivienda vs la frecuencia que se tiene de cada uno de los 4 municipios analizados (Ver. Gráfico 1)

Como se muestra en la gráfica 1, se observa que en los 4 municipios predomina la mayor frecuencia de habitantes por vivienda en el intervalo de 3.5, seguido del intervalo en 5.5 y 7.5 personas por vivienda, teniendo una frecuencia de entre 10 a 31 personas que en su casa habitan aun más de 9.5 personas. Aun cuando la mayor frecuencia se dio en intervalos de 3.5 y 5.5, se observa que en las zonas marginadas el número de habitantes sigue siendo elevado.

Para aclarar más este análisis se obtuvieron los datos estadístico (media, mediana, moda, varianza, desviación estándar y el coeficiente de variación, que nos permiten visualizar con más detalle que municipio presenta sobrepoblación siendo Chimalhuacán (43.3%), Ixtapaluca (45.0%) y Chalco (43.9%) los que presentan un coeficiente de variación mayor al 25% lo que nos indica que existe un grupo de personas heterogéneas en cuanto al número de habitantes por vivienda. La única que presenta un grupo homogéneo es el municipio de La Paz con un coeficiente de variación de 5.3%. Los datos de la media obtenidos son similares a los que se reportan en la información estadística oficial aun cuando se tienen desviaciones estándar muy elevadas a las reportadas esto podría ser por la muestra tan pequeña de encuestados.

En la tabla 3, se muestran los porcentajes obtenidos del monitoreo en cuanto a la calidad en el servicio eléctrico que ofrece el gobierno en estos municipios de la zona oriente del Valle de México, como se observa se tiene un porcentaje alto en cuanto al mal servicio en Chimalhuacán de 42.5%, Chalco 43.0%, La Paz 26.5% e Ixtapaluca con 24.0% la gran diferencia que existe en los intervalos de mayor y menor se debe a que el municipio de Ixtapaluca aún no está sobrepoblada como Chimalhuacán. En el grafico 2, se muestra el estudio realizado sobre que tanto las población de estos municipios conocen de Energías Renovables y es triste observar que los porcentajes de desconocimiento de estas es mayor al 80% y que el restante solo ha escuchado de ella, lo que nos indique que no se han realizado difusión alguna de éstas en esta zona y que la gente no está interesada en buscar alternativas viables y amigables con el ambiente para minimizar el alto índice de contaminación que vivimos actualmente y esto se confirma en los resultados mostrados en la tabla 4, donde los porcentajes de 24.5% a 84.0% indican que la gente no está interesada en cuidar el medio ambiente por tal motivo no están dispuestos a implementar en sus viviendas paneles solares.

En la tabla 4, se observa que aun cuando se ha estado pasando por problemas de contingencia ambiental por la mala calidad del aire, consecuencia de la quema de combustibles fósiles para proveer del servicio eléctrico a la población esta no crea conciencia y no muestra interés alguno en el cuidado del medio ambiente ya que las encuestas realizadas a 200 personas por cada municipio presentan arrojan porcentajes altos de no interesarse en el cuidado del medio ambiente teniendo porcentajes que van del 24.5% al 88.0%.

4. Agradecimiento

Al Tecnológico de Estudios Superiores del Estado de México por su apoyo para la realización de este estudio.

5. Conclusiones

Se pudieron detectar los puntos relevantes del porque los municipios de la Zona Oriente del Valle de México no se involucran con el medio ambiente, ni la transición energética, la desinformación de estos temas en dichos municipios es muy alta, y a la sociedad solo le interesa tener más comodidades que ofrezcan una calidad de vida mejor aun cuando se siga teniendo en una sobre explotación de los recursos naturales, por ser municipios marginados la población no alcanza a vislumbrar la gran problemática que se tiene en cuanto a contaminación por la quema de combustibles para contar con los servicios eléctricos, la gente tiene una apreciación diferente sobre el cambio de las tecnologías ya que están acostumbrados a que su vida transcurra sin cambios significativos.

En base a los resultados obtenidos en el estudio estadístico, se propone generar proyectos de concientización ciudadana ya que la gente está mal informada y carece de educación ambiental, a pesar de que las energías alternativas se han utilizado desde épocas pasadas aún se cree que no son del todo funcionales y que no abastecerían adecuadamente a la población, pero es importante hacerles ver que en la práctica al implementar la energía alternativa estamos contribuyendo al cuidado del medio ambiente que en los últimos años ha tomado un gran interés por los cambios que se viven actualmente, tanto el desabasto de recursos naturales como el petróleo, agua, gas natural, etc. Este estudio permitió identificar los diversos factores que influyen en la implementación de las energías renovables y sobre la poca educación ambiental que se tiene en las comunidades del Estado de México en la zona Oriente.

El implementar tecnologías para aprovechar los recursos renovables permitirá dar solución a problemas económicos por los costos de la electricidad y minimizar el impacto que se tiene al ambiente por el uso de energías convencionales. El uso de energías renovables es una buena alternativa para minimizar la producción de los gases de efecto invernadero (GEI) como el metano (CH₄), óxido de carbono (CO₂) que se generan por la avenida y operación de plantas de energía hidroeléctrica o por combustión de plantas de energía térmica, causando un gran impacto en el cambio climático, algunos de estos cambios se intensifican cada día más presentándose lluvias más intensas y que ocasionan grandes inundaciones en varios lugares del estado de México y la República Mexicana, así como a nivel mundial, calentamiento global que ha llevado al deshielo inesperado de los polos como en el caso de Groenlandia. El implementar proyectos sobre el uso de energías renovables permitirá dar soluciones al suministro eléctrico en comunidades que aún no lo tienen al 100%, creando una alternativa energética alineada con la protección ambiental; es un desafío profesional de buscar como concluir los modelos de generación de energía convencional que requieren de recursos muy altos y conllevan a altos índices de contaminantes, así que los sistemas integrales de implementar nuevas alternativas que traigan soluciones sustentables e innovadoras.

6. Referencias

- Ballesteros, V. B., & Torres, A. P. G. (2019). La educación en energías renovables desde las controversias socio-científicas en la educación en ciencias. *Revista científica*, 2(35).
- Barragán-Escandón, E., Zalamea-León, E., Terrados-Cepeda, J., & Vanegas-Peralta, P. (2019). Factores que influyen en la selección de energías renovables en la ciudad. *EURE (Santiago)*, 45(134), 259-277. División Publicidad. (2017). *Energías Renovables*. EPEC, 12.
- Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), (abril 2001). *Boletín IDAE: Eficiencia Energética y Energías Renovables*. Madrid: Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- Julieta C. Schallenberg Rodríguez Gonzalo Pierna vieja Izquierdo Carlos Hernández Rodríguez. (abril, 2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A: FEDER
- Luis Merino. (mayo, 2011). *Energías Renovables*. Madrid: 123
- Rebeca de Gortari Rabiela. (2012). *Xochimilco como alternativa de competitividad para los orgánicos: el caso de Invernaderos Tepexomulco*, (vol.25 no.77). México: Nueva antropol.
- Raúl Oreste Catalán Marín. (2017). *Evaluación Energética Del Centro De Acopio De Nopal Y Verdura Y Del Biodigestor Asociado*. 2019, De Especialización: Ahorro y Uso Eficiente de Energía Sitio Web: <http://Www.Ptolomeo.Unam.Mx:8080/Xmlui/Bitstream/Handle/132.248.52.100/12904/Tesis.Pdf?Sequence=1>
- Rodolfo Vázquez-Rodríguez*, Juan José Ambriz García, Eugenio Torijano Cabrera. (2017). *En Contribución de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa en la formación de recursos humanos en el campo de la Energía Nuclear*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa: Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.
- Rojas, G. C. A., Tacuri, D. V. R., Monsalve, D. F. R., & Jara, J. P. S. (2019). Efecto de la segregación de energías en la hipótesis de la curva ambiental de kuznets. Un estudio para el caso Ecuatoriano. *INNOVA Research Journal*, 4(2), 102-119.
- Sánchez, L., & Caballero, K. (2019). La curva de Kuznets ambiental y su relación con el cambio climático en América Latina y el Caribe: un análisis de cointegración con panel, 1980-2015. *Revista de Economía del Rosario*, 22(1), 41.
- Jordy Hernán Herrera Flores, Verónica Irastorza Trejo (2012). *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*. México, SENER.

Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

[Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} Coautor

Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1^{er} Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2^{do} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2^{do} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Citación: Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 1^{er} Autor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 1^{er} Coautor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 2^{do} Coautor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 3^{er} Coautor. Apellido

Correo institucional [Times New Roman No.10]

Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

Primera letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre Editores. Apellidos (eds.) *Título del Handbook [Times New Roman No.10]*, Temas Selectos del área que corresponde ©ECORFAN- Filial, Año.

Abstract

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo, en inglés.

Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman y Negritas No.12

1 Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?.

Enfocar claramente cada una de sus características.

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Capítulo.

Desarrollo de Secciones y Apartados del Capítulo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Capítulos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del Capítulo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte Superior con Times New Roman No.12 y Negrita, señalando la fuente en la parte Inferior centrada con Times New Roman No. 10]

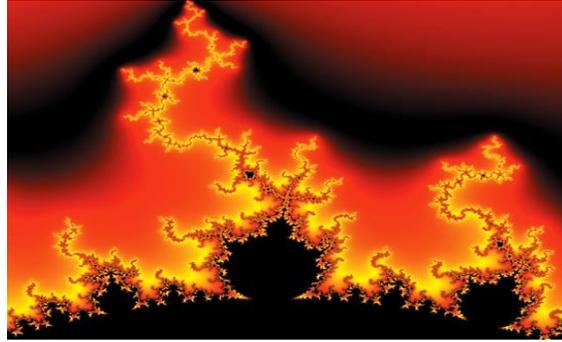
Tabla 12.1 Título

Variable	Descripción	Valor
P ₁	Partición 1	481.00
P ₂	Partición 2	487.00
P ₃	Partición 3	484.00
P ₄	Partición 4	483.50
P ₅	Partición 5	484.00
P ₆	Partición 6	490.79
P ₇	Partición 7	491.61

Fuente:

(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

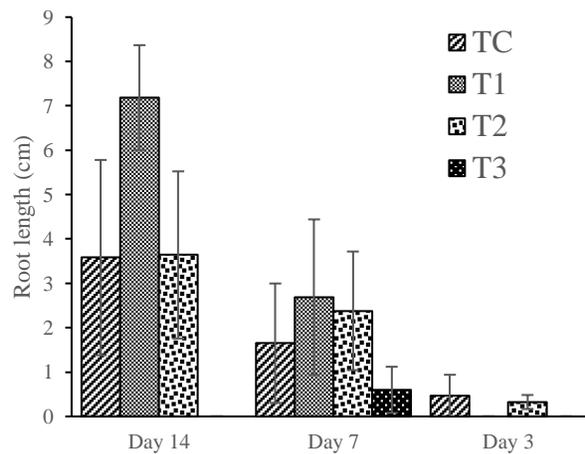
Figura 1.1 Título



Fuente:

(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Gráfico 1.1 Título



Fuente:

(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Cada Capítulo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$\int_{lim^{-1}}^{lim^1} = \int \frac{lim^1}{lim^{-1}} = \left[\frac{1(-1)}{lim} \right]^2 = \frac{(0)^2}{lim} = \sqrt{lim} = 0 = 0 \rightarrow \infty \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados.

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Capítulo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. **No** deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Capítulo.

Ficha Técnica

Cada Capítulo deberá presentar en un documento Word (.docx):

Nombre del Handbook

Título del Capítulo

Abstract

Keywords

Secciones del Capítulo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

Reserva a la Política Editorial

ECORFAN Handbooks se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar la Obra Científica a la Política Editorial del Ecorfan Handbooks. Una vez aceptada la Obra Científica en su versión final, el Ecorfan Handbooks enviará al autor las pruebas para su revisión. Ecorfan® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación de la Obra Científica.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito de la Obra Científica, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución

La Dirección de Ecorfan-México, S.C reivindica a los Autores de la Obra Científica que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes de la Obra Científica deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia de la Obra Científica propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título de la Obra Científica:

- El envío de una Obra Científica a Ecorfan Handbooks emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en esta Obra Científica ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en la Obra Científica, así como las teorías y los datos procedentes de otras Obras Científicas previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que Ecorfan-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de esta Obra Científica se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en la Obra Científica.

Copyright y Acceso

La publicación de esta Obra Científica supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding México para su ECORFAN Handbooks, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada de la Obra Científica y la puesta a disposición de la Obra Científica en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título de la Obra Científica:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre la Obra Científica enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio a la Obra Científica el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de la Obra Científica. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con la Obra Científica que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter la Obra Científica a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Obras Científicas son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Obra Científica definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza de la Obra Científica presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

Servicios Editoriales

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Handbooks con PLAGSCAN

Evaluación de Obra Científica

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Obra Científica

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Publicación de Obra Científica

Certificado de Obra Científica

Facturación por Servicio de Edición

Política Editorial y Administración

143 - 50 Itzopan, Ecatepec de Morelos – México. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MSc

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan),sponsorships@ecorfan.org

Licencias del Sitio

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

Oficinas de Gestión

143 - 50 Itzopan, Ecatepec de Morelos – México.

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre – Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal –Madrid-España.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenida, Salinas I - Santa Elena-Ecuador.

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú.

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Camerún.

Avenida Suroeste, San Sebastian - León-Nicaragua.

31 Kinshasa 6593- Republique Démocratique du Congo.

Avenida San Quentin, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 kilómetros, carretera estadounidense, casa Terra Alta, D7 Mixco Zona 1-Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Capitán, CP-2060. Luque City- Paraguay.

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán.

43 Calle # 30 -90 B. El Triunfo CP.50001. Bogotá-Colombia.



9 786078 695041

ISBN 978-607-8695-04-1



www.ecorfan.org