ISSN 2523-6822

Revista de Tecnologías en Procesos Industriales

Volumen 2, Número 5 - Octubre - Diciembre - 2018

ECORFAN®

ECORFAN-Taiwán

Editora en Jefe
RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal
SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial
ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC
SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial
PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo
VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Editores de Producción
ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD
LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial
REYES-VILLAO, Angélica. BsC

Control de Producción
RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC
DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Revista de Tecnologías en Procesos Industriales, Volumen 2, Número 5, de Octubre a Diciembre 2018, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445. WEB: www.ecorfan.org/taiwan, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María, CoEditor: VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD. ISSN 2523-6822. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA- BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD. Actualizado al 31 de Diciembre 2018.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Centro Español de Ciencia y Tecnología.

Revista de Tecnologías en Procesos Industriales

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas Tecnología en telecomunicaciones, Tecnología en los alimentos, Tecnología en los ordenadores, Tecnología en los sistemas de transporte, Tecnología en los vehículos de motor, Tecnología energética, Tecnología naval, Tecnología nuclear, Tecnología textil, Ingeniería en sistemas, Ingeniería en electrónica, Ingeniería energética, Innovación.

ECORFAN-México 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

Revista de Tecnologías en Procesos Industriales es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Taiwan, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. 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 Tecnología en telecomunicaciones, Tecnología en los alimentos, Tecnología en los ordenadores, Tecnología en los sistemas de transporte, Tecnología en los vehículos de motor, Tecnología energética, Tecnología naval, Tecnología nuclear, Tecnología textil, Ingeniería en sistemas, Ingeniería en electrónica, Ingeniería energética, Innovación 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 de Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® 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

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD
Oak Ridge National Laboratory

CARBAJAL - DE LA TORRE, Georgina. PhD
Université des Sciencies et Technologies de Lille

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD
Institute of Technology

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD
University of La Rochelle

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

DECTOR - ESPINOZA, Andrés. PhD
Centro de Microelectrónica de Barcelona

TELOXA - REYES, Julio. PhD
Advanced Technology Center

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD
Universidad Gestalt

CENDEJAS - VALDEZ, José Luis. PhD
Universidad Politécnica de Madrid

HERNANDEZ - ESCOBEDO, Quetzalcoatl Cruz. PhD
Universidad Central del Ecuador

HERRERA - DIAZ, Israel Enrique. PhD
Center of Research in Mathematics

MEDELLIN - CASTILLO, Hugo Iván. PhD
Heriot-Watt University

LAGUNA, Manuel. PhD
University of Colorado

VAZQUES - NOGUERA, José. PhD
Universidad Nacional de Asunción

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD
University of Alberta

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD
University of Southampton

LÓPEZ - HERNÁNDEZ, Juan Manuel. PhD
Institut National Polytechnique de Lorraine

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD
Universidad de Sevilla

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD
Universidad Politécnica de Valencia

MARTINEZ - ALVARADO, Luis. PhD
Universidad Politécnica de Cataluña

MAYORGA - ORTIZ, Pedro. PhD
Institut National Polytechnique de Grenoble

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD
University of South Florida

LARA - ROSANO, Felipe. PhD
Universidad de Aachen

TIRADO - RAMOS, Alfredo. PhD
University of Amsterdam

DE LA ROSA - VARGAS, José Ismael. PhD
Universidad París XI

CASTILLO - LÓPEZ, Oscar. PhD
Academia de Ciencias de Polonia

LÓPEZ - BONILLA, Oscar Roberto. PhD
State University of New York at Stony Brook

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD
Syracuse University

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD
University of Texas

VEGA - PINEDA, Javier. PhD
University of Texas

PÉREZ - ROBLES, Juan Francisco. PhD
Instituto Tecnológico de Saltillo

SALINAS - ÁVILES, Oscar Hilario. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados -IPN

RODRÍGUEZ - AGUILAR, Rosa María. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD
Universidad de Guanajuato

MORILLÓN - GÁLVEZ, David. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

CASTILLO - TÉLLEZ, Margarita. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

SERRANO - ARRELLANO, Juan. PhD
Universidad de Guanajuato

ZAVALA - DE PAZ, Jonny Paul. PhD
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada

ARROYO - DÍAZ, Salvador Antonio. PhD
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

ENRÍQUEZ - ZÁRATE, Josué. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

HERNÁNDEZ - NAVA, Pablo. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica

CASTILLO - TOPETE, Víctor Hugo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

QUETZALLI - AGUILAR, Virgen. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD
Instituto Politécnico Nacional

PORTILLO - VÉLEZ, Rogelio de Jesús. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

ROMO - GONZALEZ, Ana Eugenia. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

VASQUEZ - SANTACRUZ, J.A. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

OCHOA - CRUZ, Genaro. PhD
Instituto Politécnico Nacional

SÁNCHEZ - HERRERA, Mauricio Alonso. PhD
Instituto Tecnológico de Tijuana

PALAFOX - MAESTRE, Luis Enrique. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

AGUILAR - NORIEGA, Leocundo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZALEZ - BERRELLEZA, Claudia Ibeth. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

REALYVÁSQUEZ - VARGAS, Arturo. PhD
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RODRÍGUEZ - DÍAZ, Antonio. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

MALDONADO - MACÍAS, Aidé Aracely. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

LICEA - SANDOVAL, Guillermo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

CASTRO - RODRÍGUEZ, Juan Ramón. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RAMIREZ - LEAL, Roberto. PhD
Centro de Investigación en Materiales Avanzados

VALDEZ - ACOSTA, Fevrier Adolfo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Samuel. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

CORTEZ - GONZÁLEZ, Joaquín. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

TABOADA - GONZÁLEZ, Paul Adolfo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RODRÍGUEZ - MORALES, José Alberto. PhD
Universidad Autónoma de Querétaro

Comité Arbitral

ESCAMILLA - BOUCHÁN, Imelda. PhD
Instituto Politécnico Nacional

LUNA - SOTO, Carlos Vladimir. PhD
Instituto Politécnico Nacional

URBINA - NAJERA, Argelia Berenice. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

PEREZ - ORNELAS, Felicitas. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

CASTRO - ENCISO, Salvador Fernando. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

CASTAÑÓN - PUGA, Manuel. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

GONZÁLEZ - REYNA, Sheila Esmeralda. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

RUELAS - SANTOYO, Edgar Augusto. PhD
Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas

HERNÁNDEZ - GÓMEZ, Víctor Hugo. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

OLVERA - MEJÍA, Yair Félix. PhD
Instituto Politécnico Nacional

CUAYA - SIMBRO, German. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

LOAEZA - VALERIO, Roberto. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Uruapan

ALVAREZ - SÁNCHEZ, Ervin Jesús. PhD
Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada

SALAZAR - PERALTA, Araceli. PhD
Universidad Autónoma del Estado de México

MORALES - CARBAJAL, Carlos. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RAMÍREZ - COUTIÑO, Víctor Ángel. PhD
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica

BAUTISTA - VARGAS, María Esther. PhD
Universidad Autónoma de Tamaulipas

GAXIOLA - PACHECO, Carelia Guadalupe. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - JASSO, Eva. PhD
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD
Universidad Politécnica de Amozoc

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD
Universidad de Guadalajara

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

GUTIÉRREZ - VILLEGAS, Juan Carlos. PhD
Centro de Tecnología Avanzada

HERRERA - ROMERO, José Vidal. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

MARTINEZ - MENDEZ, Luis G. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

LUGO - DEL ANGEL, Fabiola Erika. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero

NÚÑEZ - GONZÁLEZ, Gerardo. PhD
Universidad Autónoma de Querétaro

PURATA - SIFUENTES, Omar Jair. PhD
Centro Nacional de Metrología

CALDERÓN - PALOMARES, Luis Antonio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

TREJO - MACOTELA, Francisco Rafael. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

TZILI - CRUZ, María Patricia. PhD
Universidad ETAC

DÍAZ - CASTELLANOS, Elizabeth Eugenia. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ORANTES - JIMÉNEZ, Sandra Dinorah. PhD
Centro de Investigación en Computación

VERA - SERNA, Pedro. PhD
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

MARTÍNEZ - RAMÍRES, Selene Marisol. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

OLIVARES - CEJA, Jesús Manuel. PhD
Centro de Investigación en Computación

GALAVIZ - RODRÍGUEZ, José Víctor. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

JUAREZ - SANTIAGO, Brenda. PhD
Universidad Internacional Iberoamericana

ENCISO - CONTRERAS, Ernesto. PhD
Instituto Politécnico Nacional

GUDIÑO - LAU, Jorge. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

MEJIAS - BRIZUELA, Nildia Yamileth. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

FERNÁNDEZ - GÓMEZ, Tomás. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

MENDOZA - DUARTE, Olivia. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ARREDONDO - SOTO, Karina Cecilia. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

NAKASIMA - LÓPEZ, Mydory Oyuky. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

AYALA - FIGUEROA, Rafael. PhD
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

ARCEO - OLAGUE, José Guadalupe. PhD
Instituto Politécnico Nacional

HERNÁNDEZ - MORALES, Daniel Eduardo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

AMARO - ORTEGA, Vidblain. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ÁLVAREZ - GUZMÁN, Eduardo. PhD
Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

CASTILLO - BARRÓN, Allen Alexander. PhD
Instituto Tecnológico de Morelia

CASTILLO - QUIÑONES, Javier Emmanuel. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ROSALES - CISNEROS, Ricardo. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

GARCÍA - VALDEZ, José Mario. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

CHÁVEZ - GUZMÁN, Carlos Alberto. PhD
Instituto Politécnico Nacional

MÉRIDA - RUBIO, Jován Oseas. PhD
Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital

INZUNZA - GONÁLEZ, Everardo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

VILLATORO - Tello, Esaú. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

NAVARRO - ÁLVEREZ, Ernesto. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

ALCALÁ - RODRÍGUEZ, Janeth Aurelia. PhD
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Juan Miguel. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

RODRIGUEZ - ELIAS, Oscar Mario. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

ORTEGA - CORRAL, César. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GARCÍA - GORROSTIETA, Jesús Miguel. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

Cesión de Derechos

El envío de un Artículo a Revista de Tecnologías en Procesos Industriales 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 Artículo.

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

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Articulo 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 ORC ID - 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 del Artículo.

Detección de Plagio

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandara a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Articulo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todos los Artículos 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 homólogo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-África 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 Research Journal 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 Artículo Modificado para Edición-Publicación.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Tecnología en telecomunicaciones, Tecnología en los alimentos, Tecnología en los ordenadores, Tecnología en los sistemas de transporte, Tecnología en los vehículos de motor, Tecnología energética, Tecnología naval, Tecnología nuclear, Tecnología textil, Ingeniería en sistemas, Ingeniería en electrónica, Ingeniería energética, Innovación y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología.

Presentación del contenido

En el primer artículo presentamos *Tratamiento de lodos generados por electrocoagulación de lixiviados del relleno sanitario El Huixmí*, por OCAMPO-RODRÍGUEZ, Dulce Brigite, QUERO-GUTIÉRREZ, Edgar y LEÓN-CASTELAZO, Yolanda, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan, como segundo artículo presentamos *Consecuencias de la electropolusión causada por la telefonía móvil en los hábitos de las abejas (Apis melifera L.)*, por LEGUIZAMO-HERNÁNDEZ, Miriam & CONTRERAS-RAMOS, Juan, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Norte de Puebla, como tercer artículo presentamos *Modelo Conceptual de Gestión para la Trazabilidad en la Industria Acuícola de Pequeña Escala*, por VILLALOBOS-GÓMEZ, Joel Alejandro, VERDUZCO-RAMÍREZ, Jesús Alberto, GARCÍA-DÍAZ, Noel y OLIVO-GUTIÉRREZ, Mauricio, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Colima, como cuarto artículo presentamos *Optimización de la distribución de hielo de una empresa hidalguense en el Estado de México*, por PÉREZ-RAMÍREZ, Carlos Manuel & RUIZ-ESCAMILLA, Pedro César, con adscripción en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Pachuca.

Contenido

Artículo	Página
Tratamiento de lodos generados por electrocoagulación de lixiviados del relleno sanitario El Huixmí OCAMPO-RODRÍGUEZ, Dulce Brigite, QUERO-GUTIÉRREZ, Edgar y LEÓN-CASTELAZO, Yolanda *Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan*	1-6
Consecuencias de la electropolusión causada por la telefonía móvil en los hábitos de las abejas *(Apis melifera L.)* LEGUIZAMO-HERNÁNDEZ, Miriam & CONTRERAS-RAMOS, Juan *Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Norte de Puebla*	7-15
Modelo Conceptual de Gestión para la Trazabilidad en la Industria Acuícola de Pequeña Escala VILLALOBOS-GÓMEZ, Joel Alejandro, VERDUZCO-RAMÍREZ, Jesús Alberto, GARCÍA-DÍAZ, Noel y OLIVO-GUTIÉRREZ, Mauricio *Instituto Tecnológico de Colima*	16-23
Optimización de la distribución de hielo de una empresa hidalguense en el Estado de México PÉREZ-RAMÍREZ, Carlos Manuel & RUIZ-ESCAMILLA, Pedro César *Instituto Tecnológico de Pachuca*	24-36

Artículo **Revista de Tecnologías en Procesos Industriales**
Diciembre 2018 Vol.2 No.5 1-6

Tratamiento de lodos generados por electrocoagulación de lixiviados del relleno sanitario El Huixmí

Treatment of sludge generated by electrocoagulation of leachate from El Huixmí Sanitary landfill

OCAMPO-RODRÍGUEZ, Dulce Brigite[1], QUERO-GUTIÉRREZ, Edgar[2] y LEÓN-CASTELAZO, Yolanda[1]

[1]*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Pachuca*
[2]*Centro Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología de Hidalgo*

ID 1er Autor: *Dulce Brigite, Ocampo-Rodríguez* / **ORC ID:** 0000-0002-9307-3641, **Researcher ID Thomson:** P-6586-2018, **PubMed ID:** dulce_ocampo

ID 1er Coautor: *Edgar, Quero-Gutiérrez* / **ORC ID:** 0000-0001-6071-4273, **Researcher ID Thomson:** P-7224-2018, **PubMed ID:** edgarq

ID 2do Coautor: *Yolanda, León-Castelazo* / **ORC ID**: 0000-0001-5139-8803, **Researcher ID Thomson:** P-6775-2018, **arXiv Autor ID:** yola-37

Recibido: Septiembre 18, 2018; Aceptado: Noviembre 27, 2018

Resumen

En los rellenos sanitarios se recuperan lixiviados que constituyen una fuente importante de contaminación que podría filtrarse por el subsuelo y llegar a los mantos freáticos. Un método favorable para tratar estos lixiviado es la electrocoagulación, en donde se precipitan elementos reducidos en forma de lodos, los cuales al ser depurados pueden utilizarse en actividades agrícolas. El objetivo de esta investigación fue proponer un tratamiento de los lodos formados al tratar lixiviados del relleno sanitario El Huixmí ubicado en el municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo; con el fin de estabailizarlos y para su uso posterior. La investigación de campo realizada fue de tipo analítico y observacional. Las determinaciones y los análisis del lixiviado se efectuaron antes y después de la electrocoagulación, en el laboratorio de suelos del Centro Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología de Hidalgo. Los resultados obtenidos muestran que durante el proceso de electrocoagulación aumentó la concentración de algunos elementos importantes y mínimo de contaminantes, cumpliendo en ese caso con la parte correspondiente de la norma NOM-004-SEMARNAT-2002. Para el uso de los lodos obtenidos en suelos agrícolas se recomienda la eliminación de sodio por intercambio iónico y la adición de micorrizas permitiendo la absorción de fósforo.

Relleno Sanitario, Lixiviados, Electrocoagulación, Lodos.

Abstract

In landfills are recovered leached that constitute an important source of pollution that could seep through the subsoil and reach the groundwater. A favorable method to treat these leachates is electrocoagulation, where small elements are precipitated in sludge form, which when purified can be used in agricultural activities. The objective of this research was to propose a treatment of the sludge formed when treating leachates from the El Huixmí landfill located in the municipality of Pachuca de Soto, Hidalgo; in order to standardize them and for later use. The field research carried out was analytical and observational. The determinations and the leachate analyzes were carried out before and after the electrocoagulation, in the soil laboratory of the Centro Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología de Hidalgo]. The results obtained show that during the electrocoagulation process the concentration of some important elements and minimum of contaminants increased, fulfilling in that case the corresponding part of the norm NOM-004-SEMARNAT-2002. For the use of the sludge obtained in agricultural soils, the elimination of sodium by ion exchange and the addition of mycorrhizae allowing the absorption of phosphorus are recommended.

Sanitary Landfill, Leachate, Electrocoagulation, Sludge

Citación: OCAMPO-RODRÍGUEZ, Dulce Brigite, QUERO-GUTIÉRREZ, Edgar y LEÓN-CASTELAZO, Yolanda. Tratamiento de lodos generados por electrocoagulación de lixiviados del relleno sanitario El Huixmí. Revista de Tecnologías en Procesos Industriales. 2018, 2-5: 1-6

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: bri20rodriguez@hotmail.com)
† Investigador contribuyendo como primer autor.

© ECORFAN- Taiwan

Introducción

Los rellenos sanitarios, son una gran concentración de diversos materiales, de sólidos a líquidos y con una composición química diversa desde elementos (hierro, cobre y aluminio, entre otros) a moléculas (proteínas, grasas, antibióticos), con un entorno proporcionado por agua, gases (CO_2, CH_3, SH_2) y biota diversa que se desarrolla en ambientes con baja demanda de oxígeno. Este complejo de concentrados, a través de su interacción puede generar materiales, desde tóxicos a tener un alto uso en diferentes áreas productivas como la biotecnología, la agricultura y la industria.

Un producto que se puede recuperar durante un largo tiempo en los rellenos sanitarios es el líquido que se drena en la parte inferior del relleno, el cual se denomina lixiviado.

Siendo los lixiviados una fuente de contaminación, su tratamiento con electrocoagulación permite una solución favorable; sin embargo, en el uso de esta técnica se producen lodos cuyas características y posibilidades de aprovechamiento no se han estudiado.

Los lodos deben cumplir con límites máximos permisibles de contaminantes para su posterior aprovechamiento y disposición final, regulados por la NOM-004-SEMARNAT-2002. Por tanto, es necesario caracterizar el lodo generado y definir el tratamiento adecuado para su utilización.

Marco Referencial

En la búsqueda de estrategias para un mejor aprovechamiento del agua y a su vez corregir el deterioro ambiental provocado por los efluentes líquidos y su tratamiento, se han hecho estudios proponiendo mejoras a los procesos de tratamiento.

Una técnica propuesta y ya utilizada es la electrocoagulación, al respecto Arango (2005) y Giraldo (2007); entre otros autores exponen los beneficios y el diseño de las celdas. Con respecto a los lodos generados en este proceso, se han realizado también estudios que muestran los beneficios de su tratamiento, como lo indica Macías (2013).

Por su parte Cardoso (2002) muestra los resultados del tratamiento de lodos y su aplicación posterior en suelos agrícolas.

En el caso de lixiviados de los rellenos sanitarios se tienen pocos estudios documentados. La aplicación de la electrocoagulación para su tratamiento ha sido analizada y mejorada para algunos casos específicos (Giraldo, 2001), (Novelo, 2009), (Mauricio, 2015), (Huamán, 2016), (Guevara, et al, 2014),

Sin embargo, sobre el tratamiento y posterior aprovechamiento de los lodos provenientes del tratamiento de lixiviados, hacen falta estudios específicos; se requieren análisis y propuestas definidas en el lugar, caracterizando la problemática del tipo de lodos y generando propuestas de solución.

Marco teórico

Un relleno sanitario incluye una fosa con una base revestida donde se entierran los desechos en capas, se compactan y finalmente se cubren. Después de muchos años la se llena y muy probablemente comienzan a filtrarse productos tóxicos desde ellos. (Conant y Fadem, 2011)

Los lixivados provienen de un proceso físico de traslado de materia que sucede cuando un solvente líquido traspasa un sólido, originando de esta manera la elusión de algún componente soluble en el sólido también conocido como lixiviación (General, sf.).

Los lixiviados contienen todas las características de contaminantes, como alto contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, y presencia de sustancias tóxicas como metales pesados (Giraldo, 2001). Sus características dependen fundamentalmente de las características del residuo depositado, de la meteorología del lugar, del modo de operación, de la edad del vertedero, de las características físicas del residuo sólido, del grado de estabilización y del contenido de humedad.

Su color varía entre 3000 y 15000 unidades de color (UC), en tonos que van del café–pardo–grisáceo cuando están frescos, hasta un color negro–viscoso cuando envejecen.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Sus olores altamente fétidos y sus características fisicoquímicas fuertemente variables en cantidad y en calidad, hacen que el lixiviado se clasifique como uno de los desechos más contaminantes (Novelo, 2009).

Electrocoagulación y obtención de lodos. La electrocoagulación, utilizada en el tratamiento de aguas residuales utilizando una corriente eléctrica a través de electrodos de hierro o aluminio, generando de forma electroquímica iones coagulantes en el ánodo que desestabilizan a los contaminantes. (Arango, 2005).

Una de las problemáticas en México la falta de recursos para el tratamiento de lodos provoca que sean descargados a drenajes e presas, terrenos o en las fuentes de suministro. (Castrejón, y otros, 2000)

Sin embargo los valores presentados de metales pesados y micronutrientes en los biosólidos se clasifican como excelentes de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002. (Santoyo, y otros, 2010)

Características de los suelos. Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos dependen de la superficie especifica de las partículas que lo constituyen, más que del tipo de minerales presentes, y las reacciones que tienen importancia agrícola se producen en la superficie de las partículas o en las interfases (Agua, Lázaro, Saucedo y Namuche, 2010).

La acidez de los suelos. El pH es una variable necesaria para entender los procesos químicos, la génesis del suelo, fertilidad y disponibilidad de nutrientes para la planta. Y es utilizada junto con la capacidad neutralizante de acidez y la capacidad amortiguadora para caracterizar la acidez del suelo. (Zapata, s.f.).

El pH del suelo está influenciado por la composición de los cationes intercambiables y la concentración de las sales solubles y presencia o ausencia de yeso y carbonatos. (Agua, Lázaro, Saucedo y Namuche, 2010),

Los suelos se califican como se muestra en la Tabla 1.

pH	Calificación
<3.5	Ultra ácido
3.5-4.4	Extremadamente ácido
4.5-5.0	Muy fuertemente ácido
5.1-5.5	Fuertemente ácido
5.6-6.0	Moderadamente ácido
6.1-6.5	Ligeramente ácido
6.6.-7.3	Neutro
7.4-7.8	Ligeramente alcalino
7.9-8.4	Moderadamente alcalino
8.5-9.0	Fuertemente alcalino
<9.0	Muy fuertemente alcalino

Tabla 1 Calificación de suelos de acuerdo a su pH

Un pH de 8.5 o mayor, indica un porciento de sodio intercambiable del 15 o mayor y la presencia de carbonatos, con un pH menor de 7.5 casi nunca contiene carbonatos y si es menor de 7 contiene hidrógeno intercambiable. (Agua, Lázaro, Saucedo y Namuche, 2010).

Entre las causas generadoras de la acidez del suelo se encuentra el lavado de bases intercambiables por la lluvia, la descomposición de la materia orgánica, oxidación de azufre, nitrificación de amonio y la liberación de H+ por las raíces cuando absorben Ca, Mg, y K (Sadeghian, 2016)

Cuando el suelo es ácido, se pueden presentar deficiencias en los minerales fósforo, calcio, magnesio, molibdeno y boro (Agromática, s.f.)

Cuando el pH es menor de 5.5 el suelo tiene problemas asociados a toxicidad de aluminio, fijación de fósforo, deficiencia de calcio y magnesio este evento reduce la absorción de los nutrientes y el desarrollo de la parte aérea de la planta (Sadeghian, 2016).

Cuando el pH es mayor de 6.5, los problemas están asociados a deficiencia de micro elementos en las plantas, si el p es más alto se genera problemas de deterioro físico del suelo. (Zapata, s.f.)

Salinidad del suelo. El contenido de sales en suelos agrícolas está relacionado con el material de origen (salinización primaria), también puede ser consecuencia de un cambio del régimen hídrico del medio y la transformación en zona de regadío (salinización secundaria). (Agua, Lázaro, Saucedo y Namuche, 2010).

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

La salinidad puede ocasionar una disminución en la disponibilidad de agua para las plantas, baja nacencia de semillas, problemas de toxicidad, bajo rendimiento en cultivos.

Aplicación de lodos. Los lodos provenientes de plantas de tratamiento pueden tener diversos beneficios, pueden utilizarse como fuente de energía o mejoradores de suelo en la agricultura dependiendo del tratamiento que se le den para cumplir con la la NOM-004-SEMARNAT-2002 en donde se especifican los límites máximos permitidos de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. (Macias, 2013)

Uso en la agricultura. La aplicación de lodos o biosólidos en el suelo es mejorar la cantidad de nutrientes, la renovación de materia orgánica, las características de este como es la textura y capacidad de absorción de agua, proporcionando un entorno favorable para el crecimiento de las raíces. (Macias, 2013).

Metodología

El relleno sanitario el Huixmi cuenta con 5 celdas, que cuentan con una fosa de medidas aproximadas de 15m x 10m x 5m, con un volumen de 750m^3 cada una, destinada para el almacenamiento de lixiviados

Los lixiviados del Huixmí se concentran en la fosa número 5. Su tratamiento es una recirculación a las celdas utilizando una motobomba de 4", esta actividad se realiza en un periodo de cuatro meses y antes de las épocas de lluvia; sin embargo, regresan a la fosa con una mayor cantidad de elementos, bacterias y metales, por tanto resulta un tratamiento no efectivo.

De esta fosa número 5 se tomaron muestras significativas de lixiviados para su pretratamiento y obtención de lodos.

1. Inicialmente se determinaron sus características físico-quimicas y su composición.

2. Se llevó a cabo después la electrocoagulación en una celda diseñada para 5 litros de lixiviado (Figura 1).

   Se consideró una distribución volumétrica que contempla tres regiones: una región superior para el depósito de los lodos de flotación o lodos menos densos y las espumas (región de flotación), una región media de reacciones electroquímicas (zona de reacción) en donde se encuentran los electrodos y una región inferior (zona de sedimentación), dónde se depositan los lodos más densos. Se utilizaron 10 electrodos monopolares que de hierro y aluminio (ánodo) de 17cm x 15cm dispuestos en paralelo con separación de 2 cm y conectados a una fuente de 30 volts de corriente directa.

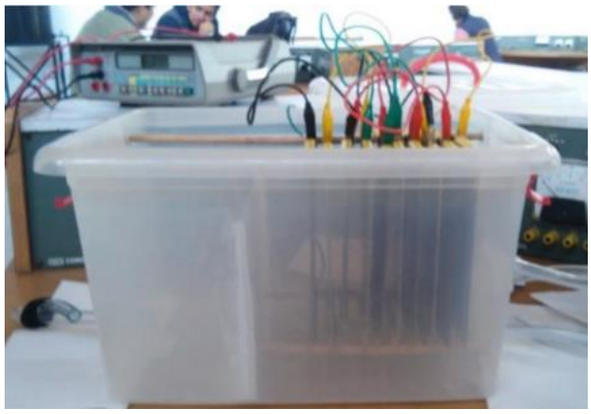

Figura 1 Celda para electrocoagulación de lixiviados

3. Después de la electrocoagulación se obtuvieron los lodos por sedimentación, decantación del lixiviado, filtración y secado al sol.

4. Se estudiaron los lodos mediante un análisis físico químico, un análisis por espectrometría de fluorescencia de rayos X y un mapeo en un microscopio electrónico de barrido.

5. Conocidas las características de los lodos, se determinó la posibilidad de su tratamiento y aprovechamiento en uso agrícola.

Resultados

Las características fisicoquímicas de los lixiviados se muestran en la Tabla 2.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Se consideran las variables: pH (concentración de protones H+), ORP (potencial de óxido reducción), rH (índice redox), C.E. (conductividad eléctrica), TDS (sólidos totales solubles) y SD (sólidos disueltos).

Parámetro	Muestra
	Lixiviado
pH	8.31
(ORP[mV]	-162.90
rH	17.86
EC[µS/cm]	18,210.00
EC Abs.[µS/cm]	16,560.00
TDS [ppt]	9,106.00
SD [ppm]	11,654.40

Tabla 2 Características fisicoquímicas del lixiviado

La concentración de los elementos principales de los lixiviados se muestra en la Tabla 3.

Elemento	Concentración mg/lt
Carbono (C)	3,802.05
Oxigeno (O)	4,724.69
Sodio (Na)	923.03
Magnesio (Mg)	230.76
Silicio (Si)	20.98
Azufre (S)	59.43
Cloro (Cl)	1,184.09
Potasio (K)	743.94

Tabla 3 Concentración de elementos en el lixiviado

Los resultados del análisis fisicoquímico, y químico de los lodos se observan en las tablas 4 y 5.

Durante la caracterización del lodo obtenido se realizó un mapeo con el microscopio de barrido en el cual se encontró una molécula formada principalmente de carbón, sodio, silicio, magnesio, aluminio y oxígeno, se puede por tanto considerar que se trata de una arcilla, sin embargo al contener sodio y aluminio no se recomienda para su uso agrícola.

Parámetro	Muestra
	Lodo
pH	8.45
(ORP[mV]	-243.60
rH	15.45
EC[µS/cm]	17,270.00
EC Abs.[µS/cm]	15,450.00
TDS [ppt]	8,638.00
SD [ppm]	11,052.80

Tabla 4 Valores fisicoquimos del lodo

Elemento	Concentración mg/Kg
Carbono (C)	178,866.67
Oxígeno (O)	478,866.67
Sodio (Na)	16,624.70
Magnesio (Mg)	35,119.60
Aluminio (Al)	133.707.30
Silicio (Si)	15,958.8
Fósforo (P)	3,783.2
Azufre (S)	5,464.5
Cloro (Cl)	18,404.60
Potasio (K)	14,190.30
Vanadio (V)	50.5
Hierro (Fe)	210,829.70
Cobalto (Co)	90.3
Bromo (Br)	90.2
Zirconio (Zr)	349.80
Bario (Ba)	90.2

Tabla 5 Concentración de elementos en el lodo

La solución propuesta es la eliminación de sodio por intercambio iónico, utilizando un corrector de salinidad a base de calcio y la adición de micorrizas.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos en la caracterización de los lodos, se observa que éstos cumplen con la NOM-004-SEMARNAT-2002, en su apartado de metales pesados, el lodo presenta concentraciones de Zinc 237 mg/kg, por lo que no excede con los límites máximos establecidos del Zinc 2,800 mg/kg por lo que se clasifica como un lodo excelente y se puede aprovechar en usos agrícolas.

De acuerdo a la bibliografía el contenido de sales en los suelos puede presentar problemas con las plantas o cultivos sensibles a la salinidad se propone el intercambio iónico de iones de sodio por iones de calcio lo cual mejorará la capacidad humectante del suelo.

El contenido de aluminio en los lodos es un efecto del pretratamiento de la electrocoagulación, este elemento provoca toxicidad teniendo como resultado una disminución en el crecimiento de las raíces, se propone adicionar micorrizas para permitir la absorción de fósforo en las plantas.

Estas adiciones a los lodos permitirán que puedan ser aplicados en suelos ácidos y posteriormente su uso en cultivos como tomate, calabacín, rábano y remolacha, entre otros.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Referencias

Agromática. (s.f.). Obtenido de https:// www.agromatica.es/como-cambiar-el-ph-del-suelo/

Agua, I., Lázaro, P., Saucedo, H. y Namuche , R. (2010). Salinidad del Suelo. Nayarit: Semanart.

Arango, Á. (2005). La electrocoagula-ción: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Lasallista de Investigación vol. 2 núm 1, 49-56.

Cardoso, L. y Ramírez, E. Aplicación en un suelo agrícola de lodos residuales tratados. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Octubre, 2002. Obtenido de: http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26 /iii-009.pdf

Conant, J, y Fadem, P. (2011). Desechos sólidos: cómo convertir un riesgo para la salud en un recurso. Guia comunitaria para la salud ambiental, 412-415.

General, L. (sf.). Concepto definicion. Obtenido de http://conceptodefinicion de/lixiviacion/

Giraldo, E. (2001). Tratamiento de lixiviados de rellenos Avances Recientes. Revista de ingeniería, 44-55.

Giraldo, G. F. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulacion para el tratamiento de aguas residuales de la industria lactea. Universidad EAFIT Vol 43 No 147, 56-66.

Guevara, A., Guanoluisa, L. y De la Torre, E. Diseño de Sistemas de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario El Inga mediante Electrocoagulación y Fitorremediación. Revista EPN, Vol. 34, No. 1. Octubre 2014. Obtenido de: https://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images /revista/volumen34/tomo1/DisenodeSistemasdeTr atamientodeLixiviadosdelRellenoSanitario.pdf

Huamán, Y. (2016). Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala de laboratorio para el tratamiento del lixiviado del botadero de la mejorada El Tambo. Revistas de Investigación. Universidad Alas Peruanas. Obtenido de: http://repositorio.uap.edu.pe/ handle/uap/5852

Macías, J. G. (08 de Julio de 2013). Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales ¿problemas o recurso? Jalisco, Guadalajara: http://www.ai.org.mx/ai/images/si tio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualbert o_limon_trabajo_de_ingreso.pdf.

Méndez, R., Castillo E., Sauri, M., Quintal C., Giácoman, G. y Jimémez, B. Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (3) 133-145, 2009. Mérida Yucatán, México. Obtenido de: http://www.scielo.org. mx/ pdf/rica/v25n3/v25n3a2.pdf

Mauricio C. M. (2015). Eficiencia de la electrocoagulación para la reducción de los niveles de DBO5 y DQO en los lixiviados generados en el relleno sanitario “El Zapallal” Repositorio Digital Institucional. Universidad César Vallejo. Obtenido de: http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/17816

Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. Ciencia, Tecnologá e innovación para la caficultura colombiana. 466-478.

Zapata , R. (s.f.). Quimica de la Acidez del Suelo. En Z. H. Raúl. Obtenido de http://bdigital.unal.edu.co/1735/7/9583367125. 7.pdf

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Artículo **Revista de Tecnologías en Procesos Industriales**
Diciembre 2018 Vol.2 No.5 7-15

Consecuencias de la electropolusión causada por la telefonía móvil en los hábitos de las abejas (*Apis melifera* L.)

Consequences of electropollution caused by mobile telephony in the habits of bees (*Apis melifera* L.)

LEGUIZAMO-HERNÁNDEZ, Miriam†* & CONTRERAS-RAMOS, Juan

Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Norte de Puebla

ID 1er Autor: *Miriam, Leguizamo-Hernández* / **ORC ID:** 0000-0002-8399-0411, **Researcher ID Thomson**: P-5243-2018, **CVU CONACYT ID:** 514557

ID 1er Coautor: *Juan, Contreras-Ramos* / **ORC ID:** 0002-2145-3581, **Researcher ID Thomson**: Q-4125-2018

Recibido: Septiembre 20, 2018; Aceptado: Noviembre 29, 2018

Resumen

La disminución de la población de las abejas a nivel mundial, se debe al uso indiscriminado de fungicidas y pesticidas de acuerdo con Díaz (2015). Actualmente hay otra posible causa poco conocida o difundida y se debe a la electropolución generada por transformadores, electrodomésticos, telefonía celular y señales Wi-Fi. A las abejas y aves migratorias esta radiación artificial las desoriente ocasionándoles la muerte al perderse ya que no pueden llegar a su destino (Warnke, 2007). En esta investigación se expusieron abejas a la radiación emitida por un celular que transmite un SAR equivalente a 1,49 W/Kg y el 52% reaccionaron moviendo el abdomen en dirección del celular, también se observó que el número de llamadas afecta el tiempo de escape de las abejas al ser liberadas de la trampa de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha_{0.05}$). En condiciones normales las abejas no presentaron el comportamiento anteriormente mencionado. Como solución se expone la creación de una antena para rechazar la radiación emitida por la telefonía celular para proteger las colmenas disminuyendo los altos niveles de radiación. Se espera reforzar esta hipótesis con una segunda fase de este proyecto.

***Apis melifera* L., Electropolución, Colapso**

Abstract

The decrease in the population of bees worldwide is due to the indiscriminate use of fungicides and pesticides according to Díaz (2015). Currently there is another possible cause little known or widespread and is due to the electropolución generated by transformers, appliances, cell phones and Wi-Fi signals. To bees and migratory birds this artificial radiation disorients them, causing them to die when they get lost, since they can not reach their destination (Warnke, 2007). In this research bees were exposed to the radiation emitted by a cell phone that transmits a SAR equivalent to 1.49 W / Kg and 52% reacted by moving the abdomen in the direction of the cell phone, it was also observed that the number of calls affects the time of escape of the bees when released from the trap according to the Tukey test (α0.05). Under normal conditions bees did not exhibit the aforementioned behavior. As a solution, the creation of an antenna to reject the radiation emitted by the cellular telephony to protect the hives decreasing the high levels of radiation is exposed. It is expected to reinforce this hypothesis with a second phase of this project.

***Apis melifera* L., Electropolucion, Collapse**

Citación: LEGUIZAMO-HERNÁNDEZ, Miriam & CONTRERAS-RAMOS, Juan. Consecuencias de la electropolusión causada por la telefonía móvil en los hábitos de las abejas *(Apis melifera L.)*. Revista de Tecnologías en Procesos Industriales. 2018, 2-5: 7-15

*Correspondencia al Autor (mirislh@hotmail.com)
† Investigador contribuyendo como primer autor.

© ECORFAN- Taiwan

Introducción

En los últimos 20 años, según Córdoba (2014), se ha registrado una disminución en el número de población de las colonias de Abejas domésticas (*Apis melifera*) y silvestres llegando incluso a su desaparición en los apiarios comerciales. Si bien, este fenómeno no es nuevo ya que desde 1868 en que se reportó en Tennessee (USA) la primera desaparición colectiva de abejas, se han registrado en la Unión Americana a la fecha 18 ocurrencias de este evento a nuestros dias (Van Engelsdorp *et al*. 2009).

A este evento notorio sobre todo en los países desarrollados se le ha denominado a partir del 2006 el "***Desorden del Colapso de las Colmenas***" o CCD (Colony Collapse Disorder por sus siglas en inglés), este fenómeno se comenzó a manifestar fuertemente sobre todo en los países desarrollados en la primera década del siglo XXI, en el verano del 2006 en los Estados Unidos de América de costa a costa los apicultores reportaron la pérdidas del 30 al 35% de sus colmenas (600 a 700 mil colmenas) sin que se conociera la causa de este fenómeno (Johnson 2010, Verde 2010). En la primera década de presente siglo se presentó la misma situación en Canadá, Alemania, Nueva Zelanda, Austria, España, Polonia y Suiza, y se indica que Suiza se perdió un 30 % de las abejas en el invierno sin dejar rastro a causa de dicho "***colapso"***; lo cual representó para este país un total de 500 millones de abejas desaparecidas en ese año (Verde, 2010).

Warnke (2007), concuerda con lo anterior y menciona que en Inglaterra se presentó un hecho similar en las primeras décadas del siglo XX; en México ocurrió lo mismo, dos veces en los años setenta, sin embargo, se daba un proceso de recuperación natural de las colonias inducido por los apicultores en sus apiarios.

Actualmente es diferente debido a que casi donde quiera que se ha presentado el **"Colapso"** ha impactado con fuerza a las poblaciones de abejas hasta casi su desaparición en algunas lugares, como en el caso de las islas de Wrigth en Inglaterra han desaparecido las abejas quedando menos del 10% de la población Garza (2013).

La importancia de las abejas radica en sus funciones como polinizadoras ya que tienen un alto nivel de especialización y ninguna otra especie de abeja u insecto la puede sustituir; 2008 fue el peor año de la apicultura en Estados Unidos donde se estimó una reducción de la población total de las abejas de un 35 % (Johnson 2010, Verde 2013).

La agricultura depende en mayor o menor medida de las abejas polinizadoras, que es la base de la alimentación para la humanidad; su impacto negativo generaría un daño insalvable para la producción de alimentos e insumos a nivel mundial ya que su influencia en la producción de alimentos se estima en 215 mil millones de dólares en el mundo, la actividad de polinización que efectúan las abejas anualmente en Estados Unidos es de 15,000 millones de dólares (Garza 2013, Warnke 2007, Johnson 2010, Galeana 2015); mientras que en México se estima que la aportación de las abejas en la polinización de cultivos fue de $17 452 422.068 de pesos anuales (Infosiap, 2015, Jaramillo 2015).

Para que a una colmena se le pueda considerar sana debe cubrir ciertas características contempladas en la Guía Práctica sobre el Manejo Técnico de Colmenas (Teca-FAO 2010), donde se indica que en condiciones ideales la colmena debe estar orientada al sur, cerca de manantiales, lagos o ríos limpios y con cobertura vegetal. La temperatura interna de la colmena debe ser entre 34º a 38º C (Guajardo, 2009). Si alguna de las condiciones mencionadas se ve afectada, la colonia se estresa. El estrés en las abejas es el estado inmediato a la enfermedad que presenta un organismo o una de sus partes por haberles exigido un rendimiento muy superior a lo normal ya que afecta su estado natural (Valega, 2009). Las causas que ocasionan estrés en las abejas son diversas y algunas son responsabilidad del ser humano (Guajardo, 2009).

Las investigaciones realizadas para determinar las causas del "***Desorden del Colapso de las Colmenas***" o CCD, indican que este puede ser un evento multifactorial causado por la acción individual o conjunta de dos o más factores actuando en sinergia contra la población de abejas, y que pueden sintetizarse en las siguientes causas:

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

a) **Agentes físicos** (clima, radiactividad solar, electromagnéticos naturales (o por la civilización Torres de frecuencias, celulares, Torres de electricidad).

b) **Agentes químicos** pesticidas, plaguicidas (se acusa sobre todo a los neonicotinoides), funguicidas, y contaminación ambiental por químicos modernos sintéticos no existentes en la naturaleza.

c) **Biológicos** plagas, enfermedades (el ***N. ceranae*** causante de la neosimosis ha sido asociada a este síndrome o colapso) y un aumento de depredadores.

d) **Disfunciones conductuales, fisiológicas y genéticas.**

e) **Biotecnológicos** (cultivos y microorganismos genéticamente modificados cuyo contacto es perjudicial para las abejas).

f) **La agricultura moderna** con el predominio de monocultivos ha sido también evaluada como una posible causa por autores como Van Engelsdorp *et al*. 2009, Johnson 2010, Galeana 2015, Watson y Stallins 2016.

La electropolución o contaminación electromagnética de acuerdo Ruiz (2011) es un fenómeno característico de la civilización humana que se ha demostrado afecta de diferentes formas la orientación de las abejas es el fenómeno que estudiamos en el presente escrito. Wanke (2007), menciona que las abejas emplean el campo magnético terrestre y sus oscilaciones diarias para orientarse y comunicarse, y en el medio natural existen campos electromagnéticos oscilantes en varios órdenes de magnitud.

La naturaleza ha creado órganos de los sentidos en diferentes especies (insectos y aves) que seleccionan algunas frecuencias e intensidades muy específicas de este océano de ondas, las analizan y las convierten en señales de orientación acorde con Warnke (2007), y Bravo (2013).

Otro mecanismo que emplean las abejas es la posición del sol con respecto a su colmena y los sitios que visitan en busca de agua, polen y néctar conforme Quero (2004).

Darci *et al*. (2000), y Sharma Kurma (2010), señalan que en las abejas la magnetita es responsable de la sensibilidad a los campos magnéticos que le ayuda a percibir dicho campo para lograr orientarse, en sus viajes de exploración y regreso a sus colmenas. Se ha encontrado presente en todos los animales que pueden orientarse con su propia brújula; el tejido de las abejas tiene altas concentraciones de magnetita. En las abejas la magnetita está presente en una banda en el abdomen, en las antenas, en la cabeza y en el espolón (uñas) de las abejas sin aguijón.

Existen evidencias de que el uso de las tecnologías en comunicaciones inalámbricas que funcionan con frecuencias y radiaciones magnéticas como la telefonía celular, estas están interfiriendo con la capacidad de las abejas y otros insectos polinizadores estresándolos para orientarse adecuadamente rumbo a sus centros de recolección o guaridas, (Grille y Calviño, 2011). Otros estudios han encontrado evidencias de que la electro polución aun en períodos cortos de dos veces a la semana, al conectar el celular a las paredes de la colmena realizando llamadas de 15 minutos, el efecto toda la colonia, pero sobre todo influía negativamente en la postura de la abeja reina reduciendo la cantidad de huevecillos obreras y estimulando la postura de zánganos, lo que al final se traducía en un descenso de la población de la colonia afectada (Sharma y Kurma 2010).

De acuerdo a Warnke (2007), las abejas tienen capacidad para adaptarse a los cambios magnéticos siempre que los cambios sean estables durante más tiempo. Ya que memorizan la topografía del terreno donde vuelan con ayuda del campo magnético y esta información es útil cuando esta nublado y el sol permanecen oculto. Si el campo magnético está en continuo cambio se hace imposible el aprendizaje para las abejas; dicha situación es la que afecta a las abejas debido a que las ondas de radio generadas por los sistemas de telecomunicaciones hacen que el ambiente cambie constantemente día y noche. Además este autor menciona que en Alaska el ejército de la Marina de Estados Unidos instalo 180 torres conformando el sistema de antenas emisor más potente sobre la tierra; este sistema es capaz de comunicarse con submarinos en las profundidades del océano y de escanear el horizonte como un potente radar terrestre.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Las frecuencias emitidas por estas antenas inducen una turbulencia iónica que provocan campos magnéticos artificiales que interfieren con el terrestre. Este fenómeno enmascara los efectos naturales del sol sobre la ionosfera y las abejas pierden una referencia importante.

Garza (2013), menciona que en México, aparentemente no existen investigadores que estén haciendo trabajos en electropolución, enfocados al colapso de las colonias de abejas, aunque si hay alarma entre los apicultores de diferentes regiones del país por las muertes o desapariciones registradas pero se desconocen las causas de este fenómeno. A diferencia de Guatemala y Brasil que si están asistiendo a los Estados Unidos de América a informarse para atender la situación. Es entonces indispensable determinar si la electropolución es un factor desorientador de abejas llevándolas a la muerte. El objetivo del presente estudio fue medir el efecto de las ondas de comunicación emitidas por las frecuencias de los celulares en el comportamiento de las abejas.

Materiales y Métodos

Localización

El experimento se efectuó en el Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Norte de Puebla (ITSSNP) localizado de Zacatlán, en la Sierra Norte de Puebla ubicado en las coordenadas 19.960195 de latitud y -97.968788 de Longitud con una altitud de 2104 mts.

El experimento se llevó a cabo en los jardines de dicho instituto debido a que se facilitó el seguimiento y control del experimento por la abundancia de flora que existe en el sitio, en especial de diente de león (*Taraxacum officinale*) y trébol blanco (*Trifolium repens*), ver figura 1, y que son visitadas por grandes cantidades de abejas obreras.

Figura 1 Flora Local: que se indica en el párrafo anterior (Izquierda Trebol blanco, Derecha diente de León) en los meses en que se desarrolló el experimento en el ITSSNP

Desarrollo del experimento

La selección de las abejas fue al azar, las cuales se atraparon con vasos de plástico, posteriormente se liberaron en un recipiente de plástico transparente de forma ovalada. En dicho recipiente, en una primera fase se colocó el celular con la antena hacia arriba (Figura 2) para obtener un mayor nivel de radiación (SAR por sus siglas en inglés), del mismo modo y en una segunda repetición con la antena hacia abajo para disminuir la intensidad de la radiación.

Figura 2 Desarrollo del Experimento 1 con las abejas capturadas expuestas a la radiación del celular

En la primera fase se tuvieron cinco repeticiones del experimento variando la cantidad de llamadas como se observa en la tabla 1. El celular permaneció con la antena expuesta directamente a las abejas. En el segundo experimento se repitió todo el procedimiento sin celular con las cinco abejas quienes permanecieron en la trampa durante los tiempos aproximados en que las abejas permanecieron en el primer experimento con el celular como se puede observar en la tabla 2. Cabe hacer mención que para cada repetición se capturaron abejas nuevas para disminuir el daño causado por la radiación y manejo. En total se hicieron 70 repeticiones con 350 abejas.

Descripción del experimento

El promedio de captura por cada grupo de abejas fue de cinco minutos, el tratamiento consistió en mantener a las cinco abejas en el recipiente ovalado junto con el celular y se aplicaba la llamada, desde el inicio de la primera llamada se procedía a registrar los tiempos y observar el comportamiento individual y colectivo de las abejas capturadas para también registrarlos.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

El celular que se utilizó en el experimento emite un SAR equivalente a 1,49 W/Kg (pijamasurf, 2014). Para seres humanos en Estados Unidos, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) establece como límite un valor de 1,6 W/Kg de impacto sobre 1 gramo de tejido. En Europa, la UE establece este mismo límite en un valor de 2 W/Kg, basándose en un impacto sobre 10 gramos de tejido (Fiorotto, 2013).

Tratamiento (Número de llamadas)	Con antena hacia arriba	Con antena hacia abajo	Sin Celular	Tiempos de exposición de las abejas al celular (minutos)
1	*	*	*	1
2	*	*	*	2
3	*	*	*	3
4	*	*	*	4
5	*	*	*	

Tabla 1 Tratamientos estudiados en el experimento con abejas.*Significativo al 0.05 de probabilidad

Análisis de los datos

Se utilizó el diseño estadístico completamente al azar y se analizó con el Statistical Analysis System (SAS) con el procedimiento ANOVA de los datos recolectados.

El Modelo completamente al azar es el que se utilizado para experimentar con las abejas. Y consistió en que en cada repetición se introducían cinco abejas y el tratamiento radicó en aplicar gradualmente llamadas de uno a cinco minutos como se puede observar en los tablas 2 y 3.

	Tratamiento	Número de Llamadas	Tiempo de la abeja en Cautiverio
	Tratamiento 1	1	Un minuto
	Tratamiento 2	2	Dos Minutos
	Tratamiento 3	3	Tres Minutos
	Tratamiento 4	4	Cuatro Minutos
	Tratamiento 5	5	Cinco Minutos

Tabla 2 Tratamientos con aplicación de llamadas estudiando el efecto SAR en las Abejas (primavera verano 2015)

	Tratamiento	Número de Llamadas	Tiempo de la abeja en Cautiverio
	Testigo 1	0	Un minuto
	Testigo 2	0	Dos Minutos
	Testigo 3	0	Tres Minutos
	Testigo 4	0	Cuatro Minutos
	Testigo 5	0	Cinco Minutos

Tabla 3 Tratamientos con cero llamadas o cero efecto del celular sobre la abejas testigos (primavera verano 2015)

Resultados y discusiones

El análisis de datos se hizo con un 95 % se certeza y de acuerdo al análisis de varianza y tukey ($\alpha_{0.05}$). Y se encontró que si hay un efecto negativo en el comportamiento de las abejas al tratar de comunicarse entre ellas y en ubicarse ya que el tiempo de escape de las abejas tiende a aumentar a medida que aumenta el tiempo de exposición a la radiación emitida por el celular, los resultados se presentan en el tabla 4.

Es importante mencionar que el celular emite mayor radiación del lado de atrás, ya que tiene la antena junto a la bocina, la menor emisión de radiofrecuencia se ubica del lado de la pantalla.

Tratamiento	Numero de abejas que estuvieron volando en la trampa durante el experimento	Tiempo de escape de las abejas al ser liberadas	Número de abejas estáticas
5 llamadas	1.0 ns	7.2 a	4.0
4 llamadas	0.7	**3.5 ab**	4.2
3 llamadas	1.0	2.5 b	4.0
2 llamadas	2.0	2.2 b	3.0
0 llamadas	1.7	1.7 b	3.2

Tabla 4 Tiempo de escape de la trampa de las abejas (Apis Melifera) sometida a la radiación de celular (primavera verano 2015)

A continuación se describen los resultados de cada experimento

Experimento 1

Una de las variables que se consideró en el experimento fue la de eliminar el sonido del celular debido a que las antenas de las abejas son altamente sensibles, siendo responsables del tacto, oído y olfato con órganos sensoriales, en forma pilosa y en placas o poros, con 3.000, por antena en la reina, 3 600 a 6 000 en la obrera y con 30 000 en el zángano (Padilla *et al*. 2007).

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

De acuerdo a Nashaat (2013), la perturbación de las abejas al intentar comunicarse, en condiciones de sonidos emitidos por los celulares, posiblemente se debe a que las abejas melíferas en condiciones naturales producen sonidos en frecuencia más bajas de alrededor de los 450 HZ, y con frecuencia de amplitud normalizada 0.0 a 0.4, pero cuando son perturbadas por las frecuencias de los celulares, sus sonido de comunicación aumenta a frecuencias de hasta 1.5 KHz y una intensidad amplitud de 0.7.

En el experimento, realizado en el ITSSNP, se observó que el efecto negativo de la radiación emitida por las llamadas al celular se presenta especialmente en el tiempo de escape de las abejas al ser liberadas de la trampa, este efecto lo encontramos desde la primera llamada que realizamos en que el tiempo de salida de la abeja aumentaba gradualmente y comenzaba a ser importante a partir de la cuarta llamada (ab).

En condiciones normales con cero llamadas (experimento dos), las abejas jamás presentaron el comportamiento anteriormente mencionado.

Dentro del experimento uno, aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas en las demás variables (permanecer estáticas o volando en la trampa), si se observó que el 22.4 % de las abejas presentaron un comportamiento especifico al estar expuestas a la antena del celular en la trampa, independientemente del número de llamadas había sujetos de prueba que perdían el equilibrio, el abdomen, parte de sus extremidades y una de sus alas la inclinaban hacia el celular.

El 12% perdía el equilibrio cayendo indistintamente al avanzar hacia uno de sus costados, y el último efecto secundario que se presentó en el 17.6 % de los casos fue cuando dos abejas se llegaban a encontrar a dos centímetros aproximadamente cerca del celular, estas cruzaban sus antenas y Warnke (2007), menciona que cuando esto ocurre es porque las abejas se comunican por medio de un intercambió eléctrico.

Si la abeja permanecía por un lapso de cuatro minutos o más expuesta a la radiación directa que emitía el celular (en la tapa posterior del mismo), las abejas tardaban más de siete minutos en salir de la trampa comparado con las que estuvieron tres minutos o menos expuestas a la radiación. Esto evidencia que las abejas al ser expuestas a la radiación de la telefonía móvil presentan un tiempo de tolerancia y resistencia a la radiación de tres minutos sin presentar signos evidentes de afectación.

La abeja que estuvo expuesta al celular con la antena hacia abajo tardaron en salir de la trampa en promedio seis minutos.

El tiempo de recuperación de las abejas atrapadas en el ITSSNP y expuestas a la radiación de frecuencia del celular fue semejante al que menciona Nashaat *et al*. (2013), quien estudio la respuesta de las abejas a la radiación emitida por celulares y un bloqueador de llamadas.

Para las llamadas de celular estudio 10 escalas de duración de las llamadas (0 a 30 cada tres minutos), determinando que durante los primeros 12 minutos la frecuencia emitida por las abejas era aparentemente normal, y que la misma se incrementaba a partir de los 15 minutos de exposición al celular hasta a los 19.16 minutos en que la frecuencia emitida por las abejas era 1.52 KHz lo que indicaba una alta perturbación en las abejas afectadas, determinado que el tiempo de recuperación de las abejas fue de 3.3 minutos.

Nashaat y sus colaboradores (2013), repitieron la experiencia pero con las abejas expuestas a la radiación emitida por el jammer (bloqueador de señales de celulares y GPS que transmite señales similares a las del teléfono móvil pero con mayor potencia de transmisión).

Las abejas comenzaron a producir sonidos con mayor intensidad y a frecuencias más altas después de un tiempo más corto que con teléfono móvil. Después de apagar el jammer, las abejas no volvieron a su caso normal hasta después de más de trece minutos para darse cuenta de que las olas de emisión ya no existían y porque el efecto del jammer es más dañino que el del teléfono móvil.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Determinando al final de los dos experimentos, que el tiempo necesario para que las abejas comiencen a ser afectadas depende esencialmente de la potencia de transmisión de la fuente de las ondas.

Experimento 2 (testigo)

Las abejas que fueron capturadas y que permanecieron en la trampa sin ser expuestas al celular (control), durante los mismos tiempos en que las abejas estuvieron con celular se comportaron diferente ya que aproximadamente dos abejas en cada muestra en promedio posaban en la trampa limpiándose las pata, las antenas, las alas y la lengua mientras que el resto volaba por la trampa y el promedio de escape de las cinco abejas fue de dos minutos máximo.

También se entrevistó en la Sierra Norte de Puebla a dos apicultores, Crescencio Galindo del municipio de Ixtacamaxtitlan y del municipio de Zacatlán a Norberto L. Vargas quienes manifiestan que el número de enjambres en el periodo de emigración han disminuido, coinciden que aproximadamente veinte años atrás era muy común ver enjambres en el verano buscando donde establecer su colmena, y era más fácil hacer crecer sus apiarios al atrapar esos enjambres.

Otro dato que aportan es que al haber instalado sus antenas de telefonía celular en sus viviendas cerca de los apiarios las abejas desaparecieron poco a poco o murieron y ahora solo cuentan con una sola colmena cuando hace unos diez años contaban con al menos diez colmenas. Warnke (2007), también expone el caso del investigador y apicultor Ferdinand Ruzicka quien menciona que observo marcado nerviosismo en sus colmenas y reducción de las colmenas sin causa aparente y salida de las abejas en invierno; todo ocurrió justo después de que instalaron antenas de telefonía móvil muy cerca de su apiario.

Se entrevistó al Ing. Marlon Quiroz de Desarrollo Rural del Distrito 02 Zacatlán quien menciona que los municipios más importantes en apicultura para este distrito son en primer lugar Tepetzintla; en menor medida Tepango, Ahuzatepec, Ixtacamaxtitlan Tetela y Tlamanca de Hernández.

Tepetzintla se caracteriza por ser una localidad de alta marginación y de difícil acceso con deficiente servicio de telefonía celular, lo que puede ser una razón por la cual estos municipios de Puebla no reportan reducciones o desaparición de apiarios, no obstante, se requiere comprobar dicho supuesto con nuevas investigaciones en dichos municipios aplicando una metodología que sume la experiencia empleada por Sharma y Kumar (2010) y Nashaat y sus colaboradores (2013).

Conclusiones y Recomendaciones

Se experimentó con las abejas nativas de la zona, al hacer los trabajos se fue conociendo un poco más sobre ellas en la región, identificando factores nuevos que brindan la oportunidad de hacer ensayos como es el caso de probar con una colmena, medir la radiación emitida por una antena de celular o probar el grado de magnetismo de las abejas.

Sin embargo, el factor tiempo invernal no lo permite. Hasta este punto se puede afirmar que la exposición prolongada a la radiación de un celular si puede modificar el comportamiento de las abejas desorientándolas y aunque estadísticamente no hay significancia si hay un 52 % de comportamientos adversos en las abejas que si estuvieron expuestas a la radiación del celular. Por ello, esperamos reforzar estas hipótesis con una segunda fase de este proyecto.

Se recomienda generar reservas geográficas alejadas de la electropolusión para proteger las abejas. Monitorear los niveles de radiación electromagnética cerca de apiarios y reservas ecológicas. Probar la antena para rechazar los niveles de radiación elevados. Evitar instalar antenas de telefonía celular cerca los apiarios. Referente al uso del celular se suguiere enviar mensajes o whatsapp para evitar generar radiación al realizar llamadas.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Referencias

Bravo, M. (2013). La orientación y la comunicación de las abejas. Revisado: 31 de octubre de 2015. De: https://www.google.com.mx/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=la%20orientacion%20y%20la%20comunicacion%20de%20las%20abejas

Córdoba Aguilar, Aleandro (2014). En aumento, el colapso de la colmena. Revisado: 14 de octubre de 2018. En: http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2014_314.html

Darci M. S. Esquivel, Eliane Wajnberg, Léa J. El-Jaick,Daniel Acosta-Avalos, Marília P. Linhares (2000). Efectos del campo geomagnético en insectos sociales. Revisado: 24 de junio de 2016. En: http://www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen3/numero2/articulos/articulo5.html

Díaz Meraz, Ricardo Andrés (2015). Efecto de seis plaguicidas sobre mortalidad en dos especies de abejas: Apis mellifera y Tetragonisca angustula (Hymenoptera: Apidae). Revisado: 14 de octubre de 2018. En: https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4576/1/CPA-2015-029.pdf

Fiorotto, Andrés (2013). Cuanta radiación emiten los smartphones actuales. Revisado: 12 de Julio 2016. En: http://www.redusers.com/noticias/cuanta-radiacion-emiten-los-smartphones-actuales/

Galeana R., A. 2015. Parasitosis de las abejas melíferas (acarapis, nosema y varroa) en función de las condiciones climáticas: Caso del Estado de Morelos. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias. Universidad Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México.

Garza A., V. (1 de abril de 2013). Colapso de las colonias de abejas. Revisado: 18 de noviembre de 2015. In: http://www3.colech.edu.mx/ObservatorioAmbiental/Documents/Hojas%20T%C3%A9cnicas/HT_No.1.pdf

Guajardo, D. (2009, Diciembre 16). Factores de estrés en apicultura. Revisado: 31 de octubre de 2015. De: http://www.diariodelagro.cl/5255/factores-de-estres-en-apicultura.

Grille Adriana, Calviño María (2011). Factores de estrés en apicultura. Revisado: 12 de Julio 2016. En: http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/7554/articulos-otros-temas-archivo/factores-de-estres-en-apicultura.html

Infosiap.Siap (2015). Producción agrícola 2015. Ciclo: Cíclicos y Perennes 2015. Revisado: 12 de Julio 2016. En: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/

Jaramillo Villanueva José Luis (2015). Estudio estrategico. Evaluación y Determinación de la Escala. Mínima Rentable, de Unidades Productivas para Emprendedores en el Campo Poblano. Revisado: 31 de octubre de 2015. http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/puebla/Documents/Difusi%C3%B3n/TAMA%C3%91O_M%C3%8DNIMO_RENTABLE-Puebla.pdf

Johnson Renée 2010. Honey Bee Colony Collapse Disorder, Congressional Reseach Service, CRS Report for Congress, www.crs.gov, USA, RL33938

Nashaat El Halabi, Achkar Roger, Gaby Abou Haidar. 2013. The Effect of Cell Phone Radiations on the Life Cycle of Honeybees, ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/246044829

Padilla A. F., Flores S. J. M., Pérez R. A.J. 2007. Los órganos de los sentidos de las Abejas (I): Ojos y Antenas. El Colmenar, n 87 julio-septiembre de 2007, Vigo, España.

Pijamasurf.com (2014). Estos son los teléfonos celulares que emiten más y menos radiación (LISTA ACTUALIZADA 2014). Revisado: 12 de Julio 2016. En: http://pijamasurf.com/2014/06/estos-son-los-telefonos-celulares-que-emiten-mas-y-menos-radiacion-lista-actualizada-2014/

Quero, A. (Julio de 2004). Las abejas y la Apicultura. Revisado: 14 de diciembre de 2015. En: http://www.mieldemalaga.com/data/Las_abejas_y_la_apicultura.pdf

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Sharma V. P., Kumar N.R. 2010. Changes in honeybee behaviour and biology under the influence of cellphone radiations. Current Sciencie, Vol. 98, No. 10, p 1376-1378. May 2010. USA

Ruiz, Irune (2011). Contaminación Electromagnética. Revisado: 14 de octubre de 2018. En: http://www.apdr.info/electrocontaminacion/Documentos/Artigos/CEM_Irune_2011.pdf

Teca-Fao (2010). La guía práctica sobre el manejo técnico de colmenas. Tecnologías y practicas para pequeños productores agrarios (TECA), FAO. Revisado: 31 de octubre de 2015. De: http://teca.fao.org/sites/default/files/resources/manejocolmenas.pdf

Van Engelsdorp Dennis, Evans Jay D, Saegerman Claude, Chris Mullin, Eric Haubruge, Bach Kim Nguyen, Maryann Frazier, Jim Frazier, Diana Cox-Foster, Yanping Chen, Robyn Underwood, David R. Tarpy, and Jeffery S. Pettis. 2009. Colony Collapse Disorder: A Descriptive Study PLoS One. 2009; 4(8): e6481. Justin Brown, Editor. Published online 2009 Aug 3. doi: 10.1371/journal.pone.0006481 PMCID: PMC2715894

Valega, O. (2009, Marzo 17). Estrés en las Abejas. Revisado: 31 de octubre de 2015. De: http://www.apiservices.com/articulos/estres_abejas.htm

Verde, M (2010). Síndrome del desorden del colapso de las colmenas (DCC). Revisado: 13 de mayo de 2017. En: http://www.actaf.co.cu/revistas/Revista%20ACPA/2010/REVISTAS%2003/20%20SINDROME%20DEL%20DESORDEN.pdf.

Warnke, Ulrich (2007). ABEJAS, AVES Y HOMBRES La destrucción de la naturaleza por la contaminación electromagnética. Revisado: 14 de diciembre de 2015. En: http://www.avaate.org/IMG/pdf/definitivoki_bienenbroschuere_ spanisch_screen.pdf.

Watson Kelly and Stallins J. Anthony. 2016. Honey Bees and Colony Collapse Disorder: A Pluralistic Reframing. Geography Compass 10/5 (2016): 222–236, 10.1111/gec3.12266, www.researchgate.net/publication/302065482.

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Artículo **Revista de Tecnologías en Procesos Industriales**
Diciembre 2018 Vol.2 No.5 16-23

Modelo conceptual de gestión para la trazabilidad en la Industria Acuícola de Pequeña Escala

Conceptual management model for traceability in the Small-Scale Aquaculture Industry

VILLALOBOS-GÓMEZ, Joel Alejandro†*, VERDUZCO-RAMÍREZ, Jesús Alberto, GARCÍA-DÍAZ, Noel y OLIVO-GUTIÉRREZ, Mauricio

Instituto Tecnológico de Colima; División de Estudios de Posgrado e Investigación

ID 1er Autor: *Joel Alejandro, Villalobos-Gómez* / **Researcher ID Thomson:** P-1350-2018, **CVU CONACYT ID:** 783359

ID 1er Coautor: *Jesús Alberto, Verduzco-Ramírez* / **ORC ID:** 0000-0001-5041-3741, **CVU CONACYT ID:** 256074

ID 2do Coautor: *Noel, García-Díaz* / **CVU CONACYT ID:** 292758

ID 3er Coautor: *Mauricio, Olivo-Gutiérrez* / **Researcher ID Thomson:** P-1881-2018, **CVU CONACYT ID:** 783367

Recibido: Septiembre 25, 2018; Aceptado: Diciembre 04, 2018

Resumen

En esta investigación, se desarrolló un modelo de gestión para la trazabilidad acuícola de pequeña escala, para la implementación de la norma ISO 16741:2015 y las recomendaciones del manual de buenas prácticas de producción acuícola, con el cual, llevar a cabo un registro histórico desde la preparación del terreno hasta su cosecha; permitiendo la capacidad de reconstrucción del historial de la producción de cada lote de los ciclos de cultivo, además del monitoreo y manejo de estanques en la granja. El sistema fue desarrollado apegado a la norma para la trazabilidad de productos de crustáceos, bajo el esquema de la metodología de enfoque tradicional. El presente trabajo, expuso que el correcto seguimiento de este modelo de gestión, permite la adecuada toma de decisiones con base en la información obtenida del conjunto de un sistema de monitoreo de calidad del agua y un sistema de información para el registro de eventos de trazabilidad, dejando claro que, para garantizar la inocuidad y calidad óptima de los productos alimenticios, es necesario que las empresas que los producen, cuenten con las herramientas tecnológicas que les permita mantener un ciclo de mejora continua.

Acuicultura, Colima, Trazabilidad

Abstract

In this paper, a management model was developed for small-scale aquaculture traceability, for the implementation of the ISO 16741:2015 standard and the recommendations of the manual of good aquaculture production practices, with which, to carry out a historical record from the preparation of the pond to its harvest; allowing the capacity to reconstruct the production history of each batch of the cultivation cycles, as well as the monitoring and management of ponds on the farm. The system was developed in accordance with the standard for the traceability of crustacean products, under the traditional approach methodology. The present work, exposed that the correct follow-up of this management model, allows the appropriate decision making based on the information obtained from the set of a water quality monitoring system and an information system for the registration of traceability events, making evident that, to guarantee the safety and optimal quality of the food products, it is necessary that the companies that produce them, have the technological tools that allow them to maintain a cycle of continuous improvement.

Aquaculture, Colima, Traceability

Citación: VILLALOBOS-GÓMEZ, Joel Alejandro, VERDUZCO-RAMÍREZ, Jesús Alberto, GARCÍA-DÍAZ, Noel y OLIVO-GUTIÉRREZ, Mauricio. Modelo Conceptual de Gestión para la Trazabilidad en la Industria Acuícola de Pequeña Escala. Revista de Tecnologías en Procesos Industriales. 2018, 2-5: 16-23

*Correspondencia al Autor (joelvillalobosgomez@gmail.com)
† Investigador contribuyendo como primer autor.

© ECORFAN-Taiwan

Introducción

De acuerdo con Montero Rodríguez (2013) del Departamento de Pesca y Acuicultura de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en ingles), se considera a la pesca y la acuicultura, parte esencial del quehacer económico y social del país, y la acuicultura representa una alternativa real para ampliar la oferta alimentaria, contribuyendo en la generación de divisas y fuentes permanentes de empleo.

Esto es acorde con las cifras del censo económico más reciente realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015), donde se muestra que, en la actualidad se cuenta con más de 500 granjas operando en México, en las cuales la industria de la camaronicultura (cultivo de camarones) obtuvo una producción bruta total equivalente a USD$196.67 millones, siendo el estado de Colima participe con el 2.15% en esta actividad.

Sin embargo, por parte del Instituto Nacional de la Pesca, se menciona que en México los cultivos acuícolas presenta graves deficiencias que hay que subsanar para incrementar la eficiencia en la producción, debido a falta de información fidedigna y confiable que permita identificar en detalle los problemas que enfrentan los técnicos en el manejo de las diferentes etapas del ciclo de cultivo, además de la falta capacitación y adiestramiento de los técnicos y directores, ya que la mayoría de ellos provienen de carreras técnicas generales, en las que los temas de acuicultura son deficientes y carecen de los conocimientos básicos para entender los procesos que la rigen (Chávez Sánchez, s.f.).

Estos procesos en la acuicultura se componen de eventos que forman la trazabilidad, la cual es definida por la Organización Internacional de Normalización (ISO, 2007) en su norma 22005, como la capacidad de seguir el recorrido de un alimento a través de las etapas especificadas de producción, procesamiento y distribución.

De acuerdo con Loubet y Valadés (2010), esta iniciativa fue propuesta por la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS) ante la cantidad de personas que a nivel mundial han sufrido Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA) provocadas debido al consumo de productos contaminados, que de acuerdo con la OMS (2017), se estima que alrededor de 420,000 personas mueren en el mundo cada año por patógenos y sustancias químicas como plaguicidas, fertilizantes químicos, micotoxinas, antibióticos, dioxinas, hidrocarburos, biotoxinas marinas y metales pesados.

Es por lo anterior, que la trazabilidad como una forma de identificar y controlar el manejo de información sobre salud animal y las enfermedades infecciosas, se ha vuelto cada vez más importante considerando la formalización de los mercados, y los requerimientos de la agroindustria y elaboración de alimentos a lo largo de toda la cadena productiva.

Observados los hechos presentados previamente, muchos países se han visto obligados a adoptar nuevos protocolos, normas, políticas y estrategias para fomentar las buenas prácticas en la trazabilidad de producción de alimentos y garantizar la aplicación de medidas de bioseguridad (uso seguro de los recursos biológicos y genéticos) que resulten en la obtención de productos inocuos. Lo que ha derivado en diversas investigaciones alrededor del mundo, que se han realizado con el objetivo de mejorar la fiabilidad de la información generada con los procesos de las diferentes cadenas productivas, en los que la trazabilidad es un tema importante principalmente para la seguridad alimentaria, como son los casos de Qiao, Wei y Yang (2013); Anuli y Fokum (2016) que desarrollaron sistemas para trazabilidad en la cadena productiva de vegetales; N. Binti y R. Binti (2016) que presentaron un software de línea de producto basado en un modelo de seguimiento de documentos de la industria alimenticia; Teng, Brown, Caro, Nielsen y Wells (2012); Yangqing, Lianming, Hua y Hui (2008); Piplani et al. (2015) que desarrollaron un software para la trazabilidad de la producción de ganado bovino, porcino y de camarón respectivamente.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

No obstante, adoptar estándares en los procesos de cultivos acuícolas manifiesta resistencia por parte de los productores de pequeña escala en Colima, México; los cuales prefieren continuar con sus procesos habituales, debido a la ausencia de canales comerciales o incentivos que respalden mantener un certificado de calidad, al no contar con ventajas comerciales tangibles sobre los productores no certificados.

Esto resulta contrastante con lo establecido en el plan estatal de desarrollo 2016-2021, el cual señala que algunos de los obstáculos para el crecimiento del campo colimense son: el poco avance tecnológico y de investigación, la nula transferencia de la investigación a la práctica en cultivos, gestión post-cosecha, comercialización, baja utilización de las tecnologías de información, y la falta de establecimientos con normas y reglamentos para el empaque que requiere el mercado internacional; algo muy relacionado a lo mencionado por Rodríguez Vázquez y Flores-Nava (2013) en su investigación.

En este trabajo de investigación, se realizó un modelo de gestión acuícola de pequeña escala para la implementación de la norma ISO 16741 para la trazabilidad de los productos crustáceos emitida por la ISO (2015) en combinación con el manual de buenas prácticas del manejo para el cultivo del camarón blanco elaborado por Cuéllar, Lara, Morales, De Gracia y García (2010); siendo elegida esta norma por ser adecuada para el propósito del proyecto, ya que su esquema especificado, si bien está construida en conformidad con la norma 22005:2007, esta no exige una trazabilidad perfecta, es decir, solo requiere que un producto minorista particular pueda ser rastreado hasta una incubadora o granja, y lote de origen.

El uso general de este modelo en las granjas ubicadas en el litoral de la laguna de Cuyutlán, Colima; no implica el desembolso monetario que involucra la obtención de una certificación de calidad por parte de los productores, y a su vez, permite concientizarlos sobre el uso de buenas prácticas en la producción de cada lote, en cada ciclo de cultivo, para garantizar la inocuidad del producto final.

A su vez, mantener un registro detallado de los eventos generados durante el ciclo de cultivo, permite la correcta toma de decisiones, lo cual repercute en un aumento de productividad, obteniendo de esta forma mejores resultados en la cosecha, y por consecuencia, un crecimiento económico.

Metodología

Para comprobar la hipótesis efectuada, se realizó un proyecto piloto en la granja de camarones de la empresa Productora y Comercializadora Agrícola, Ganadera y Acuícola Hueso S.P.R., ubicada en Manzanillo, Colima; con latitud 19.012992 y longitud -104.225171; esta granja se compone de once estanques de producción tal como se muestra en la figura 1.

La primera etapa de este desarrollo consistió en una revisión de la literatura acerca de los temas pertinentes respecto a la inocuidad en la cadena productiva de alimentos, como son la importancia de los sistemas de trazabilidad en cualquier ámbito productivo. Con base en el análisis de los elementos revisados y las necesidades expresadas por los productores, se identificó que lo más conveniente era conseguir implantar un modelo de gestión que no implicara en principio, la adopción de todos los requisitos establecidos en la norma, pero sin perder el objetivo de lograr conseguir las garantías de inocuidad demandadas por los mercados internacionales.

Figura 1 Vista aérea de los estanques de producción acuícola. Obtenido de Google maps

Para el diseño de este modelo se utilizó una metodología de enfoque tradicional, debido a que en el ámbito industrial son bastante habituales y acorde a lo mencionado por Špundak (2014), los requisitos del cliente deben ser claros y bien definidos, antes de llevar a cabo cualquier planificación.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Esta metodología consiste en dividir el proyecto en diferentes procesos que se ejecutan de forma secuencial hasta conseguir los objetivos del proyecto.

Estos cinco procesos como se muestra de forma gráfica en la figura 4 son:

- Inicialización: contempla la definición del proyecto y su aprobación.
- Planificación: se analizan las etapas necesarias del proyecto.
- Ejecución: se lleva a cabo la realización de las tareas planificadas.
- Seguimiento y control: se supervisa las tareas ejecutadas y se comparan con la planificación, tomando las medidas pertinentes en caso de desviaciones.
- Cierre: Se finaliza el proyecto al alcanzar los objetivos.

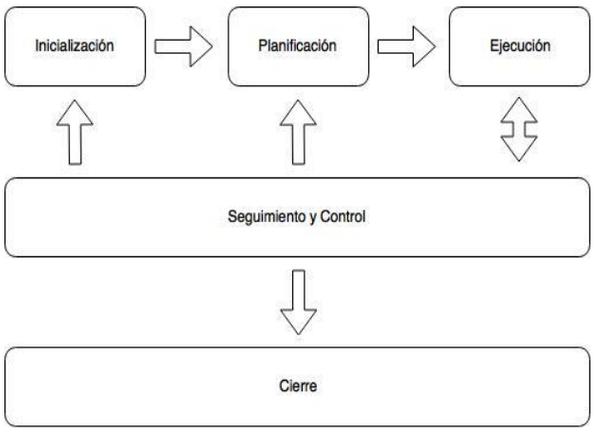

Figura 2 Procesos de una metodología con enfoque tradicional

Finalmente, el resultado fue la Implementación del modelo de gestión, el cual requirió del uso de un sistema para el monitoreo de los parámetros de calidad del agua (en adelante denominado SIMO), y un sistema de información para la trazabilidad desarrollado a medida de este proyecto (en adelante denominado SIT).

Esto permitió realizar las modificaciones necesarias en hardware y software para lograr el objetivo planeado.

Desarrollo

Inicialización

La formalización de este proyecto se realizó en primera instancia, a través de un requerimiento por parte de los productores de camarón al Instituto Tecnológico de Colima, para desarrollar un SIMO que les permitiera automatizar la supervisión de la calidad del agua en los estanques; sin embargo, se consideró que este propósito podía extender su alcance al desarrollar en paralelo un SIT, en el que además de visualizar los valores registrados por el SIMO, se pudiera llevar un registro de los eventos ocurridos durante cada ciclo de cultivo de camarones.

Una vez acordado el alcance del proyecto, y tras la aprobación de todas las partes interesadas, se continuó con la fase de planificación.

Planificación

Como se mencionó anteriormente en este documento, era necesario que el proyecto iniciara solamente con los requerimientos esenciales que exigen los mercados internacionales para garantizar la inocuidad del producto final, con el objetivo de que la inversión en infraestructura y logística requerida para cumplir con los requisitos de la norma ISO 16741, transcurriera de forma progresiva. Tal como se muestra en la información de la tabla 1, los requisitos requeridos implican el uso de una logística compleja, por lo cual, se decidió que el proyecto debía irse adaptando conforme al crecimiento económico y productividad de la empresa.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Etapas del cultivo de camarón / Requisitos ISO 16741:2015	Identificación de lotes	Eventos durante el cultivo	Proveedores de crías	Incubadoras	Granjas acuícolas	Procesadoras	Transportes y operadores de almacén	Comerciantes y mayoristas	Comercios y catering	Entrada de materiales externos	Productores de alimento
Preparación de los estanques	■				■					■	
Siembra en el estanque	■		■	■	■						
Manejo de alimentos	■	■			■						■
Manejo de calidad del agua	■	■			■					■	
Manejo de enfermedades	■	■			■					■	
Uso de medicamentos, productos químicos y biológicos	■	■			■					■	
Manejo de desechos domésticos					■						
Bioseguridad	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cosecha	■				■	■	■	■	■		

Tabla 1 Matriz de trazabilidad de las etapas de cultivo respecto a los requisitos del estandar ISO 16741:2015

Una vez establecidos los requisitos, se acordó que el proyecto debía supervisarse de forma interna por parte del Instituto Tecnológico de Colima, en lo que corresponde a los requerimientos funcionales y no funcionales para el desarrollo de los prototipos de hardware y software; y la supervisión externa se llevaría a cabo por parte del productor, para corroborar el funcionamiento adecuado del proyecto en la etapa de pruebas.

Ejecución

Con base en lo planificado, se diseñaron los diagramas de actividades a realizar en cada lote durante las etapas del ciclo de cultivo; en estos se muestra la secuencia de eventos que se acordó con el productor para realizar, sin excepciones, el registro en el SIT.

En las figuras 3 a 7, se muestra algunos de las actividades que integran esta primera etapa de del proyecto, pues debido a los requerimientos que este tiene, era primordial iniciar con el registro de datos referentes a la trazabilidad interna.

La implementación del proceso para el registro de los valores obtenidos en el manejo de calidad del agua, se produjo de forma automática a través del SIMO, mientras que para el resto de los procesos se requirió la intervención por parte del administrador y técnicos de la granja, para alimentar el SIT.

Preparación del terreno

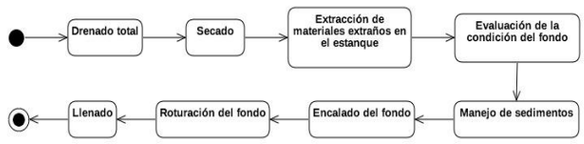

Figura 3 Diagrama de actividades para la preparación del terreno

Siembra

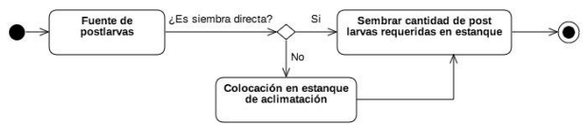

Figura 4 Diagrama de actividades para la siembra de post-larvas

Manejo de tratamientos durante el cultivo

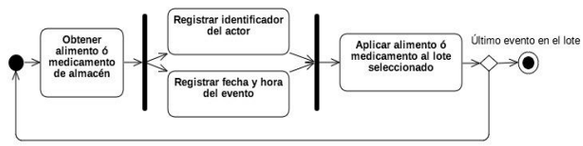

Figura 5 Diagrama de actividades en el manejo de alimentación o medicación

Monitoreo de parámetros de calidad del agua

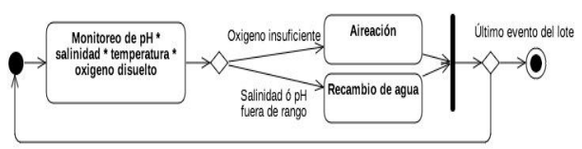

Figura 6 Diagrama de actividades en el manejo de calidad del agua

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Manejo durante la cosecha

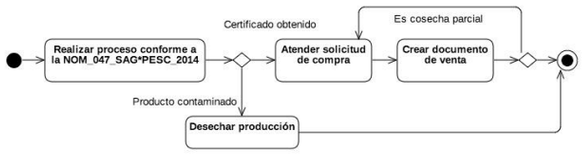

Figura 7 Diagrama de actividades en el manejo de la cosecha

Seguimiento y control

Al igual que en el proceso de ejecución, para el seguimiento y control se utilizaron los datos adquiridos por el SIMO y el SIT, como se muestra en las figuras 8 y 9. Esto sirvió para darse cuenta de que debían realizarse ciertos ajustes al software y a la ubicación de los sensores en el estanque, como son los hechos de que un solo estanque o lote podía tener cosechas parciales dependiendo de la demanda, o que, al estar los sensores en uno de los extremos del estanque, los valores no correspondían con el valor registrado de oxígeno disuelto en el otro extremo.

Figura 8 Prototipo de sensores para el monitoreo de la calidad del agua

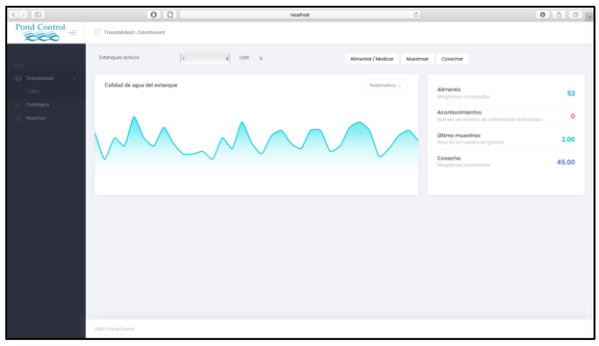

Figura 9 Sistema de información para la trazabilidad de los procesos de cultivos acuícolas

Además de lo anterior, y a pesar de que se tenía una muestra relativamente pequeña, los datos obtenidos permitieron observar una relación entre la temperatura del agua y la alimentación, lo cual impacta directamente en la productividad. Esto originó cambios en el itinerario, modificando con base en la temperatura registrada, los eventos de alimentación.

Cierre

Para este caso de uso, el proyecto se concretó satisfactoriamente obteniendo los resultados esperados. El SIMO se mantuvo estable, enviando al sistema de información los valores obtenidos de pH, temperatura, salinidad y oxígeno disuelto cada 30 minutos; y en lo que respecta al registro de eventos de trazabilidad, tanto el administrador como los técnicos que operan la granja acuícola, alimentaron el SIT, cada quien con su alcance autorizado correspondiente.

En la figura 10, se muestra el modelo conceptual de gestión para la trazabilidad acuícola de pequeña escala. Se puede observar de forma clara, cada etapa a implementar para cumplir con la norma ISO 16741, permitiendo a cada productor la flexibilidad de ejecutar los módulos conforme a la prosperidad de la empresa y las asociaciones convenientes para cumplir los requisitos establecidos.

Como se observa, el modelo está conformado por cuatro etapas, siendo la primera, una etapa clave representada por un recuadro de línea simple, en la cual, es el nivel de administración donde se toman todas las decisiones, auxiliado por el nivel de operaciones; el nivel de procesos, representado por recuadros de líneas truncas, concentra los tres ámbitos de trazabilidad, abarcando casi en su totalidad lo que implica la norma ISO 16741, ya que se registra la información solicitada de los requisitos: información de la granja, proveedor de crías, productor de alimento, identificación de lotes, registro de eventos, comerciantes y mayoristas. Las etapas dos, tres y cuatro representadas por recuadros de líneas punteadas interpretan los procesos futuros a implementar, siendo la etapa dos un ciclo de gestión y mejora continua (análisis, mejora, resultados) aplicables al resto de las etapas; y la etapa tres y cuatro el complemento de requisitos exigidos en la norma.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

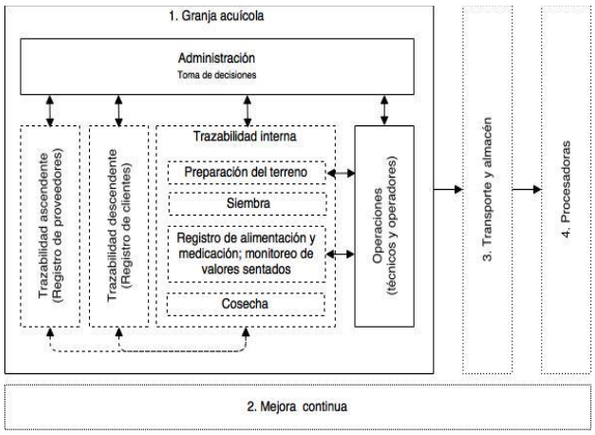

Figura 10 Modelo conceptual de gestión para la trazabilidad acuícola de pequeña escala

Conclusiones

El presente trabajo demuestra que llevar un modelo de gestión para la trazabilidad, permite mantener un entorno de fácil acceso a la información, que facilita la adecuada toma de decisiones para conseguir una producción confiable, en este caso, del cultivo de camarón.

Queda claro que, para garantizar la inocuidad y calidad óptima de los productos alimenticios, es necesario que las empresas que los producen cuenten con herramientas, como las utilizadas en este desarrollo, para proporcionar a productores y consumidores, información certera de todas las actividades involucradas en los procesos del cultivo.

Para continuar con el trabajo, se debe medir a mediano plazo el impacto en la productividad con el uso de estas herramientas, manteniendo un ciclo de mejora continua a través de la identificación de eventos relacionados que perjudiquen o beneficien la producción, con el objetivo de determinar las condiciones adecuadas a establecer en cada cultivo.

Agradecimiento

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo económico otorgado, al Instituto Tecnológico de Colima por las facilidades otorgadas en el uso de sus instalaciones y al personal docente por su disposición y apoyo para el desarrollo de este proyecto.

Referencias

Anuli, S. A. A., & Fokum, D. T. (2016). Implementation of an internal food traceability application for local farmers in Jamaica. Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON, 2016–July. https://doi.org/10.1109/SECON.2016.7506690

Binti Azram, N. A. & Binti Atan, R. (2016). SPL-based traceability model for food document tracing. 2015 9th Malaysian Software Engineering Conference, MySEC 2015, 212–216. https://doi.org/10.1109/MySEC.2015.7475223

Chávez Sánchez Ma. Cristina. (n.d.). LA NUTRICION Y ALIMENTACION EN LA ACUICULTURA DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE. Recuperado de http://www.fao.org/3/contents/cd26ac74-2575-57dd-bad7-0c901f4a25d/AB487S10.htm

Cuéllar, J., Lara, C., Morales, V., De Gracia, A., & García, O. (2010). MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANEJO PARA EL CULTIVO DEL CAMARÓN BLANCO Penaeus vannamei. Panamá: New Concept Publications, Inc. Recuperado de http://www.fec-chiapas.com.mx/sistema/biblioteca_digital/camaroncultivo.pdf

INEGI. (2015). Resultados definitivos. Censos Económicos 2014, 62. https://doi.org/978-989-25-0181-9

ISO. (2007). ISO 22005:2007(es), Trazabilidad en la cadena de alimentos para alimentación humana y animal — Principios generales y requisitos básicos para el diseño e implementación del sistema (1st ed.). Recuperado de https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:22005:ed-1:v1:es

ISO. (2015). ISO 16741:2015(en), Traceability of crustacean products — Specifications on the information to be recorded in farmed crustacean distribution chains (1st ed.). Recuperado de https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16741:ed-1:v1:en

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Loubet, R., & Valadés, J. (2010). Pesca y competitividad internacional: un desafío para Sinaloa. Revista Arenas, 25, 97–114. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/283708167_Pesca_y_competitividad_internacional_un_desafio_para_Sinaloa

Montero Rodríguez, M. (2013). FAO Fisheries & Aquaculture - Visión general del sector acuícola nacional - México. Recuperado de http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_mexico/es

OMS. (2017). OMS | Inocuidad de los alimentos. Recuperado de http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs399/es/

Piplani, D., Singh, D. K., Srinivasan, K., Ramesh, N., Kumar, A., & kumar, V. (2015). Digital Platform for Data Driven Aquaculture Farm Management. In Proceedings of the 7th International Conference on HCI, IndiaHCI 2015 - IndiaHCI'15 (pp. 95–101). New York, New York, USA: ACM Press. https://doi.org/10.1145/2835966.2836277

Qiao, S., Wei, Z., & Yang, Y. (2013). Research on vegetable supply chain traceability model based on two-dimensional barcode. Proceedings - 6th International Symposium on Computational Intelligence and Design, ISCID 2013, 1, 317–320. https://doi.org/10.1109/ISCID.2013.86

Rodríguez Vázquez, H., & Flores-Nava, A. (2013). Acuicultura de pequeña escala y recursos limitados en América Latina y el Caribe. Hacia un enfoque integral de las políticas públicas. Santiago de Chile: FAO / Red de Acuicultura de las Américas. Recuperado de http://www.fao.org/3/a-i3623s.pdf

Špundak, M. (2014). Mixed Agile/Traditional Project Management Methodology – Reality or Illusion? Procedia - Social and Behavioral Sciences, 119, 939–948. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.105

Teng, C. C., Brown, K., Caro, C., Nielsen, W., & Wells, J. (2012). A service oriented livestock management system using occasionally connected mobile-cloud architecture. SysCon 2012 - 2012 IEEE International Systems Conference, Proceedings, 260–264. https://doi.org/10.1109/SysCon.2012.6189532

Yangqing, Z., Lianming, Z., Hua, L., & Hui, Y. (2008). Design of pork traceability information system. Proceedings - International Symposium on Computer Science and Computational Technology, ISCSCT 2008, 1, 459–462. https://doi.org/10.1109/ISCSCT.2008.261

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Artículo **Revista de Tecnologías en Procesos Industriales**
Diciembre 2018 Vol.2 No.5 24-36

Optimización de la distribución de hielo de una empresa Hidalguense en el Estado de México

Product distribution optimization of an Hidalgo's small ice factory in the State of Mexico

PÉREZ-RAMÍREZ, Carlos Manuel†* & RUIZ-ESCAMILLA, Pedro César

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Pachuca

ID 1er Autor: *Carlos Manuel, Pérez-Ramírez* / **ORC ID:** 0000-0002-3544-9073, **Researcher ID Thomson:** P-2410-2018, **CVU CONACYT ID:** 931752

ID 1er Coautor: *Pedro César, Ruiz-Escamilla* / **ORC ID:** 0000-0002-8759-0124, **Researcher ID Thomson:** P-1986-2018, **arXiv Autor ID:** clucker92

Recibido: Septiembre 27, 2018; Aceptado: Diciembre 06, 2018

Resumen

Para minimizar la distancia total que recorre un vehículo repartidor de bolsas de hielo a un máximo de 40 clientes de una amplia zona geográfica, se ha construido un modelo de Programación Lineal Entera Binaria en una aplicación de hoja de cálculo cuyo optimizador determina el orden de visita a cada uno. El problema se modela como un gráfico dirigido en el que los nodos son los clientes y los arcos son la red de carreteras que los une: como el nodo de partida y terminación de la ruta es la planta en la que se fabrica y embolsa el hielo, y cada nodo se visita exactamente una vez, la estructura corresponde al denominado Problema del Agente Viajero Asimétrico. Al ser un total de cuarenta clientes se ha elaborado un modelo de 41 nodos que se utiliza como plantilla para resolver la red de aproximadamente veinte sitios a visitar en cada ocasión. El ahorro esperado en la distancia recorrida por viaje es del 9%, estimado de una muestra de recorridos basados en la experiencia del chofer. En un segundo modelo se obtiene la ruta de mínimo tiempo de recorrido, con un ahorro del 13%.

Optimización, Transporte, Agente via-jero

Abstract

To minimize the total distance traveled by a delivery vehicle of ice bags to a maximum of 40 customers in a wide geographical area, a binary integer linear programming model has been built in a spreadsheet application whose optimizer determines the order to visit each client. The problem is modeled as a directed graph in which the nodes are the customers and the arcs are the road network that connects them: as the starting and ending node of the route is the plant where the ice is manufactured and bagged, and each node is visited exactly once, the structure corresponds to the so-called asymmetric traveler salesman problem. With a total of forty customers, a model of forty-one nodes has been developed and used as a template to solve the network of approximately twenty customers to visit each time. The expected savings in distance traveled on a given route is around 9%, estimated from a sample of tours based on the driver's experience. In a second model the route of minimum travel time is obtained, with a similar savings (13%).

Optimization, Transportation, Traveling-salesman

Citación: PÉREZ-RAMÍREZ, Carlos Manuel & RUIZ-ESCAMILLA, Pedro César. Optimización de la distribución de hielo de una empresa hidalguense en el Estado de México. Revista de Tecnologías en Procesos Industriales. 2018, 2-5: 24-36

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: cperez@itpachuca.edu.mx)
† Investigador contribuyendo como primer autor.

© ECORFAN- Taiwan

Introducción

Una de las causas de ineficiencias administrativas y operativas de las micro, pequeñas y medianas empresas mexicanas es el bajo o nulo nivel de utilización de procedimientos, métodos y técnicas desarrollados por la ciencia y cuya eficiencia ya ha sido comprobada en la práctica.

La Programación Lineal (PL) es una de las ramas del campo científico conocido como Investigación de Operaciones y que se encarga de construir modelos matemáticos para diversas clases de problemas de optimización, así como de desarrollar y programar en computadora los algoritmos que los resuelvan.

En este artículo se reporta la implantación exitosa en hoja de cálculo de un modelo de PL para encontrar la ruta de mínima distancia (o, alternativamente, de mínimo tiempo de recorrido) para el reparto de bolsas de hielo que un día a la semana realiza la empresa Mr. Hielo a clientes del Estado de México (EdoMex) por vía terrestre en un camión, implicando ahorro en el gasto de combustible, contaminación, mantenimiento del vehículo y tiempo de recorrido, principalmente; además, haría posible aumentar el número de clientes a atender cada vez. Mr. Hielo tiene en total cuarenta clientes en el EdoMex, pero solamente un subconjunto de ellos –no siempre el mismo– es el que cada semana le requiere el producto y, generalmente, le es imposible satisfacer a todos ellos en un día de trabajo. Actualmente la empresa no puede dedicar otro día a estos clientes por razones de atención a sus demás compradores y también económicas (por uno, dos o tres clientes a los que no haya podido entregar la mercancía no le conviene enviar el camión al siguiente u otro día de la misma semana).

El modelo corresponde a la clase conocida como *Problema del Agente Viajero* (TSP: *Traveling Salesman Problem*), que está clasificado como un problema de solución computacional compleja (NP-difícil: el tiempo de solución computacional crece exponencialmente con el incremento del número de sitios de la ruta), y es por ello que además de la PL se han desarrollado y propuesto varios métodos de solución, tales como los algoritmos genéticos y las redes de neuronas, entre otros.

Sin embargo, cuando el tamaño del problema sea tal que un modelo de PL lo pueda resolver en un tiempo computacional aceptable (pocos segundos o minutos, por ejemplo), su uso tiene la ventaja de que se tendrá la mejor de todas las soluciones posibles (solución óptima), lo que no garantizan los demás enfoques mencionados (que son algoritmos heurísticos).

El artículo consta de nueve secciones: la primera es esta introducción; en la segunda se describen las características generales de la empresa para la que se realizó el trabajo y de la situación estudiada; luego, en la tercera, se mencionan los fundamentos del modelo desarrollado; en la cuarta se especifican las etapas para la implantación del modelo de PL en la aplicación informática de hoja electrónica de cálculo Calc del *software* libre OpenOffice; en la quinta sección se consignan los resultados obtenidos; y después las dedicadas a los agradecimientos, conclusiones, recomendaciones pertinentes a la implantación y mejoramiento del modelo y las referencias.

La empresa y situación de estudio

La fábrica de hielo Mr. Hielo fue fundada en 1990 bajo la razón social Distribuidora de Hielo Texcoco; posteriormente, en 1992, se estableció como Hielo San Antonio S.A. de C.V., reconocida simplemente como Mr. Hielo, fabricadora y comercializadora de hielo, cuyo logo es el que se muestra en la figura 1. Actualmente vende hielo en diversas presentaciones a empresas de distintos giros comerciales en los estados de Hidalgo, México y Puebla, así como al público en general. Entre las varias presentaciones del producto se cuentan: barra purificada de 50 kg, barra de enfriamiento de 50 kg, barra de ósmosis de 50 kg, bolsa de rolito y cubo de 15 kg y bolsa de rolito de 5 kg.

Figura 1 Logotipo de Mr. Hielo
Fuente: Mr. Hielo

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Mr. Hielo cuenta con oficinas administrativas y una sola planta de fabricación, ubicadas en Calle 24 de Octubre #6 Col. San Antonio El Desmonte, Pachuca, Hgo., México (figura 2).

En total cuenta con una plantilla de 53 trabajadores: 19 en producción con un nivel académico medio de secundaria; 20 en ventas con educación media de bachillerato; y 14 en administración, todos con título de licenciatura.

Figura 2 Ubicación de Hielo San Antonio S.A. de C.V.
Fuente: Google Maps

Para el reparto de hielo a sus clientes dispone de un solo vehículo sin frigorífico con capacidad de carga de 6 ton, y solamente los días jueves de cada semana hace la distribución a los del EdoMex. Aunque en la zona colindante de este estado con Hidalgo tiene una cartera de cuarenta clientes, en cada viaje surte a un número menor (la mitad o un poco más) por varias razones: no todos requieren resurtido del producto, capacidad de carga del camión, conservación del producto y el tiempo disponible. El estudio de esta ruta de reparto se prefirió sobre las demás por ser la de la zona con mayor concentración de clientes, de población y de tráfico vehicular (figura 3).

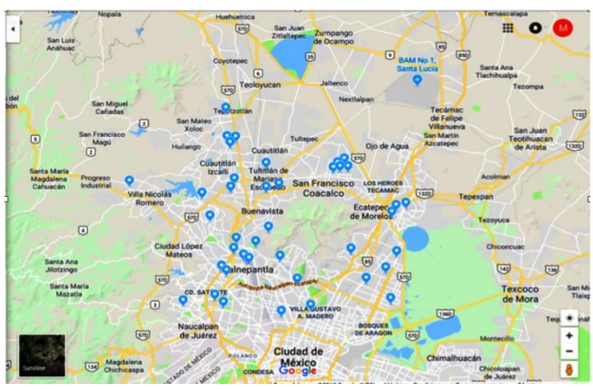

Figura 3 Zona de reparto (clientes indicados por los globitos azules)
Fuente: tecnología de Google Maps

Al inicio de la jornada de los jueves el área de ventas le da al chofer del vehículo –único tripulante y quien también se encarga de entregar las bolsas de hielo– la lista de clientes a suministrar la mercancía (en promedio 40 bolsas de 5 kg de rolitos de hielo a cada uno).

La secuencia en que se visitan los destinatarios la determina el mismo repartidor, basado en la experiencia de 5 años que ya posee sobre el mismo trabajo. Ocurre que en ocasiones, por las condiciones de tráfico, meteorológicas o de bolsas rotas por el manejo en las maniobras de descarga, no se alcanza a satisfacer la lista completa de entregas (20 destinos, en promedio) del día, con el problema adicional de que a su regreso a la planta el hielo no entregado ya se ha derretido.

Así, cada mañana de jueves el camión parte de la fábrica de hielo hacia el primer cliente, se detiene hasta realizar la entrega del lote, enseguida inicia el recorrido hacia el segundo cliente, etc. y finalmente regresa, por la noche del mismo día, a la fábrica. Teóricamente el problema tiene la estructura típica del modelo del agente viajero (Cook W. J., 2012): una situación muy conocida aunque complicada de resolver.

Fundamentos

El problema de los siete puentes de Königsberg (actual Kaliningrado, Rusia), fue un acertijo popular en el S. XVIII con interés científico-matemático, con el que Euler demostró, en 1736, la imposibilidad de una caminata que pasara una y solo una vez por cada puente. La figura 4 contiene un esquema del río Pregel con las dos islas, los siete puentes y su correspondiente grafo. Se reconoce el tratamiento euleriano de este problema como el comienzo de la *Teoría de Grafos* (Wikipedia, 2018).

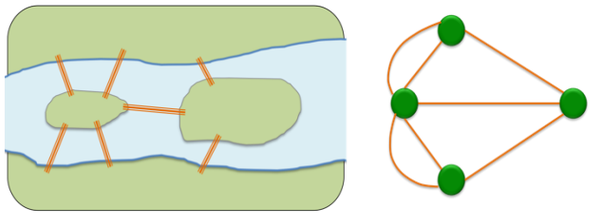

Figura 4 Puentes de Könisberg (izq) y grafo (der)

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Un grafo es una estructura matemática que consta de un conjunto no vacío de una clase de objetos llamados *nodos* o *vértices* (círculos en la figura 4), una segunda clase de objetos denominados *arcos* o *aristas* (líneas en la misma figura), y una relación entre ambas clases. Un recorrido por todos los arcos, sin repetir ninguno es un *Camino Euleriano* y en caso de que sea cerrado (que termine en el nodo de inicio) se nombra *Circuito* (o *Ciclo*) *Euleriano*. El recorrido por los arcos *a, b, c, d, e, f, g, h* en el grafo del gráfico 1 constituye un *Circuito Euleriano*.

En el grafo de la figura 4 las aristas son los puentes y los vértices las porciones de tierra firme. Por lo tanto, la solución al acertijo sería cualquier *Circuito Euleriano* que se encontrara, lo cual resulta imposible.

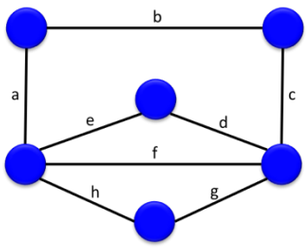

Gráfico 1 Circuito Euleriano

En cambio, un recorrido en el que se visiten todos los nodos, sin repetir ninguno, es un *camino Hamiltoniano* y si es cerrado se trata de un *circuito Hamiltoniano*. En el grafo del gráfico 2, la secuencia de nodos *1, 2, 3, 4, 5, 1* ilustra un circuito Hamiltoniano.

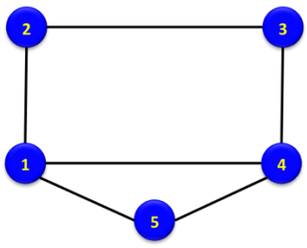

Gráfico 2 Circuito Hamiltoniano

El *problema del agente viajero*, TSP, es un caso muy estudiado por su enorme importancia práctica: un viajero (persona, vehículo, camión, autobús, yate turístico, mensajero, o cualquier otro objeto), debe visitar exactamente una sola vez cada lugar (poblado, sitio, casa, etc.) de una lista finita de ellos y regresar al punto de partida, al mínimo costo (monetario, distancia, tiempo) posible.

En un grafo los lugares a visitar son representados por los nodos y los arcos son las conexiones entre ellos, por lo que el objetivo es encontrar el circuito Hamiltoniano de mínimo costo. William J. Cook (2012) da un extenso panorama del TSP: los primeros intentos de vendedores, abogados y predicadores por resolverlo; los desarrollos formales gráficos de Leonhard Euler y del irlandés William R. Hamilton; pasando por el problema de 49 ciudades resuelto por Dantzig *et al* (Dantzig, Fulkerson, & Johnson, 1954) y los métodos exactos de Programación Lineal (entera, planos de corte, ramificación y acotamiento) y heurísticos; la creación, con tres colegas, del programa de cómputo *Concorde* para resolver TSP's simétricos de gran escala (85,900 ciudades); y la complejidad computacional del problema.

Un indicador de qué tan eficiente es un algoritmo para resolver un problema, es el orden de complejidad computacional, denotado por la llamada *función O grande* debido a su símbolo O( ). En los años que siguieron a la invención del *método Simplex* para resolver modelos lineales continuos (LP's), proliferaron las propuestas de algoritmos adicionales para resolver modelos lineales enteros (IP's, desde problemas con costos fijos hasta los del agente viajero), que funcionaron muy bien para problemas relativamente pequeños, pero en general computacionalmente ineficientes a medida que aumentó el número de restricciones y de variables enteras. Entre estas propuestas se cuentan los planos de corte de Gómory, los algoritmos de programación dinámica, ramificación y acotamiento y otros apoyados en la teoría de grupos (Craig A., 2002).

Los algoritmos preferidos son los que se ejecutan en un tiempo máximo polinomial, mientras que los que finalizan en un tiempo finito no polinomial son clasificados como NP (*Non-deterministic Polynomial time*). Por ejemplo, un algoritmo evidente para encontrar el valor máximo de la lista 1, 2, 3, ..., n corre en un tiempo proporcional a n, por lo que su complejidad computacional es O(n). El tiempo que requieren los algoritmos más rápidos para ordenar, creciente o decrecientemente, una base de datos de n registros de personas (nombre, domicilio, teléfono, etc.) por alguno de sus campos es proporcional a O(n log n).

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Aunque el método Simplex de programación lineal teóricamente corre en tiempo exponencial $O(k^m)$, en la práctica ha resultado muy eficiente: el tiempo de ejecución es propor-cional a $O(m^3)$, en donde m es el número de restricciones.

El gráfico 3 es un esquema de la clasificación de problemas con base en su complejidad computacional sobre la cual se advierte que, hasta ahora, los problemas de programación lineal entera (IP) son clasificados como difíciles de resolver (NP-Difícil, o NP-*Hard*) para los que no existe un algoritmo general eficiente. El problema del agente viajero es un IP (Craig A., 2002), y por lo tanto NP-Difícil, aunque muchos investigadores creen que es NP.

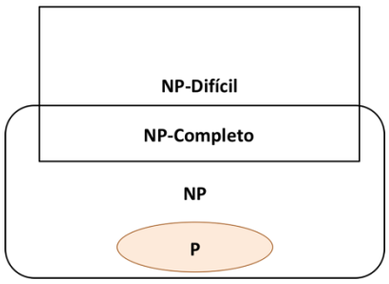

Gráfico 3 Clasificación de problemas

Si se llegara a demostrar que P = NP, entonces solo existirá la clasificación binaria P y NP-Difícil. A propósito, hay un premio de un millón de dólares al primero que resuelva en tiempo polinomial el TSP, lo que demostraría que P=NP (Clay Mathematics Institute, 2007). Stephen Cook (2006) ofrece una descripción formal de la complejidad computacional P y NP.

El TSP ha sido intensivamente estudiado, porque aunque es fácil de enunciar y de verificar que un itinerario dado es factible, no es sencillo de resolver (encontrar el itinerario óptimo), aumentando la complejidad sus extensiones (restricciones adicionales de capacidad, tiempo, más de un viajero, distintos puntos de inicio o de finalización del recorrido, conexiones prohibidas, indeseables o inexistentes, etc.) lo que motiva el interés matemático y computacional. También porque hay móvil práctico: v. gr. diariamente, el programa de optimización meta-heurístico ORION, de UPS, especifica una ruta optimizada para cada uno de los 55,000 vehículos encargados de recoger y entregar los paquetes de ese día (Holland, Levis, Nuggehalli, Santilli, & Winters, 2017).

Hay aplicaciones artísticas, como la generación de retratos aproximados por puntos, reconocibles cuando son vistos a suficiente distancia (Chondl, 2012), o como el dibujo *Embrace* renderizado e impreso en acero inoxidable y latón de Robert Bosch (Bosch, 2010). Y hasta en la cinematografía: unos minutos antes de la hora y media de la película *Guardianes de la Galaxia*, el bandido azul, Yondu Udonta, utiliza su aparentemente inofensivo dardo para eliminar a un grupo de soldados alienígenas (incluido el que tripula un tanque flotante), mediante un letal recorrido por cada uno de los atacantes para finalmente regresar a las manos de Yondu (Chondl, 2016).

Dependiendo del tamaño y condiciones particulares del TSP, los métodos de solución pueden ser exactos o aproximados. Entre los primeros están la enumeración total de itinerarios posibles, la programación dinámica y la programación lineal entera y sus extensiones: relajamiento Lagrangiano, planos de corte, ramificación y acotamiento, corte y ramificación.

Entre los segundos, genéricamente denominados heurísticos o metaheurísticos, se cuentan el recocido simulado (*simulated annealing*), redes de neuronas (*neural networks*) algoritmos genéticos (*genetic algorithms*), búsqueda tabú (*tabu search*), colonia de hormigas (*ant colony algorithms*), búsqueda aleatoria (*random search*) y el enjambre de partículas (*particle swarm*). A veces se combinan: se recurre a una heurística para encontrar una buena solución que es utilizada como punto de partida de algún método exacto.

Cuando el costo de la conexión entre cada par de nodos del grafo es el mismo de ida y vuelta, el recorrido en el sentido de las manecillas del reloj es equivalente al de contrarreloj. En este caso se dice que el TSP es simétrico (STSP); de lo contrario el TSP es asimétrico (ATSP).

Por el método exacto de enumeración en un STSP de n nodos se tendría que valorar cada uno de los (n-1)!/2 posibles circuitos Hamiltonianos y (n-1)! ciclos en el ASTP. En cualquier caso, el método se vuelve rápidamente ineficiente: en un ATSP habría que examinar solo 6 rutas con n = 4 nodos, pero si fueran n = 11 nodos serían 3,628,800 rutas.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Por la importancia práctica del TSP, un libro ampliamente utilizado en cursos de Investigación de Operaciones, (Taha, 2012), le dedica el capítulo once, ejemplificando algunos métodos, tanto exactos como heurísticos. Un segundo popular libro de texto (Hillier & Lieberman, 2010), de la misma disciplina, solo lo esboza en el tratamiento de los modelos de programación entera binaria en el undécimo capítulo.

En un documento de trabajo, Orman & Williams (2005) hacen un recuento de ocho distintas formulaciones de programación lineal entera del ATSP, entre las que destaca la del enfoque secuencial de Miller, Tucker y Zemlin, por dos razones: 1ª) se facilita su programación en hoja electrónica de cálculo; y 2ª) es suficiente para el tamaño del caso particular de Mr. Hielo. Enseguida se especifica dicho modelo.

Definiciones

N = {1, 2, 3, ..., n} Conjunto de nodos
n = número de nodos a visitar
x_{ij} = 1 si el arco que va del nodo i al j es parte del itinerario (ruta)
= 0 si no lo es
c_{ij} = costo de viajar del nodo i al j, $\forall$ i ≠ j
= ∞ si i = j
u_i = variable continua: orden de visita al nodo i (i≠1)

Modelo

Minimizar $\sum_{i,j\in N, i\neq j} c_{ij}x_{ij}$ (1)

$\sum_{j\in N, j\neq i} x_{ij} = 1 \qquad \forall i \in N$ (2)

$\sum_{i\in N, i\neq j} x_{ij} = 1 \qquad \forall j \in N$ (3)

$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n-1 \quad \forall i,j \in N-\{1\}, i \neq j$ (4)

(1), (2) y (3) constituyen un modelo estándar de asignación, que es de la clase P; sin embargo, las restricciones (2) y (3) no garantizan que se obtendrá un ciclo hamiltoniano, sino que pueden dar lugar a varias subrutas (*subtours*), la cuales son evitadas por (4).

El modelo tiene n(n-1) variables binarias 0-1, (n-1) variables continuas y n^2-n+2 restricciones.

Metodología

Mr. Hielo, al igual que muchas MPyMES, presenta varias oportunidades de mejora, en todas sus áreas funcionales. De acuerdo con la alta administración se determinó analizar la distribución de bolsas de hielo de los jueves en el EdoMex por tener la mayor cantidad de clientes que las demás zonas de reparto en los estados de Hidalgo y Puebla.

Ya seleccionado el objeto de estudio, se procedió a establecer las fases apropiadas para el desarrollo del trabajo mostradas en la figura 5.

Planteamiento del problema. La situación de estudio es un problema de reparto de mercancías, en el que un solo vehículo inicia su recorrido desde la fábrica, entrega en secuencia los pedidos de varios clientes y regresa a la planta el mismo día.

El objetivo es reducir al mínimo la distancia del recorrido, en primera instancia, o el tiempo empleado en el mismo exceptuando el tiempo de entrega (porque es independiente del orden de visita a cada cliente) en segunda. Se trata de un problema muy conocido, fácil de verificar pero difícil de resolver: el del agente viajero.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

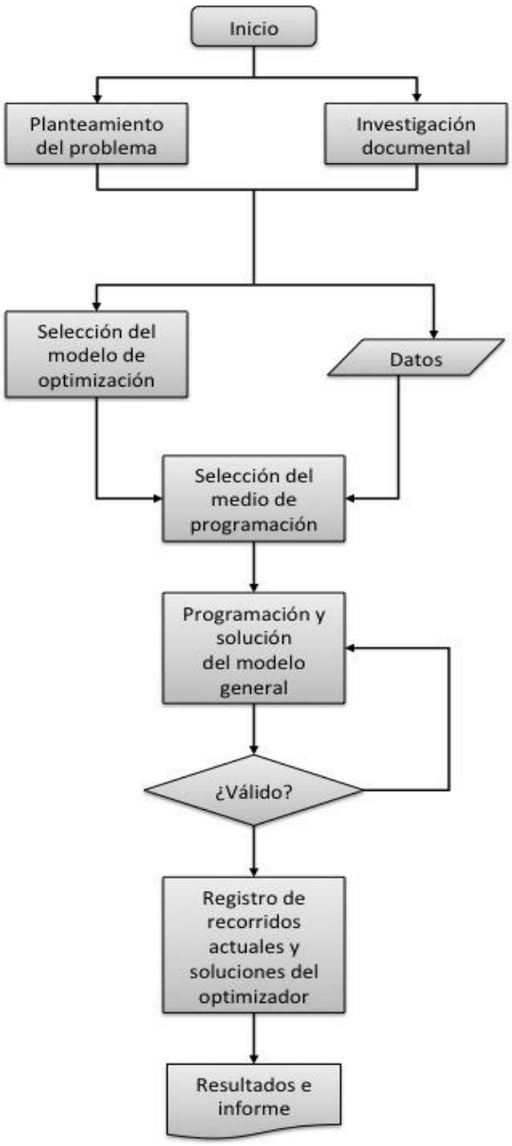

Figura 5 Etapas del estudio

Investigación documental. De manera paralela al planteamiento del problema se inició la revisión de artículos, libros, *software* de optimización y de otras fuentes a fin de obtener información conceptual y teórica suficiente para seleccionar el modelo más apropiado a la situación de interés. En la sección fundamentos se sintetiza lo encontrado.

Selección del modelo de optimización. Debido a que el recorrido por carretera (tanto en distancia como en tiempo) desde un cliente A a uno B no es el mismo que de B a A ($c_{ij} \neq c_{ji}$, cuando $i \neq j$), y sin particularidades adicionales, es un TSP asimétrico (ATSP) para cuya solución se escogió el modelo de IP definido al final del apartado de la fundamentación teórica.

Datos. Como en cualquiera de las formulaciones de modelos revisadas se necesitan las distancias entre puntos del recorrido (o los tiempos), la fase de cálculo de las mismas se hizo a la par que la investigación sobre la elección del modelo específico a utilizar. Una forma sencilla, aunque algo laboriosa, de calcular distancias es mediante el posicionamiento geográfico por coordenadas de la planta y los clientes, pero la característica de asimetría descarta este procedimiento; por lo tanto se decidió recurrir a la tecnología de mapas de Google para esta labor, mucho más tardada que la del cálculo por coordenadas.

Selección del medio de programación. Aquí se trata de responder a la pregunta ¿en qué programar el modelo matemático seleccionado? Hay *software* comercial, tales como:

- AIMMS (https://aimms.com)
- AMPL (https://ampl.com)
- GAMS (https://gams.com)
- Gurobi (http://www.gurobi.com)
- LINGO (https://www.lindo.com/)

Entre varios más, que proveen un ambiente de modelado y al menos un optimizador, apropiados para resolver el modelo; pero se descartaron precisamente por tener que comprar una licencia útil (sus versiones de prueba son insuficientes para el tamaño del problema estudiado y además son para fines de enseñanza).

Las aplicaciones académicas tales como TORA, WinQSB y POM se dejaron fuera por su ineficiencia en el escalamiento (cambiar el tamaño) de modelos, además de estar diseñados para fines académicos.

En Internet hay optimizadores muy buenos *en línea* como los programas de acceso libre del NEOS Server, en https://neos-server.org/neos/, pero que requerirían un tiempo considerable de capacitación del personal (introducir datos, resolver e interpretar la solución), por lo que también se hizo a un lado. Ni siquiera se consideraron viables los sistemas informáticos matemáticos (Matlab, Mathematica, Maple, MathCad, etc.) por ser muy caros y se aprovecharía solo uno de sus módulos.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Las aplicaciones de hoja de cálculo MS Excel y OpenOffice Calc incluyen un optimizador llamado SOLVER, pero el de Excel es un *demo* que solo soporta hasta 200 variables por lo que es insuficiente en el caso bajo estudio (la versión estudiantil que acompaña a algunos libros de texto soporta hasta 500 variables, pero es para fines académicos, y para utilizar alguna versión de mayor capacidad habría que comprar la licencia).

También puede agregarse a Excel un optimizador gratuito denominado *OpenSolver* (https://opensolver.org/) pero en las pruebas preliminares resultó lento y con soluciones subóptimas.

El conjunto de programas de oficina *Apache OpenOffice*, cuya dirección (URL) es https://www.openoffice.org/es/ es similar a *MS Office*, pero de código abierto y de distribución y uso libres (licencia Apache 2.0) para cualquier propósito (doméstico, negocios, educa-cional, administración pública) y multiplataforma (Mac, GNU/Linux y Windows), cuyo optimizador lineal Solver de la aplicación de hojas electrónicas de cálculo, llamada Calc, sí fue capaz de pasar las pruebas preliminares de tiempo de ejecución, exactitud, escalamiento y facilidad de uso, por lo que fue el medio elegido para programar y resolver los modelos ATSP.

Programación y resolución del modelo general. Para la programación en Calc, el modelo integrado por (1), (2), (3) y (4) en la sección de fundamentos se redefinió de manera conveniente.

Definiciones

N = {1, 2, 3, ..., n} Conjunto de fábrica y clientes (1 es la fábrica)
n = número de clientes a visitar, incluida la planta (41)
x_{ij} = 1 si al cliente j se le entrega el pedido inmediatamente después que al i
= 0 si no es así
c_{ij} = distancia, en km, de viajar por carretera del cliente i al j, $\forall$ i ≠ j
= M si i = j
u_i = variable continua: orden de visita al cliente i (i≠1)

Modelo

$$\text{Minimizar } \sum_{i,j\in N} c_{ij}x_{ij} \qquad (5)$$

$$\sum_{j\in N} x_{ij} = 1 \qquad \forall i \in N \qquad (6)$$

$$\sum_{i\in N} x_{ij} = 1 \qquad \forall j \in N \qquad (7)$$

$$u_i - u_j + 41x_{ij} \leq 40 \quad \forall i,j \in N - \{1\} \qquad (8)$$

Este modelo adaptado tiene 41^2 = 1681 variables de decisión 0-1, 2x41 = 82 restricciones de asignación y 40^2 = 1600 restricciones de secuencia del recorrido.

Las distancias, en km, entre la planta y los cuarenta clientes, así como las que hay entre cada par de clientes se introdujeron en un primer arreglo tabular de 41 filas y 41 columnas de Calc, a excepción de la diagonal principal en cuyas casillas se escribió un número suficientemente grande comparado con las distancias entre clientes, M (v. gr.: M = 500), para evitar que un tramo del viaje inicie y termine en un mismo cliente (impedir *lazos* en términos teóricos).

En una segunda matriz del mismo tamaño que la primera se representaron las variables de decisión binarias x_{ij} del modelo. De este modo, la suma de los productos de los elementos correspondientes de ambas matrices rinde el escalar de la función objetivo (5). En una columna a la derecha de esta matriz se programó la suma de cada fila, y en la fila inmediata a la del último cliente la suma de cada columna, a fin de especificar las restricciones de asignación, (6) y (7).

Finalmente, en un tercer arreglo de la misma dimensión de los dos primeros, se programó el lado izquierdo de (8). La figura 6 es un esquema de esta distribución del modelo.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

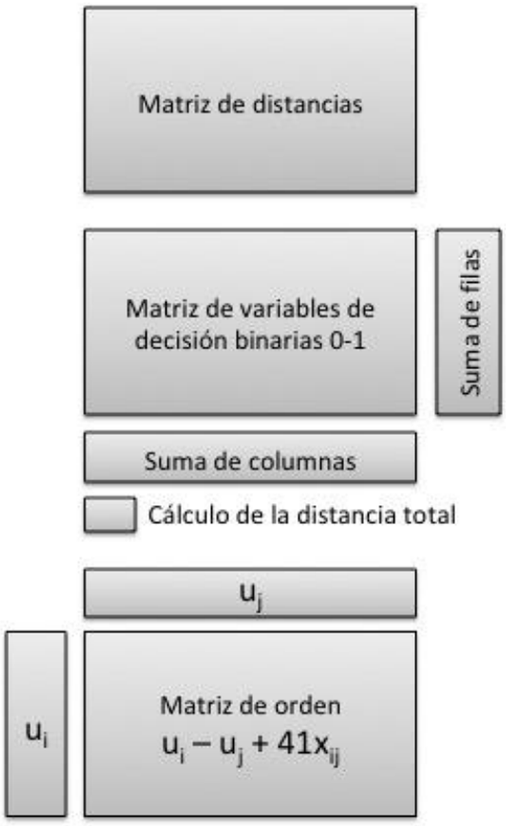

Figura 6 Esquema del modelo

En seudocódigo el modelo de optimización es:

Min DistanciaTotal
SumaFilas = 1
SumaColumnas = 1
MatrizOrden ≤ 40 excepto fila 1 y columna 1

El problema de minimizar el tiempo de recorrido, exceptuando los tiempos de entrega, es más complicado que el de distancias, debido a que t_{ij} = *tiempo, en minutos, que el camión invierte en recorrer el tramo carretero del cliente i al cliente j*, es una variable aleatoria y ya no una constante. Con la tecnología de mapas de Google se obtuvieron tres tiempos con la finalidad de aproximar el comportamiento de esta variable: uno con tráfico fluido, otro con tráfico habitual y el tercero con tráfico lento.

En Calc, el modelo de tiempos es un duplicado del de distancias, reemplazando las distancias c_{ij} por los correspondientes tiempos de recorrido, en minutos, de un cliente a otro.

En este trabajo se consideraron los tiempos calculados con tráfico habitual.

Un análisis más completo tendría que combinar simulaciones de tiempos con patrones probabilísticos Triangulares o Betas con modelos de optimización a fin de diseñar un sistema dinámico de generación de rutas con tecnologías tipo GPS al inicio de cada viaje, y capaz de actualizar sobre la marcha la parte no realizada aún del recorrido.

Mr. Hielo identifica a sus clientes mediante una clave numérica, que se utilizó aquí tal cual. La tabla 1 es, recortada, la matriz de distancias de la figura 6. El orden en que aparecen las claves está relacionado con la cercanía de los clientes y se prefirió dejarlo así.

	C	D	E	F	G	H	AQ	AR
2		**Datos: distancia, en kilómetros, desde un sitio enlistado en las filas hasta otro en las columnas**						
3		Fábrica	775	722	784	924	1363	1392
4	Fábrica	500	76.4	75.1	70.2	70.2	79.2	75.4
5	775	76.2	500	5.1	3.8	7.8	13.7	9.9
6	722	83.2	6.3	500	7.8	8.9	19.4	15.6
7	784	72.4	4.5	6.3	500	3.7	16.4	12.6
8	924	70.3	8.7	8	4.7	500	20.7	16.9
43	1363	82.3	14.2	18.2	17.3	21.4	500	4.2
44	1392	78.3	10.2	14.1	12.4	15.9	3.8	500

Tabla 1 Distancias fábrica-clientes y entre clientes

La parte central del modelo de hoja de cálculo es la matriz de variables de asignación de los tramos de la ruta, y que en la figura 6 corresponde a los bloques centrales del esquema. La tabla 2 ilustra esta parte (no se muestra la mejor solución).

	C	D	E	F	G	H	AR	AS	AT
48		Fábrica	775	722	784	924	1392		Suma
49	Fábrica	0	0	0	0	0	0		1
50	775	0	0	1	0	0	0		1
51	722	0	0	0	1	0	0		1
52	784	0	0	0	0	1	0		1
53	924	0	0	0	0	0	0		1
88	1363	0	0	0	0	0	1		1
89	1392	0	0	0	0	0	0		1
90									
91	Suma	1	1	1	1	1	1		
92									
93	Dist =	302.7	km						
94	Ruta:	Fábrica	1110	429	580	457	1580	994	Fábrica
95			0	1	2	3	39	40	

Tabla 2 Variables 0-1 de asignación y ruta

ECORFAN® Todos los derechos reservados

La tabla 3 es la porción final: la matriz que se utiliza para asegurar que no se obtengan subrutas.

	A	B	C	D	E	F	G	AQ	AR
99				U1	U2	U3	U4	U40	U41
100		Orden visita →		0	33	34	35	28	29
101		↓		Fábri-ca	775	722	784	1363	1392
102	u1	0	Fábri-ca	0	-33	-34	-35	-28	-29
103	u2	33	775	33	0	40	-2	5	4
104	u3	34	722	34	1	0	40	6	5
105	u4	35	784	35	2	1	0	7	6
143	u40	28	1363	28	-5	-6	-7	0	40
144	u41	29	1392	29	-4	-5	-6	1	0

Tabla 3 Variables y operaciones del orden de la ruta

La figura 7 muestra el modelo introducido en el Solver de Calc.

Figura 7 El modelo en Solver de Calc

Si se hiciera un recorrido por los 40 clientes, la mejor ruta que rinde Solver, de 302.74 km, sería:

Fábrica, 1110, 429, 580, 457, 670, 1308, 1341, 1292, 1078, 1731, 1302, 1137, 1452, 1100, 408, 1167, 1713, 1636, 1133, 976, 1477, 1123, 343, 485, 1406, 1074, 1069, 894, 1363, 1392, 1319, 1321, 1138, 775, 722, 784, 924, 1533, 1580, 994, Fábrica.

Validación. Una de las desventajas de realizar cálculos en hojas electrónicas es su imprecisión numérica, que para fines cotidianos no tiene efectos importantes.

Sin embargo, los algoritmos exactos para resolver el TSP realizan una enorme cantidad de iteraciones que pueden alterar significativamente la precisión de los resultados, de modo que hay que tener cierta precaución sobre una finalización de Solver aparentemente óptima.

Por esta razón, una vez resuelto el modelo general, primero se verificó que la secuencia encontrada no contuviera subrutas y luego se agregó, repetidamente, una condición para reducir la distancia encontrada hasta que no hubiera solución factible.

Además se experimentaron optimizaciones de modelos TSP muy pequeños de hoja de cálculo de 5x5, 8x8 y 10x10 con datos de distancias tomadas de la matriz de 41x41, con el Solver de Excel, OpenSolver instalado en Excel y el Solver de Calc.

En todas las pruebas se obtuvieron los mismos resultados (distancia total mínima), por lo que se confía en que Calc efectivamente haya rendido la ruta óptima tanto en el caso general como en los tres cercanos a 20 clientes que realmente se realizaron y que sirvieron de contraste. En estos, la capacidad del SOLVER original de Excel fue insuficiente para resolverlos y OpenSolver tuvo que ser detenido al no rendir una solución antes de quince minutos.

Registro de recorridos actuales y soluciones del optimizador. Los recorridos de los jueves abarcan más o menos 20 clientes y se consiguió registrar la ruta seguida en tres ocasiones: dos de 19 clientes y una de 16. Estas rutas sirven para verificar que el optimizador rinde una secuencia más corta y por cuánto.

Sabiendo qué clientes fueron atendidos y el orden de visita, se obtuvieron tres duplicados del archivo de Calc del modelo general –el cual se debe conservar como plantilla y con una copia de resguardo– y, en cada uno, se eliminaron las filas y columnas correspondientes a clientes no visitados en sendos itinerarios.

El segundo cuadro (tabla 2) se copia en la misma hoja, en la que se codifica la ruta efectuada, calculándose la distancia total con los datos del primer cuadro (tabla 1).

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Enseguida se introduce el modelo de optimización en Solver y se procede a resolverlo (a diferencia de Excel, en Calc no se guarda el modelo al cerrar el archivo, por lo que debe introducirse cada vez que se inicie una nueva sesión).

En la fórmula de las celdas de la matriz de orden la constante 41 se debe sustituir por el número de clientes más uno, y en Solver el correspondiente lado derecho, 40, hay que cambiarlo por la cantidad de clientes del itinerario.

Resultados

El gráfico 4 y la tabla 4 resumen los resultados del funcionamiento del modelo de distancias contrastado con los recorridos históricos recolectados, en tanto que la tabla 5 es la equivalente del modelo de tiempos.

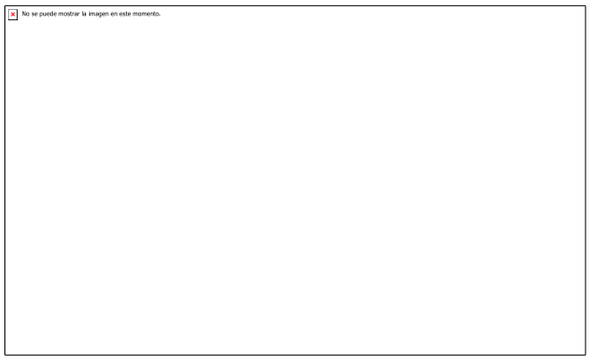

Gráfico 4 Resultados

La muestra es muy pequeña aún, al momento de escribir este reporte, para establecer con gran precisión el ahorro esperado en la distancia recorrida, pero hasta ahora está alrededor del 9%. Llama la atención que la longitud de la ruta del tercer jueves es mayor que la mínima de visita a todos los clientes, sin sugerir siquiera que es realizable esto último porque para ello se necesitaría estimar tanto el tiempo de traslado como el de entrega del producto. La tabla 5 es similar a la tabla 4, pero con mediciones de los tiempos de traslado en lugar de distancias. Dada la complejidad del análisis de esta variable, ya advertida en la subsección *Programación y resolución del modelo general*, los cálculos son realizados bajo el supuesto de que el tráfico fue el habitual. El ahorro esperado en tiempo es de aproximadamente 13%.

	Primer jueves		Segundo jueves		Tercer jueves	
	Reali-zado	Optimi-zado	Reali-zado	Optimi-zado	Reali-zado	Opti-mizado
	Fábri-ca	Fábrica	Fábri-ca	Fábrica	Fábric a	Fábrica
1	429	429	580	580	994	429
2	457	457	457	457	924	670
3	670	670	1308	1308	429	1341
4	1308	1308	1731	1731	670	1292
5	1078	1100	1137	1137	1341	1078
6	1731	1078	1302	1302	408	1731
7	1302	1731	1100	1100	1100	1100
8	1100	1302	408	408	1292	408
9	1167	1713	1167	1167	1078	1713
10	1713	1167	894	894	1731	1074
11	1069	1069	1123	1123	485	485
12	894	1123	343	343	1713	1123
13	1123	485	1133	1636	894	894
14	485	894	1636	1133	1123	1363
15	1363	1363	1580	1580	1363	1392
16	1392	1392	994	994	1392	775
17	1321	1321	Fábrica	Fábrica	1074	784
18	722	722			775	924
19	994	994			784	994
	Fábrica	Fábrica			Fábrica	Fábrica
Dist., km	259.20	254.00	233.44	232.44	328.70	246.95
Ahorro, en km	5.20		1.00		81.75	
En %	2.01%		0.43%		27.87%	

Tabla 4 Resumen comparativo de distancias

Los modelos de Calc se corrieron en dos equipos de cómputo portátiles con procesadores Intel i5 e i7 y 8 y 16 Gb en RAM. El tiempo de corrida del modelo general varió entre dos y tres minutos y el de los casos de prueba fluctuó entre tres y quince segundos.

Con la debida capacitación de dos o tres empleados, con nivel mínimo de bachillerato, en el uso de la plantilla de Calc, en menos de veinte minutos puede generarse la mejor ruta de los jueves.

Este tiempo es prácticamente lo que se invertiría en identificar en la plantilla a los clientes a visitar y eliminar las filas y columnas no asociadas a ellos.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

	Primer jueves		Segundo jueves		Tercer jueves	
	Realizado	Optimizado	Realizado	Optimizado	Realizado	Optimizado
	Fábrica	Fábrica	Fábrica	Fábrica	Fábrica	Fábrica
1	429	994	580	580	994	994
2	457	457	457	457	924	429
3	670	670	1308	1308	429	670
4	1308	429	1731	1731	670	1292
5	1078	1308	1137	1137	1341	1341
6	1731	1100	1302	1302	408	1078
7	1302	1731	1100	1100	1100	1731
8	1100	1302	408	1123	1292	1100
9	1167	1078	1167	343	1078	408
10	1713	1713	894	894	1731	1713
11	1069	1167	1123	1167	485	1123
12	894	1069	343	408	1713	485
13	1123	1123	1133	1636	894	1074
14	485	485	1636	1133	1123	894
15	1363	894	1580	994	1363	1363
16	1392	1363	994	1580	1392	1392
17	1321	1392	Fábrica	Fábrica	1074	924
18	722	1321			775	784
19	994	722			784	775
	Fábrica	Fábrica			Fábrica	Fábrica
Minu-tos	430	410	360	340	561	402
Ahorro, minutos	20.00		20.00		159.00	
En %	4.65%		5.56%		28.34%	

Tabla 5 Resumen comparativo de tiempos

Agradecimientos

Los autores agradecen a la fábrica Mr Hielo, y en particular a su jefe del área de administración y finanzas, el L.C. R. Eduardo León López, quien fue el impulsor del estudio y principal enlace con la planta, y al personal de la misma por el soporte y atenciones recibidas.

Conclusiones

Cuando se tiene una vasta experiencia en una determinada actividad que por sus características implique la resolución de un problema cada vez que se repite, una persona es capaz de encontrar buenas soluciones, incluso inmejorables si dicho problema es pequeño; pero a medida que aumenta el tamaño o complejidad del mismo, disminuye la probabilidad de alcanzar soluciones óptimas.

En el caso estudiado de Mr. Hielo, al conductor del camión repartidor se le da la lista de los clientes a los que debe entregar el producto y él decide el orden en que lo hará. De los tres viajes a cuya lista de clientes se tuvo acceso, el itinerario del repartidor no fue el de mínima distancia pero estuvo cerca: 259.2 km recorridos contra 254.0 del óptimo en el primero; 233.4 km contra 232.4 en el segundo. Sin embargo, el tercer jueves recorrió 328.7 km –¡mayor que la menor longitud del recorrido por los cuarenta clientes!– comparado con los 247.0 km del mínimo *tour*.

Dejar la decisión sobre el orden de entrega de las bolsas de hielo al repartidor no es un método consistente: a veces sí es buena pero también podría resultar muy mala. Una disminución media del orden del 10% en la longitud del *tour* con el uso del optimizador, abriría la posibilidad de aumentar en al menos un cliente la programación de las entregas al momento de planificar un viaje. Además, el optimizador permitirá programar y realizar el reparto de hielo aún en ausencia del chofer nominal.

Aunque se ha estimado en un máximo de veinte minutos la adecuación del itinerario en la plantilla y su optimización, con la práctica se volverá rutinario y más rápido.

Los resultados relacionados con el tiempo del recorrido y que evidencian un ahorro del 13% deben ser tomados con la debida reserva: i) son independientes del tiempo de demora en el recorrido debido a la entrega del producto; ii) el tiempo de viaje entre clientes es una variable aleatoria, en vez de constante como lo es la distancia; iii) sería necesario recurrir a otras técnicas de análisis, acompañantes de la optimización. A pesar de esto, tal reducción del tiempo es prometedora y anima a realizar las mediciones y análisis pertinentes de mejora.

La selección de OpenOffice Calc se debió a: i) es *software* libre y abierto; ii) no le resultaría complicado trabajar en él a un usuario familiarizado con las hojas de cálculo, que son de uso muy extendido; iii) su optimizador Solver, que ejecuta un algoritmo lineal exacto, tiene la capacidad suficiente para resolver el problema analizado; iv) el tiempo de resolución no excede quince segundos; y v) es multiplataforma.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Recomendaciones

Para facilitar la implantación del nuevo método de definición de la ruta de distribución de los jueves, sería conveniente:

- Instalar el modelo de hoja de cálculo en un equipo de cómputo de escritorio de la empresa, debidamente respaldado en otro.
- Capacitar a por lo menos dos empleados de Mr. Hielo en su uso actual y en el procedimiento a seguir en caso de aumentar la cartera de clientes de la zona.
- Probar las rutas generadas por el modelo durante algunos viajes más y, si su eficiencia es convincente, extender su uso a otras zonas de distribución del hielo.
- Cuando económicamente se justifique, mejorar la utilidad del modelo mediante la incorporación de tecnologías de la información en tiempo real.

Referencias

Clay Mathematics Institute. (18 de Agosto de 2007). *Millennium Problems*. Recuperado el 7 de Agosto de 2018, de CMI (Clay Mathematics Institute): http://www.claymath.org/millennium-problems

Chondl, M. (Septiembre de 2012). An Integer Programming Quiz Picture Round. *Transactions on Education* , 65-66.

Chondl, M. (Mayo de 2016). TSP at the Movies: Yondu's Dart Problem. *Transactions on Education* , 110-111.

Cook, S. (8 de Abril de 2006). *P vs NP problem.* Obtenido de CMI (Clay Mathematics Institute): http://www.claymath.org/millennium-problems/p-vs-np-problem

Cook, W. J. (2012). *In Pursuit of the Traveling Salesman: Mathematics at the Limits of Computation.* Princeton, NJ, USA: Princeton University Press.

Craig A., T. (2002). Tutorial on Computational Complexity. *Interfaces* , 30-61.

Bosch, R. (2010). *Mathematical Imagery*. Recuperado el 7 de Agosto de 2018, de AMS American Mathematical Society: http://www.ams.org/mathimagery/displayimage.php?pid=274

Dantzig, G., Fulkerson, R., & Johnson, S. (1954). Solution of a Large-ScaleTraveling-Salesman Problem. *Journal of the Operations Research Society of America* , 393-410.

Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones* (9ª edición ed.). México: McGraw-Hill.

Holland, C., Levis, J., Nuggehalli, R., Santilli, B., & Winters, J. (Enero-Febrero de 2017). UPS Optimizes Delivery Routes. *Interfaces* , 8-23.

Orman, A., & Williams H., P. (2005). *A survey of different integer programming formulations of the travelling salesman problem.* London School of Economics and Political Science, Department of Operational Research. London, UK: Operational Research working papers, LSEOR 04.67.

Taha, H. (2012). *Investigación de Operaciones* (9ª edición ed.). México: Pearson.

Wikipedia. (2 de Agosto de 2018). *Seven Bridges of Königsberg.* Recuperado el 2 de Agosto de 2018, de Wikipedia The Free Encyclopedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Seven_Bridges_of_Königsberg

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

[Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor

Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1er Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1er Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1er Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1er Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2do Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2do Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3er Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3er 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)

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)

Citación: Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Tecnologías en Procesos Industriales. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)
† Investigador contribuyendo como primer autor.

© ECORFAN-Taiwan

Instrucciones para la publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

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 Artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del Artículo* 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 inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]

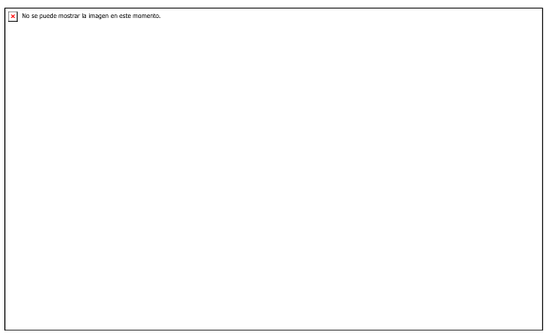

Gráfico 1 Titulo y *Fuente (en cursiva)*

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

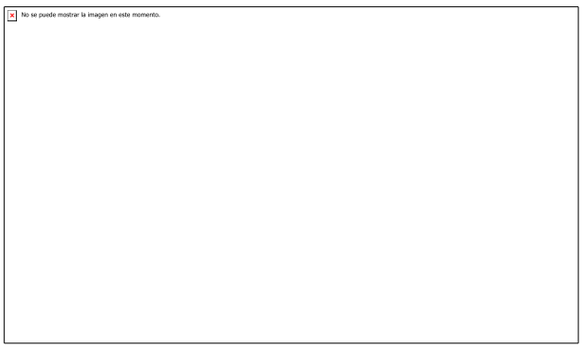

Figura 1 Titulo y *Fuente (en cursiva)*

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y *Fuente (en cursiva)*

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo 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 Titulo secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^{r} \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \qquad (1)$$

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 Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

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 Artículo.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

Ficha Técnica

Cada Artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista
Título del Artículo
Abstract
Keywords
Secciones del Artículo, 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

ISSN: 2523-6822
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Reserva a la Política Editorial

Revista de Tecnologías en Procesos Industriales se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal 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 del Artículo.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, 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 Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo 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 del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista de Tecnologías en Procesos Industriales 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 Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.

- Ninguno de los datos presentados en este Articulo 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 el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.

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

- 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 este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

Copyright y Accesso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-México, S.C en su Holding Taiwan para su Revista de Tecnologías en Procesos Industriales, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo 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 del Artículo:

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 Artículos 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 al Artículo 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 los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos 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 el Artículo a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Artículos 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 Artículos 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 del Artículo presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE	(Alemania)
GOOGLE SCHOLAR	(Índices de citaciones-Google)
MENDELEY	(Gestor de Referencias bibliográficas)
REDIB	(Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)
HISPANA	(Información y Orientación Bibliográfica-España

Servicios Editoriales:

Identificación de Citación e Índice H.
Administración del Formato de Originalidad y Autorización.
Testeo de Artículo con PLAGSCAN.
Evaluación de Artículo.
Emisión de Certificado de Arbitraje.
Edición de Artículo.
Maquetación Web.
Indización y Repositorio.
Traducción.
Publicación de Obra.
Certificado de Obra.
Facturación por Servicio de Edición.

Política Editorial y Administración

244 - 2 Itzopan Calle. La Florida, Ecatepec Municipio México Estado, 55120 Código postal, MX. Tel: +52 1 55 2024 3918, +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 4640 1298; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editora en Jefe
RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal
SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial
ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC
SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial
PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo
VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Editores de Producción
ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD
LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial
REYES-VILLAO, Angélica. BsC

Control de Producción
RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC
DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Editores Asociados
OLIVES-MALDONADO, Carlos. MsC
MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD
CHIATCHOUA, Cesaire. PhD
SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD
CENTENO-ROA, Ramona. MsC
ZAPATA-MONTES, Nery Javier. PhD
ALAS-SOLA, Gilberto Américo. PhD
MARTÍNEZ-HERRERA, Erick Obed. MsC
ILUNGA-MBUYAMBA, Elisée. MsC
IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC
VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

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

244 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.
21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre–Bolivia.
38 Matacerquillas, CP-28411. Moralzarzal –Madrid-España.
18 Marcial Romero, CP-241550. Avenue, Salinas l - Santa Elena-Ecuador.
1047 La Raza Avenue -Santa Ana, Cusco-Peru.
Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Cameroon.
Southwest Avenue, San Sebastian – León-Nicaragua.
6593 Kinshasa 31 – Republique Démocratique du Congo.
San Quentin Avenue, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.
16 Kilometro, American Highway, House Terra Alta, D7 Mixco Zona 1-Guatemala.
105 Alberdi Rivarola Captain, CP-2060. Luque City- Paraguay.
Distrito YongHe, Zhongxin, calle 69. Taipei-Taiwán.

Revista de Tecnologías en Procesos Industriales

"Tratamiento de lodos generados por electrocoagulación de lixiviados del relleno sanitario El Huixmí"
OCAMPO-RODRÍGUEZ, Dulce Brigite, QUERO-GUTIÉRREZ, Edgar y LEÓN-CASTELAZO, Yolanda
Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan

"Consecuencias de la electropolusión causada por la telefonía móvil en los hábitos de las abejas (*Apis melifera L.*)"
LEGUIZAMO-HERNÁNDEZ, Miriam & CONTRERAS-RAMOS, Juan
Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Norte de Puebla

"Modelo Conceptual de Gestión para la Trazabilidad en la Industria Acuícola de Pequeña Escala"
VILLALOBOS-GÓMEZ, Joel Alejandro, VERDUZCO-RAMÍREZ, Jesús Alberto, GARCÍA-DÍAZ, Noel y OLIVO-GUTIÉRREZ, Mauricio
Instituto Tecnológico de Colima

"Optimización de la distribución de hielo de una empresa hidalguense en el Estado de México"
PÉREZ-RAMÍREZ, Carlos Manuel & RUIZ-ESCAMILLA, Pedro César
Instituto Tecnológico de Pachuca

2523 6822
ISSN 2523-6822

www.ecorfan.org