

ISSN 2523-6873

Volumen 3, Número 11— Julio — Septiembre - 2019

Revista de Ingeniería Innovativa



ECORFAN-Perú

Editor en Jefe

MIRANDA - TORRADO, Fernando. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Revista de Ingeniería Innovativa, Volumen 3, Número 11, de Julio a Septiembre 2019, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Perú. La Raza Av. 1047 No.-Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode: 11500. WEB: www.ecorfan.org/republicoferu, revista@ecorfan.org. Editor en Jefe: MIRANDA - TORRADO, Fernando. PhD. ISSN 2523-6873. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Septiembre 2019.

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 Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

Revista de Ingeniería Innovativa

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 Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología.

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 Ingeniería Innovativa es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Perú, 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 la Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología 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 Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

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

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD
University of South Florida

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

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

LARA - ROSANO, Felipe. PhD
Universidad de Aachen

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD
Syracuse University

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD
Institute of Technology

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD
Universidad Gestalt

Comité Arbitral

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

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

GONZALEZ - MARRON, David. PhD
Instituto Tecnológico de Pachuca

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

ALONSO - CALPEÑO, Mariela J. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Atlixco

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

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

FERREIRA - MEDINA, Heberto. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

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

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

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

Cesión de Derechos

El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Innovativa 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 Perú 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 Artículo 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 Artículo 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 homologo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceania. 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 Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología y a otros temas vinculados a las Ingeniería y Tecnología.

Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos, *Sistema de riego inteligente para el cultivo del nogal*, por ESPARZA-DELGADO, María del Carmen, PEREZ-ORTEGA, Eva Claudia y CHAVIRA-ALVAREZ, Alberto, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Chihuahua, como segundo artículo presentamos, *Estudio cinemático de la mano para movimiento de oposición del dedo pulgar y movimientos de flexión y extensión de los dedos índice, medio, anular y meñique*, por RUIZ-CHICAIZA, Pablo & CEVALLOS-BARRAGÁN, Carlos, con adscripción en la Escuela Politécnica Nacional LNMB y la Université Libre de Bruxelles, como tercer artículo presentamos, *Generador de Agua mediante el uso de Celdas Peltier y Energía Solar*, por CHÁVEZ, José Manuel, ESPEJEL-BLANCO, Daniel Fernando, HERNÁNDEZ-AGUIRRE, Fredy Alberto y RASCÓN-BARCELÓ, Luis Eduardo, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Hermosillo, como último artículo presentamos, *Construcción de un prototipo anaerobio para el tratamiento de aguas residuales*, por RODRIGUEZ-MORALES, José Alberto, SILVA- GARCIA, Gabriela Guadalupe, RAMOS-LOPEZ, Miguel Ángel y LEDESMA-GARCIA, Janet, con adscripción en la Universidad Autónoma de Querétaro.

Contenido

Artículo	Página
Sistema de riego inteligente para el cultivo del nogal ESPARZA-DELGADO, María del Carmen, PEREZ-ORTEGA, Eva Claudia y CHAVIRA-ALVAREZ, Alberto <i>Universidad Tecnológica de Chihuahua</i>	1-9
Estudio cinemático de la mano para movimiento de oposición del dedo pulgar y movimientos de flexión y extensión de los dedos índice, medio, anular y meñique RUIZ-CHICAIZA, Pablo & CEVALLOS-BARRAGÁN, Carlos <i>Escuela Politécnica Nacional</i> <i>LNMB, Université Libre de Bruxelles</i>	10-21
Generador de Agua mediante el uso de Celdas Peltier y Energía Solar CHÁVEZ, José Manuel, ESPEJEL-BLANCO, Daniel Fernando, HERNÁNDEZ- AGUIRRE, Fredy Alberto y RASCÓN-BARCELÓ, Luis Eduardo <i>Instituto Tecnológico de Hermosillo</i>	22-28
Construcción de un prototipo anaerobio para el tratamiento de aguas residuales RODRIGUEZ-MORALES, José Alberto, SILVA- GARCIA, Gabriela Guadalupe, RAMOS-LOPEZ, Miguel Ángel y LEDESMA-GARCIA, Janet <i>Universidad Autónoma de Querétaro</i>	29-41

Sistema de riego inteligente para el cultivo del nogal

Smart irrigation system for pecan walnut tree cultivation

ESPARZA-DELGADO, María del Carmen†*, PEREZ-ORTEGA, Eva Claudia y CHAVIRA-ALVAREZ, Alberto

Universidad Tecnológica de Chihuahua, Mecatrónica y Energías Renovables

ID 1^{er} Autor: *María Del Carmen, Esparza-Delgado* / ORC ID: 0000 0001 8276 6031, Researcher ID Thomson: S-7823-2018, CVU CONACYT ID: 520791

ID 1^{er} Coautor: *Eva Claudia, Perez-Ortega* / ORC ID: 0000-0002-4739-9237, Researcher ID Thomson: S-6728-2018, CVU CONACYT ID: 388994

ID 2^{do} Coautor: *Alberto, Chavira-Alvarez* / ORC ID: 0000-0002-2705-6851, Researcher ID Thomson: S-7881-2018, CVU CONACYT ID: 250601

DOI: 10.35429/JOIE.2019.11.3.1.9

Recibido Junio 27, 2019; Aceptado Septiembre 30, 2019

Resumen

La agricultura es la actividad que demanda mayor cantidad de agua dulce, de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua, el 82.9% del agua extraída es para uso agrícola y gran parte de ésta se pierde en el proceso de riego por contar con sistemas ineficientes, por sobre irrigar, por evaporación o por filtración. El presente artículo muestra el diseño de un sistema de riego inteligente en tiempo real para determinar el momento oportuno y cantidad de agua suministrada, considerando como indicadores las condiciones del medio ambiente, suelo y los requerimientos hídricos del nogal, el sistema integra el balance de humedad del suelo, las condiciones climáticas, ajusta automáticamente las dosis de riego y los momentos de aplicación, para hacer un uso eficiente del agua y mejorar la respuesta del cultivo, que se traduce en ahorro del vital líquido y energía permitiendo asegurar la sustentabilidad y rentabilidad de las prácticas de riego. Como resultado, el uso de la tecnología ha permitido mejorar el sistema de riego. La comodidad, ahorro e incrementos productivos son algunos de los beneficios de la tecnología la cual ha ido avanzando e introduciéndose en todos los sectores y el campo no es la excepción.

Riego inteligente, Nogal, Desarrollo tecnológico

Abstract

Agriculture is the activity that demands a greater amount of fresh water, according to the national water Commission, the 82.9% of the extracted water is of agricultural use and a great part of this is lost in the process of irrigation have inefficient systems, above irrigate, by evaporation or filtration. This article shows the design of an intelligent in real time to determine the right time irrigation system and quantity of water supplied, considering as indicators the conditions of climate, soil and water of the walnut tree requirements, the system integrates soil, weather conditions, moisture balance automatically adjusts irrigation doses and times of application to make efficient use of water and improve the response of the crop which translates into saving the vital liquid and energy allowing to ensure the sustainability and profitability of irrigation practices. As a result, the use of technology has improved the irrigation system. Convenience, savings, and production increases are some of the benefits of the technology, which has advanced and entering all sectors and the field is no exception.

Smart irrigation system, Pecan, Technology development

Citación: ESPARZA-DELGADO, María del Carmen, PEREZ-ORTEGA, Eva Claudia y CHAVIRA-ALVAREZ, Alberto. Sistema de riego inteligente para el cultivo del nogal. Revista de Ingeniería Innovativa. 2019. 3-11: 1-9

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: cesparza@utch.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

Introducción

Uno de los problemas que se ha incrementado a nivel mundial en los últimos años es el abastecimiento de agua, cada día se convierte en un recurso escaso y costoso. La mala gestión, distribución, métodos y falta de conciencia son algunos de los principales problemas que contribuyen a la pérdida del vital líquido.

De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la agricultura es la actividad que demanda mayor cantidad de agua dulce, ocupando el 82.9% del agua extraída. En el proceso de riego gran parte del vital líquido se pierde por contar con sistemas ineficientes, por sobre irrigar, por evaporación o por filtración, aunado a ello, el crecimiento de la población implica incrementos en la producción agrícola y para subsanar los requerimientos de agua en los últimos años se han sobreexplotado los mantos freáticos. De acuerdo a la CONAGUA aproximadamente el 80% de la superficie de los cultivos se riegan actualmente con agua subterránea, el agua subterránea presenta mayor concentración de sales que afectan el cultivo y las redes de distribución (Cruz, 2017).

Con el tiempo se han efectuado mejoras en las técnicas de riego, entre las principales se encuentra el riego por inundación, por aspersión, por goteo y micro aspersión. Para el control del riego algunas técnicas incluyen sistemas automatizados que permiten un consumo de agua más reducido, sin embargo estos sistemas son costosos, complicados en su operatividad, requieren de capacitación específica de operación y no están diseñados para las necesidades específicas de hidratación del cultivo.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema de riego inteligente en tiempo real que considere las características del cultivo para determinar el momento oportuno y cantidad de agua, es decir, cuándo y cuánto regar, evitando el estrés de la planta por falta de riego o por sobre irrigación, por lo que se propone, crear una estrategia de control de riego que permita el uso eficiente del recurso hídrico en función de las variables del cultivo, condiciones climatológicas del entorno, humedad del suelo y determine la frecuencia, intermitencia y duración del riego.

Justificación

El cultivo del nogal pecanero es altamente rentable en toda su cadena productiva y de comercialización (Orona, 2013), por lo que se sostiene en continua expansión. Efectuando un análisis de la evolución de la producción podemos ver que a través de los años se han incorporado mejoras en las técnicas de riego del nogal, por ejemplo, estados como Sonora y la Comarca Lagunera tienen una tendencia al riego por goteo, en Nuevo León prevalece el riego por superficie y en Chihuahua y Norte de Coahuila predomina el riego por aspersión y micro aspersión (Méndez & Irving, 2014) de igual manera se han introducido cambios en el manejo de podas, la densidad del arbolado y materiales genéticos con grandes beneficios que permiten tener una cosecha en menor tiempo de buena calidad y cantidad.

Respecto al clima y uso del agua podemos decir que, los grandes productores de nuez, como el Estado de Chihuahua, registran temperaturas extremas que van desde -20°C en invierno, a 50°C en verano (Esparza, Herrera, & Solorio, 2017), por tanto la demanda de agua por temporada también es variable y a lo anterior se suma que son regiones de limitada disponibilidad del líquido.

Estudios efectuados por la SAGARPA muestran que los cultivos en la actualidad se riegan en un 80% aproximadamente con agua subterránea y que los acuíferos se encuentran sobreexplotados, por otro lado se debe considerar que el agua subterránea presenta comúnmente mayores concentraciones de sales solubles y sodio que las aguas superficiales, cabe mencionar que la cantidad de sales demerita la calidad del agua. De sostenerse un crecimiento en la producción de la nuez pecanera como hasta ahora, se verá un incremento en la sobre explotación de las fuentes naturales a su máxima capacidad.

Respecto al costo del riego, éste comprende, el costo de energía de extracción, equipo de bombeo, sistema de riego, mantenimiento y el costo del agua, el cual representa entre el 5 al 10 por ciento del costo de producción, es decir es mínimo.

Del análisis anterior se desprende lo siguiente: en la actualidad el riego se efectúa sin considerar su optimización, el avance tecnológico utilizado hasta ahora no se traduce a un uso más eficiente del agua porque no está respaldado por análisis profundo de los requerimientos de agua por cultivo, el costo del riego no es un problema de gran impacto, el problema real lo representa la expansión del cultivo y su sostenibilidad que demandaran la explotación de nuevas fuentes del recurso.

Esto significa que es imperante el desarrollo de tecnología para un uso eficiente del agua de riego con una visión integral.

Ante un inminente crecimiento en la producción de nuez en México el manejo del agua es el eje central de la propuesta de este proyecto de desarrollo tecnológico.

El presente proyecto pretende desarrollar una alternativa de solución mediante el desarrollo de una estrategia de uso y un sistema innovador específico que optimice el consumo de agua, para no seguir comprometiendo el recurso hídrico de las nuevas generaciones.

Objetivo

Desarrollar un sistema de riego inteligente que permita el uso eficiente del recurso hídrico, considerando la programación de riego en tiempo real y decida la intermitencia, frecuencia y duración, en función de las necesidades del cultivo, condiciones climatológicas y condiciones de humedad del suelo.

Metodología

El presente proyecto se desarrolla para determinar la estrategia más adecuada que permita optimizar el aprovechamiento del agua para el cultivo del nogal, en función de los requerimientos hídricos de la planta y las condiciones ambientales, de modo que su operación sea sencilla y económica.

El diseño y desarrollo del prototipo se basa en el modelo general para la creación de prototipos, la primera etapa consiste en el análisis de la problemática y alcance del proyecto, en esta etapa se establecieron los indicadores y parámetros de trabajo.

La segunda etapa es diseño, contempla la identificación de dispositivos, elementos y requerimientos para la construcción del prototipo, la tercera etapa, se desarrolla la programación del sistema y calibración de sensores la cuarta etapa es de pruebas de funcionamiento y la quinta etapa es la prueba experimental.

A continuación se detallan cada una de las etapas:

Etapa 1. Indicadores y parámetros de trabajo

Como parte inicial, se determinaron los indicadores representativos para el monitoreo de medio ambiente, suelo y cultivo, así como los parámetros de funcionamiento del sistema de riego, que permitan aplicar la cantidad de agua en el momento oportuno, maximizando la eficiencia del riego.

Los parámetros de humedad se establecieron considerando, la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) que son los límites que definen la necesidad de agua de un cultivo. La capacidad de campo se define como la cantidad de agua que es capaz de retener el suelo después de saturado y dejado drenar libremente por espacio de 24 a 72 horas, cuando éste se encuentra lleno de agua se dice que el perfil está al 100% de su contenido de humedad disponible, el punto de marchitez permanente (PMP) es el contenido de agua en el suelo después que el cultivo extrajo toda el agua utilizable y queda un cierto contenido, tan fuertemente retenido que no es extraíble por el cultivo, al contenido de agua por sobre el punto de marchitez y por debajo de la capacidad de campo del suelo, se denomina humedad aprovechable (HA).

De acuerdo a la fenología del nogal el periodo de dormancia, es el periodo invernal en el que la actividad metabólica y crecimiento se reduce al mínimo y en general desde octubre a mediados de marzo las nogaleras no reciben riego, la práctica sugiere regar la segunda quincena de enero para evitar la sequedad y muerte de raíces delgadas superficiales (Tarango, 2012), por otro lado hay investigaciones que sugieren que en esta etapa un nogal adulto requiere de 50L de agua por día (Valdez G., 2001).

En los periodos siguientes que son el nacimiento del brote, crecimiento de brote, crecimiento y desarrollo de fruto, los requerimientos de agua varían según el periodo (Tarango, 2012), de acuerdo a los resultados encontrados por Herrera (1990), Sparks y Yates (1995) y Godoy-Ávila (1996), una vez que el fruto ha alcanzado su madurez fisiológica, el factor principal que controla la apertura del ruzno es la disponibilidad de agua en el suelo, sugiriéndose mantener, durante este período, 50% de la humedad aprovechable para acelerar la apertura y así disminuir de manera significativa el número de nueces germinadas (Godoy Avila, 2005). El umbral de riego o déficit permisible se considera de entre 40% a 70% de humedad aprovechable (HA), en la etapa de crecimiento (Antúnez Barría, 2009).

Por otro lado no solo la falta de irrigación es perjudicial, también la sobre irrigación, un exceso de humedad en las raíces provoca hongos y la falta de oxigenación la muerte de las raíces nuevas en un periodo de 1 a 4 días (Ferreira E., Sellés Van S., & Sellés M., 2001). Considerando que el árbol no requiere la misma cantidad de agua durante el año y siguiendo los tiempos de desarrollo del nogal se determina la estrategia de riego adecuada para optimizar el aprovechamiento del agua para el cultivo del nogal en función del su fenología y condiciones del medio ambiente y suelo.

Etapa 2. Prototipo

El sistema se conforma de un dispositivo de control, sensores, electroválvula y software que procesa la información proporcionada para tomar la decisión de accionar el funcionamiento general del sistema de riego, la operatividad del sistema es monitoreado por internet con dispositivos móviles a través de un cerebro central como servidor. El programa fue desarrollado con los algoritmos necesarios para el procesamiento de información, control, comunicación y entorno para interactuar con el sistema de riego. Los principales elementos que integran el prototipo son:

Micro controladores. Se utilizaron dos tipos de placas Arduino, la MEGA y la NANO, la MEGA, es un micro controlador con 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida, 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16MHz, una conexión USB, botón de reinicio y una entrada para la alimentación de la placa.

El NANO, es un micro controlador más sencillo, con funciones básicas que permitieron el desarrollo de uno de los prototipos de forma amigable.

Sensor de Humedad de Suelo Tipo Higrómetro FC-28. Conocido también como higrómetro de suelo FC-28, es un sensor que mide la humedad del suelo, por la variación de su conductividad.

El FC-28 se distribuye con una placa de medición estándar que permite obtener la medición como valor analógico o como una salida digital, activada, cuando la humedad supera un cierto umbral. Los valores obtenidos van desde 0 sumergido en agua, a 1023 en el aire o en un suelo muy seco. Un suelo ligeramente húmedo daría valores típicos de 600-700. Un suelo seco tendrá valores de 800-1023. La salida digital dispara cuando el valor de humedad supera un cierto umbral, que ajustamos mediante el potenciómetro. Por tanto, obtendremos una señal LOW cuando el suelo no está húmedo, y HIGH cuando la humedad supera el valor de consigna. El valor concreto dependerá del tipo de suelo y la presencia de elementos químicos, como fertilizantes.

Micro aspersor. Los micro aspersores están destinados a suministrar el riego mediante gotas muy finas, poseen un deflector giratorio, denominado rotor o bailarina, que ayuda a ofrecer un mayor diámetro de cobertura, una menor tasa de precipitación que los difusores, un mayor tamaño de gota, y una mejor distribución del agua (sobre todo en uniformidad de distribución). Todos los componentes son intercambiables, permitiendo utilizar el diseño más apropiado para cada necesidad.

Sensor de flujo. El sensor de flujo permite determinar si hay circulación de un fluido en una tubería es decir estos sensores nos indican la ausencia o presencia de flujo, pero no miden el caudal. El sensor internamente tiene un rotor cuyas paletas tiene un imán, la cámara en donde se encuentra el rotor es totalmente aislado evitando fugas de agua, externamente a la cámara tiene un sensor de efecto hall que detecta el campo magnético del imán de las 48 paletas y con esto el movimiento del rotor, el sensor de efecto hall envía los pulsos por uno de los cables del sensor, los pulsos deberán ser convertidos posteriormente con la placa de Arduino.

Electroválvula solenoide de 1/2' N/C 12VDC. Una electroválvula utilizada es una válvula electromecánica, que se energiza o desenergiza para abrir o cerrar un orificio de paso y permitir o bloquear el flujo de agua. Este dispositivo está diseñado para el control unidireccional (un solo sentido) y es sumamente práctico y eficiente, su instalación y mantenimiento son sumamente sencillos. Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica, mediante magnetismo, en energía mecánica para actuar la válvula.

La electroválvula utilizada en el presente proyecto es normalmente cerrada, eso significa que cuando se aplica 12VDC en los dos terminales, la válvula se abre y el agua puede fluir. El flujo del líquido solo va en una sola dirección.

Sensor de corriente ACS712. El sensor de corriente ACS712 internamente trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo. El sensor nos entrega una salida de voltaje proporcional a la corriente, para rangos de 5, 20 o 30 amperios respectivamente.

Sensor de voltaje (FZ0430). El sensor de voltaje FZ0430 es un módulo comercial que nos permite medir tensiones de hasta 25V de forma sencilla con un procesador Arduino. El funcionamiento del sensor está basado en un divisor de resistencia para reducir la tensión, de modo que vaya a una entrada analógica de una placa Arduino.

Pantalla LCD. Una pantalla LCD son dispositivos diseñados para mostrar información en forma gráfica. LCD significa Liquid Crystal Display (Display de cristal líquido). La mayoría de las pantallas LCD vienen unidas a una placa de circuito y poseen pines de entrada/salida de datos. Mediante el hardware software Arduino se podrán mostrar los datos obtenidos en la prueba experimental del proyecto.

Relay. Un relee o relay permite controlar el encendido y apagado de cualquier aparato que se conecte a una fuente de alimentación eléctrica externa. El relee hace de interruptor y se activa y desactiva mediante una entrada de datos. Gracias a esto podemos controlar el encendido de cualquier aparato.

Sensor de temperatura y humedad ambiente (DHT11). El DHT11 es un sensor de temperatura y humedad digital de bajo costo. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no hay pines de entrada analógica). Es bastante simple de usar, pero requiere sincronización cuidadosa para tomar datos.

Módulo Lector Memoria Micro SD. Este módulo permite leer y escribir tarjetas de memoria Micro SD estándar y SDHC (alta velocidad) por medio de una interfaz SPI. Es perfecto para almacenar datos desde tu Arduino o micro controlador.

Serial Real Time Clock. Real-Time-Clock Serie, es un dispositivo de bajo consumo de energía, completo con código binario decimal (BCD), reloj/calendario más 56 bytes de NV SRAM. Dirección y datos son transferidos a través de 2 hilos serie, bus bi-direccional. El reloj/calendario provee información de, segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. Reloj en tiempo real (RTC) Cuenta segundos, Minutos, horas, fecha del mes, mes, día de la semana, y año con año bisiesto Compensación Válido hasta 2100.

Funcionamiento general. Los sensores recolectan la información del suelo y medio ambiente, el microprocesador efectúa el proceso de información, analiza, compara y decide de acuerdo con la programación el funcionamiento o no de los actuadores. La información recolectada por los sensores y el estado de funcionamiento del sistema se envía por mensaje a dispositivos móviles.

Se diseñaron dos prototipos el primero mide temperatura y humedad de medio ambiente y envía la información a celular por medio de mensaje.

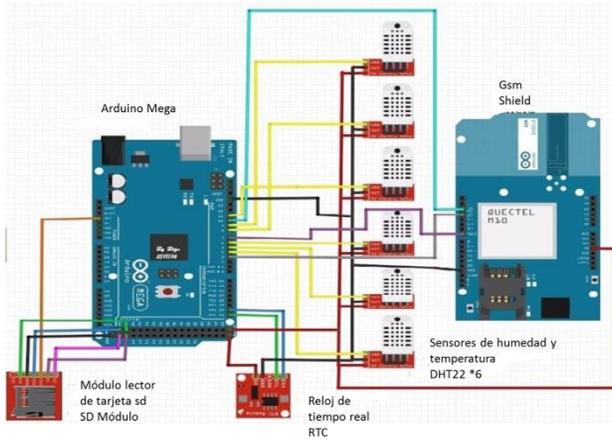


Figura 1 Prototipo I, con 6 sensores de humedad y temperatura, reloj de tiempo real, módulo de lector de tarjeta SD, GSM, y micro controlador arduino mega.

Fuente: *Elaboración Propia*

El prototipo II incluye dos higrómetros FC-28, display y electro válvula.

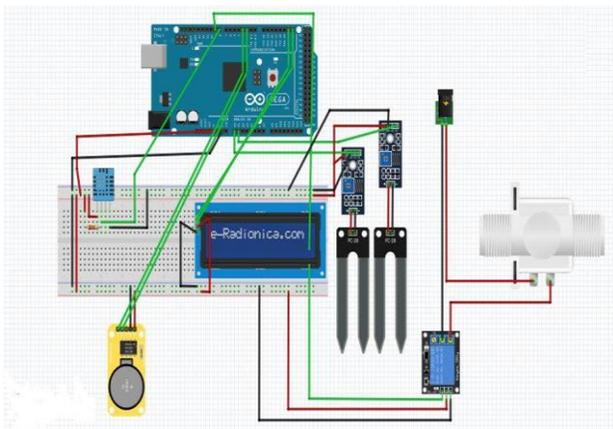


Figura 2 Prototipo II, con dos sensores de humedad de suelo, display, electroválvula, y sensor de humedad y temperatura.

Fuente: *Elaboración Propia*

Etapa 3. Programación del sistema y calibración de sensores

Se diseñó el algoritmo para la toma de decisiones que integra el balance de humedad del suelo, las condiciones climáticas y ajusta la dosis de riego y el momento de aplicación de acuerdo a los requerimientos hídricos tomando en cuenta la fenología del nogal. La calibración de sensores se efectúa in situ, de manera que el CC del suelo represente el 100% de humedad y a partir de ahí establecer los límites de trabajo del sistema.

Etapa 4. Pruebas de funcionamiento

Se diseñó un contenedor de base cuadrada de 0.5x0.5x0.7m el cual se llenó con tierra de características similares a las de un suelo franco.

Se efectuaron pruebas de funcionamiento de los sensores de humedad simulando condiciones de sequía, saturación media, suelo saturado y sobre saturado.

Posteriormente se efectuaron pruebas integrando el sensor de temperatura y humedad del medio ambiente y finalmente se incorpora la variable del ciclo anual del nogal, el cual introduce parámetros de variación de requerimientos de humedad en el suelo de acuerdo a la fenología del nogal.

Etapa 5. Prueba experimental

El prototipo actualmente se encuentra funcionando para un árbol de 10 años seleccionado como unidad de experimentación, con un sistema de riego por goteo.

Conforme al crecimiento radical del nogal que llega a alcanzar alrededor de dos veces el diámetro de la copa (Ávalos, 1994), se instalan los sensores a un radio aproximado de 5 m del tronco y considerando que los nogales extraen más del 90% del agua del estrato de suelo de 0 a 0.90m (Godoy, 1994), los sensores S1 y S2 se localizan a 0.3 y 0.45 m de profundidad. El sensor de temperatura y humedad del medio ambiente, se coloca a 1.6 m de altura situado estratégicamente para que no le de sombra.

El tipo de suelo se identifica como suelo franco y de acuerdo a la clasificación de propiedades físicas por textura propuesto por Israelsen y Hansen (1979), los parámetros promedio que lo identifican son: porosidad 47%, densidad 1.4 g/cm³, capacidad de campo 22% y agua disponible 17% en volumen. Se hace uso de una PC principal, módulos de comunicación y conexión a internet para la transferencia de datos a unidades remotas.

Resultados

Se determinó la estrategia de riego adecuada para optimizar el aprovechamiento del agua para el cultivo del nogal en función de su fenología y condiciones del medio ambiente y suelo, cabe hacer mención que la estrategia se presenta para un tipo de suelo específico, teniendo el sistema la capacidad de modificar los criterios de trabajo de acuerdo a las características del suelo, cultivo y condiciones de medio ambiente.

Se desarrolló el algoritmo computacional para la toma de decisiones bajo un esquema multi criterio. De acuerdo a la programación, el riego debe iniciar antes del periodo de brotación, los sensores de suelo permiten el riego hasta que el porcentaje de humedad se incrementa y llega al valor de referencia entonces, cierra. Cuando el sensor del ambiente detecta humedad igual o mayor al valor de referencia de humedad externa y la temperatura disminuye se envía la señal de cierre, lo cual sucederá cuando exista precipitación en forma sólida o líquida. Para la etapa de crecimiento del nogal, los valores de referencia de los sensores de suelo se programan con niveles de referencia distintos debido a que se encuentran localizados a diferente profundidad, el sensor S2 enviará señal de cierre cuando la humedad sea 70% y el S1 cuando la humedad sea del 40%.

En la tercera etapa, llenado de la almendra, el porcentaje de humedad se establece para ambos sensores en 100% que de acuerdo a la programación es el CC para el tipo de suelo elegido. El resto del año, es denominado, etapa de dormancia, el indicador de humedad en esta etapa, bajará hasta un 30%. En cualquiera de las etapas de crecimiento del nogal el sensor externo S4, al detectar incremento de humedad por precipitación enviará la señal de cierre de bombas.

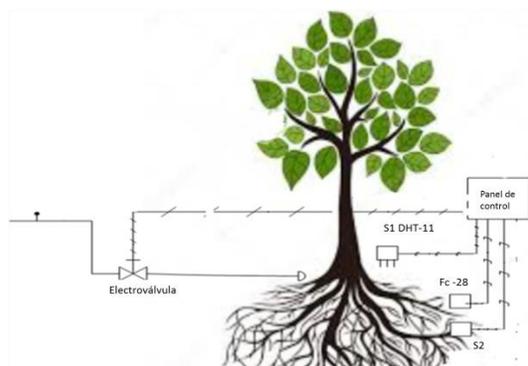


Figura 3 Muestra la ubicación de los sensores de humedad y temperatura en suelo y aire.
Fuente: *Elaboración Propia*

Distribución de los dispositivos de medición y control, S1 y S2 son sensores de humedad para el suelo, el S4 es un sensor de temperatura y humedad para el medio ambiente. Se diseñó un sistema integral que permite relacionar los requerimientos de humedad del árbol con las condiciones de humedad del suelo y clima.

En base a los requerimientos de humedad del árbol de nogal y la capacidad de campo del suelo, y con apoyo de los sensores se establecieron los indicadores y parámetros de trabajo requeridos para la programación de funcionamiento del sistema.

Nivel de humedad del suelo en % de Capacidad de Campo para suelo Franco.		
Etapa de crecimiento del nogal	Semana	% Humedad CC
Inicio de crecimiento	1 a 6	100
Crecimiento y desarrollo	7 a 19	70
Llenado de la almendra	19 a 29	100
Dormancia	29 a 52	30

Tabla 1 Etapa de crecimiento del nogal y nivel de humedad del suelo en % de la Capacidad de Campo (CC) para suelo FRANCO
Fuente: *Elaboración Propia*

Se diseñó un sistema inteligente que permite el uso eficiente del agua con capacidad de decidir el riego oportuno en base a las condiciones de suelo-árbol-ambiente.

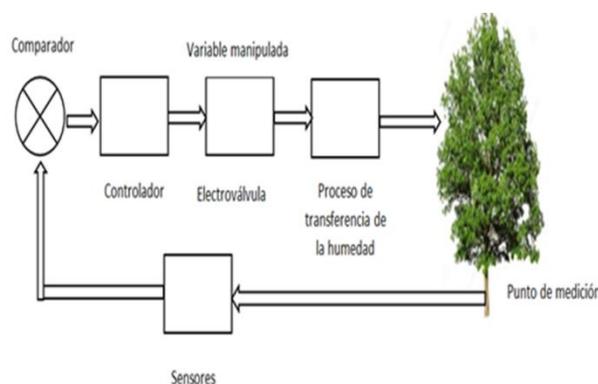


Figura 4 Sistema de lazo cerrado que esquematiza el funcionamiento del prototipo
Fuente: *Elaboración Propia*

Sistema es un sistema de lazo cerrado, los sensores recolectan la información, se recibe por el comparador que contiene la información de necesidades de hidratación del nogal, la información procesada es recibida por el controlador, es ahí donde se decide la acción a tomar y envío de señal para accionar o no la electroválvula que de paso al proceso de transferencia de humedad adicional o continuar con el estatus actual.

Se diseñó un sistema de comunicación inalámbrico y un sistema que permite la acción del sistema a distancia.

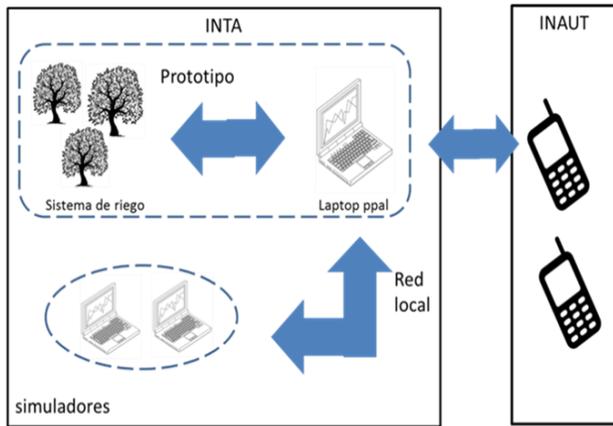


Figura 5 Esquema general de prototipo del sistema de riego inteligente

Fuente: Elaboración Propia

El prototipo I nos muestra la conexión que sirve de base para la comunicación a distancia y el accionamiento del sistema por medio de comandos sencillos enviados por mensaje, además de enviar en tiempo real los datos generados por el sistema.

Conclusiones

Se diseñó un sistema de riego inteligente que determina el momento oportuno y cantidad de agua a suministrar tomando en cuenta como indicadores las condiciones del medio ambiente, suelo y los requerimientos hídricos del nogal. El sistema integra la humedad del suelo, las condiciones climáticas, ajusta automáticamente las dosis de riego y los momentos de aplicación para hacer un uso eficiente del agua.

La comodidad, ahorro e incrementos productivos son algunos de los beneficios de la tecnología la cual ha ido avanzando e introduciéndose en todos los sectores y el campo no es la excepción.

Agradecimientos

A la Universidad Tecnológica de Chihuahua, por darnos la oportunidad de desarrollar proyectos de interés a la comunidad que permiten la transferencia de tecnología en el ámbito educativo y empresarial.

A los estudiantes en Estadía de la carrera de Mecatrónica; Ramón Rodríguez Reyes y Brayan Torres Gómez, por su brillante participación en el diseño, desarrollo, programación y armado de los prototipos.

Recomendaciones

Se recomienda continuar con el funcionamiento experimental del prototipo y generar información de al menos tres años, de manera que se pueda constatar no solo el ahorro agua, sino el efecto si es que lo hay del árbol unidad experimental. Se recomienda efectuar el comparativo de consumo de energía, respecto a un sistema de riego similar al de experimentación.

Referencias

Alderete y Socios Consultoría Industrial. (junio de 2015). Estudio de Mercado Estratégico de la Nuez Pecanera. Chihuahua, Chih., México.

Antúnez Barría, A. (2009). Manejo del Riego en Nogales. En I. d. Agropecuarias (Ed.), *InnovaChile CORFO*, 22, págs. 1-4. Chile.

ASERCA. (2002). Nuez, análisis de su rentabilidad. *ASERCA*, 3-30.

Ávalos, M. (1994). Uso del agua durante la brotación y crecimiento inicial del brote en el nogal (*Carya illinoenses* K) a diferentes inicios de riego. *Tesis de posgrado*, 1-80. Centro de Investigación y Graduados Agropecuarios ITA No. 10.

Bretals. (1986). *Microcomputer based irrigation management and contro sistem*. Paper N°86-1223 Sf. Joseph, MI.USA.: ASAE.

Chihuahua, G. d. (2010). *Analisis de competitividad, Nuez*. Recuperado el 4 de mayo de 2016, de <http://www.chihuahua.gob.mx/atach2/sdr/uploa ds/File/nuez.pdf>

CONAGUA. (2015). *Estadística del Agua en México*. México: SEMARNAT.

Cruz, F. A. (julio de 2017). Familias de agua subterránea y distribución de sólidos totales disueltos en el acuífero de La Paz Baja California Sur, México. (T. Latinoamericana, Ed.) *scielo.org.mx*, 11.

Esparza, D. C., Herrera, P. E., & Solorio, R. L. (Diciembre de 2017). Sistema de Climatización Geotérmico de Baja Entalpía. (ECORFAN, Ed.) *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 3(10), 7.

ESPARZA-DELGADO, María del Carmen, PEREZ-ORTEGA, Eva Claudia y CHAVIRA-ALVAREZ, Alberto. Sistema de riego inteligente para el cultivo del nogal. *Revista de Ingeniería Innovativa*. 2019.

Ferreyra E., R., Sellés Van S., G., & Sellés M., I. (2001). Riego Deficitario Controlado en Nogales. *Estrategias de Riego para enfrentar situaciones de escasez de agua en frutales*, 58, 1-36.

Gobierno del Estado de Chihuahua. (2010). *Análisis de competitividad, Nuez*. Recuperado el 4 de mayo de 2016, de <http://www.chihuahua.gob.mx/attach2/sdr/uploads/File/nuez.pdf>

Godoy Avila, C. X.-J.-J.-E. (octubre-diciembre de 2005). Comportamiento Hídrico de hojas y frutos de nogal pecanero y su relación con la calidad y germinación de frutos. *Terra Latinoamericana*, 23, 505-5013.

Godoy, A. C. (1994). Manejo del agua en diferentes etapas fenológicas del nogal. *XII Conferencias Internacionales sobre cultivo del nogal*, (págs. 128-137). Delicias, Chihuahua.

Israelsen-Hansen. (1979). *Principios y Aplicaciones del Riego*. (Reverté, Ed.) España.

Martin, E. (2000). Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego. *Cooperative Extension*.

Méndez, G., & Irving, C. (2014). *Diagnóstico de la Red de valor Nuez en el Estado de Coahuila*. Saltillo, Coahuila: Universidad Autónoma Agraria, Antonio Narro, División de ciencias económicas.

Orona, I. (mayo de 2013). Producción y comercialización de nuez pecanera (*Carya Illinoensis Koch*) en el norte de Coahuila, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3).

SAGARPA. (2012). *La Nuez Pecanera Mexicana "La reina de las frutas secas"*. Recuperado el 4 de mayo de 2016, de http://2006-2012.sagarpa.gob.mx/agricultura/productodetemporada/_layouts/mobile/disppform.aspx?List=75320ba8-c685-403d-a5aa-b32646bacf02&View=5050ddad-bb6c-4d20-8e46-97b7179e8410&ID=68

SAGARPA, & F. P. (2013). *Demanda del Sector 2011-2013*. México.

Santos Pereira, L., De Juan Valero, J. A., Picornell Buendía, M. R., & Tarjuelo, M.-B. J. (2004). *El riego y sus tecnologías*. (E. E.-A. Lisboa, Ed.) Lisboa, Portugal: CREA-UCLM.

Tarango, R. S. (2012). *Manejo del nogal pecanero con base a su fenología*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Norte-Centro, Campo experimental Delicias. Delicias, Chihuahua, México: SAGARPA, Gobierno Federal.

Valdez G., B. (2001). *Irrigación. En: El nogal pecanero en Sonora*. Sonora, Mexico: CECH-INFAP.

Estudio cinemático de la mano para movimiento de oposición del dedo pulgar y movimientos de flexión y extensión de los dedos índice, medio, anular y meñique

Hand kinematic study for the thumb opposition movements and the flexion-extension movements of the index, medium, annular and little fingers

RUIZ-CHICAIZA, Pablo*†¹ & CEVALLOS-BARRAGÁN, Carlos^{1,2}

¹Escuela Politécnica Nacional – Facultad de Ingeniería Mecánica – Departamento de Ingeniería Mecánica

²LNMB, Université Libre de Bruxelles, Neuroscience Institut, Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium

ID 1^{er} Autor: Pablo, Ruiz-Chicaiza / ORC ID: 0000-0003-2397-1240

ID 1^{er} Coautor: Carlos, Cevallos-Barragán / ORC ID: 0000-0002-4699-670X

DOI: 10.35429/JOIE.2019.11.3.10.21

Recibido 19 de Marzo, 2019; Aceptado 30 de Junio, 2019

Resumen

El presente estudio analiza la cinemática articular de la mano para el movimiento de oposición del dedo pulgar y los movimientos de flexión y extensión de los dedos. Se utilizó captura de movimiento (MOCAP) con fotogrametría en un laboratorio especializado. Los datos de MOCAP fueron obtenidos con la ubicación de marcadores pasivos en puntos anatómicos de la mano, recomendados por la Sociedad Internacional de Biomecánica (ISB). El estudio se realizó en nueve participantes sin ningún tipo de problema neuronal, reumatológico o traumatológico. Para el análisis de los datos, se utilizó un método de análisis por rotación de juntas tridimensionales. Se demarcaron ciclos estándares para los rangos de movimiento propuestos. Posteriormente, los datos conseguidos fueron alimentados en un modelo virtual mediante el software "OpenSim" para simular los rangos de movimientos obtenidos y corroborar con estudios similares. Se concluye que los rangos de movimiento de cada una de las articulaciones de la mano en los gestos realizados son acordes a estudios similares. Con esto, se permite un posterior estudio de mayor alcance relacionado a la comparación de desórdenes motrices de la mano contra parámetros normales de la población.

Articulación, cinemática, fotogrametría

Abstract

Present work studies hand articular kinematics for opposition movements of the thumb and flexion-extension movements of the fingers. We gathered data by means of Motion capture (MOCAP) photogrammetry and passive markers on the participant hand located in anatomical points recommended by International Society of Biomechanics (ISB). We collected data from nine participants who did not have any neuronal, rheumatologic or traumatological problems. Cycles were demarcated for the study's ranges of movement and analyzed with the rotation of three-dimensional joints method. Subsequently, obtained data was fed in a virtual model in 3D through the software "OpenSim" to simulate the obtained ranges of movement and compared with similar studies. We found that with the proposed methodology, ranges of movement for each hand joint in the performed exercises are acceptable between subjects and according to similar studies. This will allow a later study of greater scope focused in the comparison of people suffering from hand disorders compared to a population standard.

Joints, kinematic, photogrammetric

Citación: RUIZ-CHICAIZA, Pablo & CEVALLOS-BARRAGÁN, Carlos. Estudio cinemático de la mano para movimiento de oposición del dedo pulgar y movimientos de flexión y extensión de los dedos índice, medio, anular y meñique. Revista de Ingeniería Innovativa. 2019. 3-11: 10-21

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: pandrer9@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

Introducción

El campo de estudio de la biomecánica tiene importancia en el desarrollo de métodos y técnicas para el análisis de la fisiología de movimiento dentro del cuerpo humano (Cheron et al., 2016; González, 2019; Tamayo Bullon, 2019). Las diferentes áreas de estudio, como son la antropometría, la cinemática, la cinética y la electromiografía (EMG) ayudan a evaluar de forma específica las características funcionales de movimiento que tiene la mano. Dentro de estas áreas, realizar un estudio del movimiento de las articulaciones (cinemática articular) permite obtener estándares para validar el movimiento de objetos robóticos y comparación de movimientos en estudios biomédicos (Conti, Meli, y Ridolfi, 2016; Davis, Ounpuu, Tyburski, y Gage, 1991; Lee y Jung, 2015).

El área de estudio de la cinemática de la mano se enfoca en evaluar ángulos, trayectorias, velocidades y las aceleraciones, a partir de los gestos funcionales. Existen técnicas que facilitan la evaluación del movimiento cinemático, no obstante, cada una cuenta con distintos alcances. Algunas de las técnicas utilizadas para el estudio cinemático de la mano son: rayos-X, imágenes por resonancia magnética, goniómetros manuales, electro goniometría, video análisis, y marcadores basados en sistemas de análisis de movimiento (Lee y Jung, 2015).

En el trabajo de Baker et al. (2007) se realizó el cálculo de las posturas de la muñeca y los dedos de la mano, en el que comparó las técnicas de goniometría y capturas de movimiento, donde resalta la dificultad de identificar movimientos complejos de la mano, mientras que el uso de captura de movimiento facilita la adquisición de los movimientos complejos de la mano.

Coupier et al. (2016) analizó los movimientos de flexión-extensión y aducción-abducción de los dedos de la mano mediante fotogrametría, donde señaló la importancia de la calibración de las cámaras y ubicación de los marcadores en las manos.

Conti et al. (2016) construyó un exoesqueleto de arquitectura portable, en su investigación realizó un modelo cinemático de la mano y lo validó mediante la comparación entre el modelo cinemático y la captura del movimiento de la mano. Coert et al. (2003) cuantificó el movimiento circundante del pulgar mediante técnica de video. En su investigación resaltó la importancia de estudiar los movimientos del pulgar ya que es un movimiento esencial para realizar las funciones normales de la mano.

Kapandji (2006) enfatiza que los movimientos más importantes en relación con su funcionalidad son: el movimiento de flexión y extensión de los dedos, además de la oposición del dedo pulgar hacia los dedos trifalángicos (DTF). Nakamura et al. (1999) analizó en vivo la rotación normal del brazo utilizando un método de resonancia magnética, en esta técnica señala que además de utilizar resonancia magnética era necesario otros instrumentos como el goniómetro para realizar el cálculo.

Mallon et al. (1991) utiliza la técnica de electro goniometría (uso de goniómetros digitales) para evaluar el rango de movimiento (ROM) en las articulaciones de las manos de personas saludables, donde enfatiza que no existe diferencias notables al realizar la comparación de rangos dependiendo del sexo. Batmanabane y Malathi (1985) utiliza la técnica de rayos X para evaluar los ROM de los ejercicios de aducción/abducción en los DTF. Una vez obtenida la radiografía, ubica los huesos evaluados y mediante dos líneas calculó el ángulo generado.

Con base en las facilidades y dificultades mostradas previamente en el párrafo anterior, la presente investigación tiene como objetivo el estudio cinemático articular de la mano para los movimientos de oposición del dedo pulgar hacia los DTF y la flexión y extensión de los dedos. Mediante la técnica de fotogrametría (MOCAP) se logrará obtener las trayectorias que sigue cada uno de los dedos acorde con los movimientos señalados. El aporte de esta investigación en la biomecánica, con base en lo anterior mencionado, será ayudar a obtener modelos cinemáticos estándares de la mano realizando movimientos combinados entre el dedo pulgar y los DTF.

Además, al ser parte del proyecto de vinculación PVS 2017 011 se logra crear relaciones de trabajo entre diferentes proyectos de titulación y gracias a la colaboración de BioFoot y KINÉTICO, entidades dedicadas al tratamiento personas en procesos de rehabilitación física, el presente trabajo se proyecta como punto de partida para nuevas investigaciones en el Ecuador.

Metodología a desarrollar

La presente investigación pasó por un proceso de aprobación de protocolo de estudios previo avalado por el Comité de Ética de la Universidad Católica del Ecuador, en el cual, se garantiza que todos los procesos se realizarán con seguridad para el participante de acuerdo a la Declaración de Helsinki y se respetarán los datos personales de los mismos (Código 2018-29-EO). Los movimientos principales para estudiar son los siguientes:

- Movimientos de flexión-extensión de los DTF, comenzando con flexión.
- Movimientos de oposición del dedo pulgar hacia los DTF, comenzando con el índice hasta terminar con el meñique.

Mejía (2000) enfatiza que, el muestreo por conveniencia puede ser utilizado para definir hipótesis, establecer nuevas características a la investigación y servir como punto de partida en líneas de investigación. Otzen y Manterola (2017) relatan las ventajas de utilizar este tipo de muestreo no probabilístico, en el que se tiene mayor accesibilidad y proximidad al tipo de muestra que uno desee estudiar.

Por lo tanto, la presente investigación, al ser una de las primeras enfocadas en utilizar técnicas como la fotogrametría en el Ecuador, se decidió utilizar un muestreo no probabilístico como lo es el muestreo por conveniencia, en el cual, se tomó una muestra de 9 personas (5 hombres y 4 mujeres) en un rango de edad de 18 a 30 años (media 24 años) Las personas que participaron en este estudio no debían tener ningún tipo de problema neuronal o físico. Las grabaciones se hicieron con un sistema de fotogrametría (BTS Bioengineering) calibrado y equipado con 6 cámaras optoelectrónicas de alta velocidad (70Hz) y 2 cámaras análogas para control (30Hz). La participación fue voluntaria y sin ningún tipo de remuneración.

Posterior a la toma de datos, firmaron un documento de consentimiento informado, en el que consta todos los detalles de cómo se utilizarán sus datos y los derechos que tiene la persona. Estos datos para la muestra, adquiridos de cada una de las personas, se los obtuvo a partir de un protocolo de pruebas. El participante sigue este procedimiento hasta la culminación de la adquisición.

Cada participante es informado de los procedimientos a seguir en el laboratorio, dentro de los cuales se siguieron estos pasos:

1. Se proporcionó información sobre los objetivos que se pretende alcanzar mediante la adquisición de datos, la importancia de los trabajos de investigación, número de sesiones a realizar, el procedimiento que se seguirá, el compromiso entre el participante y el investigador.
2. Se realizó un cuestionario para saber si el participante se encuentra en las condiciones adecuadas para realizar los procedimientos requeridos. En esta encuesta también se incluyen algunos datos importantes (edad, género).
3. Una vez que se verificó mediante el cuestionario que el participante puede realizar los procedimientos requeridos, se procede a hacer firmar al participante un consentimiento informado. El consentimiento informado proporcionó al participante información sobre sus derechos y expresa la decisión voluntaria de participar en el estudio.

Para cada uno de los ejercicios que se van a realizar se ubicaron marcadores reflectivos pasivos en la mano del participante con cinta hipoalergénica siguiendo el sistema utilizado por la Sociedad Internacional de Biomecánica (Wu et al., 2005), los puntos fueron ubicados acorde con los siguientes ejercicios:

Para el ejercicio de flexión-extensión de los DTF se utilizó dos configuraciones de ubicación:

- a. En la primera configuración se utilizaron 12 marcadores: 4 marcadores en una base a 3 cm de la muñeca, Figura 1A; 4 marcadores en el dedo índice, 3 de los 4 marcadores ubicados en el medio de cada falange y el restante 3 cm atrás de la junta metacarpofalángica, en el hueso metacarpiano del índice; y los siguientes 4 marcadores se ubican de la misma forma que los 4 marcadores ubicados en el dedo índice pero aplicados al dedo anular.
- b. En la segunda configuración se utilizó 12 marcadores, ubicados en la misma distribución, pero para los dedos medio y meñique, Figura 1B.

Para el ejercicio de oposición del dedo pulgar se utilizó dos configuraciones de ubicación:

- a. En la primera configuración se utilizaron 15 marcadores: 4 marcadores en una base a 3 cm de la muñeca, Figura 1C; 4 marcadores en el dedo índice, 3 de los 4 marcadores ubicados en el medio de cada falange y el restante se ubica 3 cm atrás de la junta metacarpofalángica, en el hueso metacarpiano del índice; los siguientes 4 marcadores de la misma forma que los marcadores ubicados en el dedo índice pero aplicados al dedo anular; y los últimos 3 marcadores en el medio de cada una de las falanges del dedo pulgar y en el medio del hueso metacarpiano del pulgar.
- b. En la segunda configuración se utilizaron 15 marcadores, ubicados en la misma distribución, pero para los dedos medio y meñique, mientras que, el pulgar permanece con la misma configuración, Figura 1D.

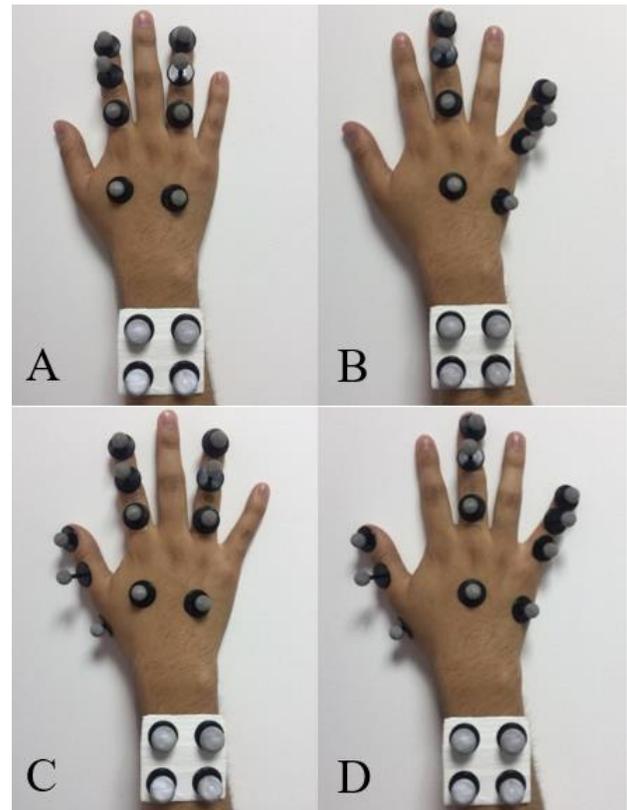


Figura 1 Posicionamiento de marcadores para los ejercicios realizados por la mano. A y B. Flexión-extensión. C y D. Oposición del dedo pulgar
Fuente: *Elaboración Propia*

Se tomo como referencia para el cálculo de ROM de los ejercicios de flexión/extensión de los DTF y oposición del dedo pulgar al método realizado por Cheng y Pearcy (1999). Sin embargo, el cambio realizado de este método es la utilización de un sistema de coordenadas móvil para anular la relación que existe entre los movimientos de flexión/extensión y abducción/abducción, La Figura 2 ilustra el sistema de coordenadas móvil que reduce un error mínimo (1-1.75°) en el valor del ángulo de flexión y extensión generado al tener un sistema de coordenadas fijo.

Una vez que se obtuvieron los modelos cinemáticos de cada dedo para los ejercicios realizados, se exportaron los modelos cinemáticos en el modelo CAD desarrollado por Gonzalez et al. (1997) utilizado en la biomecánica en la herramienta “Opensim” (Delp et al., 2007) para observar si cumplen los resultados con lo esperado.

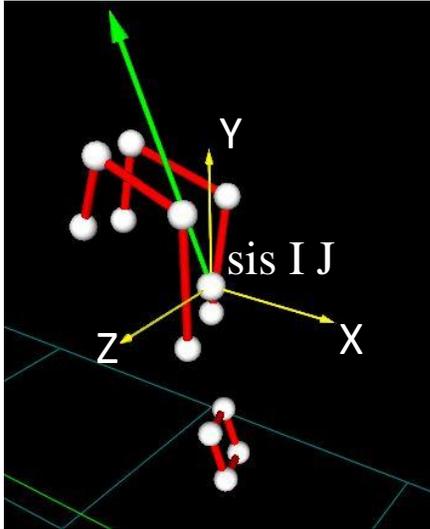


Figura 2 Sistema de coordenadas móvil para el cálculo de ángulo generado en flexión/extensión del vector unitario. En verde se visualiza el vector unitario. En amarillo se observa el sistema de coordenadas
Fuente: *Elaboración Propia*

Resultados

Los resultados de cinemática articular de los DTF (II, III, IV, V) durante movimientos de flexión y extensión se encuentran detallados en la Tabla 1.

La articulación con el mayor ángulo de flexión-extensión es la articulación metacarpofalángica del dedo V (^f) con 81° y una desviación estándar de 21° . Mientras que, la articulación en el menor ROM es la articulación interfalángica distal del dedo V (^J) con 61° y una desviación estándar de 14° . Una de las causas del incremento de la desviación estándar se produjo debido que los participantes no realizaron adecuadamente los movimientos pese a haber sido informados de los movimientos que debían realizar.

Además, los marcadores respecto a los dedos son bastante grandes e incómodos, lo cual ocasiona en ciertos casos que los participantes no realicen el movimiento adecuado de los dedos. Por lo tanto, la desviación estándar sirve como rangos en los cuales una persona puede tener un movimiento normal de la mano.

En el Gráfico 1A se ilustra el ROM de las juntas metacarpofalángicas de cada uno de los DTF.

En esta gráfica se observa que el mayor ROM respecto a las articulaciones metacarpofalángicas se da en el dedo V (verde), mientras que el menor ROM en el dedo II (negro) y sin embargo, se debe resaltar que dedo III (rojo) cuenta con un movimiento atípico al tener dos picos de movimiento (flechas A), esto se debe a que sobrepasó el límite de 0 a π proporcionado por las ecuaciones de Cheng y Pearcy y no se logró obtener el punto máximo de movimiento, aunque si se puede observar que su pico máximo si se encuentra relacionado con el movimiento normal de los dedos.

En el Gráfico 1B se ilustra el ROM de las juntas interfalángicas proximales de los DTF donde se visualiza que todos los movimientos tienen un comportamiento de flexión-extensión normal, en el cual, con un mayor ROM llega el dedo III (rojo). Sin embargo, se debe resaltar que el dedo IV (azul) tiene un movimiento negativo que nos indica una hiperextensión en el dedo IV (azul). También se observa que el dedo III (rojo) y V (verde) duran más tiempo en la fase de flexión, al contrario de los dedos II (negro) y IV (verde) en los cuales, dura menos.

Dedos	Articulaciones	Flex/Ext	DS
D II	MCF	62	27
	IFP	73	16
	IFD	77	16
D III	MCF	67	22
	IFP	78	12
	IFD	69	13
D IV	MCF	76	26
	IFP	80	14
	IFD	71	20
D V ^f	MCF ^f	81 ^f	21 ^f
	IFP	75	12
	IFD ^J	61 ^J	14 ^J

Tabla 1. Media del ROM y desviación estándar de las articulaciones durante los movimientos de flexión y extensión de los DTF

Fuente: *Elaboración Propia*

En el Gráfico 1C se puede apreciar el ROM de las juntas interfalángicas distales de los DTF, donde se visualiza que el dedo II (negro) cuenta con el mayor ROM, sin embargo, también se observa el mismo fenómeno que en el Gráfico 1A en la que se observan dos picos debido a que salen del rango, dedo III (rojo A) y V (verde B).

Esto quiere decir que, si bien es cierto que el dedo II (negro) obtienen el mayor ROM, se deben considerar los dedos III (rojo) y V (verde) ya que no se observa su pico máximo de movimiento. Inclusive el rango del dedo III (rojo) puede llegar a ser igual o mayor que el rango del dedo II (negro).

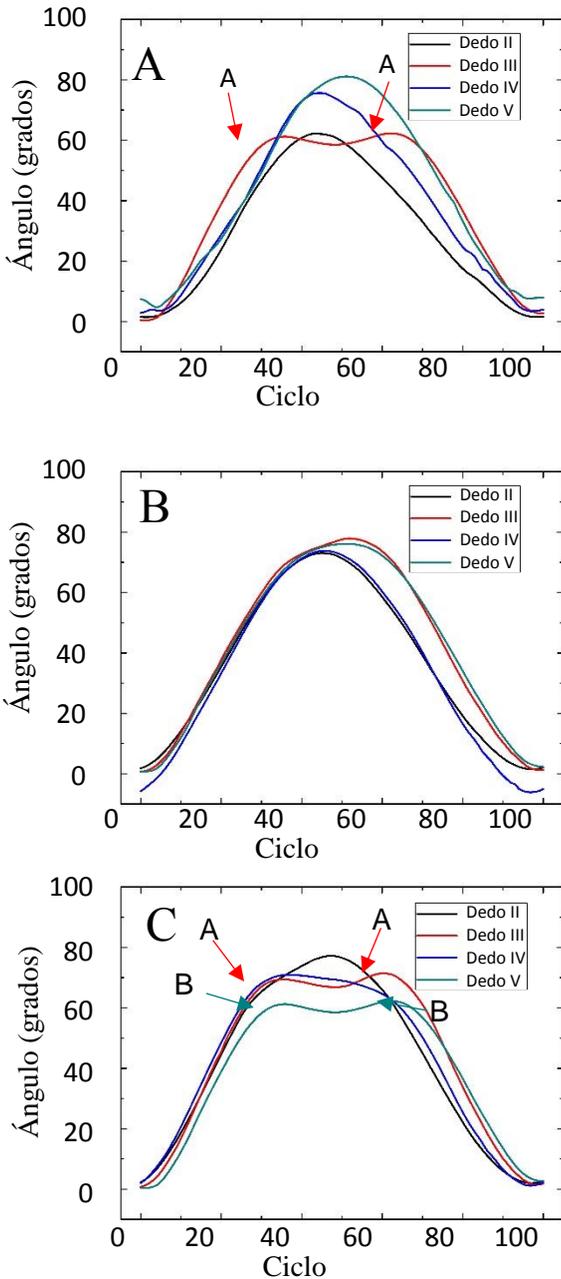


Gráfico 1. Movimiento de flexión-extensión de las articulaciones: A. metacarpofalángicas de los DTF. B. Interfalángicas proximales de los DTF. C. Interfalángicas distales de los DTF. Ángulo 0° representa la posición de extensión normal de la mano o punto inicial del movimiento de flexión, llegado al punto máximo en la mitad del ciclo comienza la extensión

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 2 se presentan los resultados de cinemática articular del dedo pulgar hacia los DTF (pinza terminal). Los ROM de las articulaciones de los DTF para cada uno de los ejercicios de oposición del dedo pulgar hacia los DTF (índice, medio, anular y meñique) junto con sus desviaciones estándar.

Dedo	Articulación	FE	DS	Ad/Ab	DS	Min/Max FE	Min/Max Ad/Ab
Dedos índice y pulgar							
DI	CMC	7	3	13	5	1-7	1-13
	MCF	17	13			1-17	
	IF	52	29			8-52	
DII	MCF	30	17			1 - 30	
	IFP	24	11			45 - 69	
	IFD	25	12			30 - 55	
Dedos medio y pulgar							
DI	CMC	9	4	16	8	2-9	2-16
	MCF	16	14			1-16	
	IF	63	60			3-63	
DIII	MCF	20	10			1 - 20	
	IFP	29	9			46 - 74	
	IFD	29	11			46 - 74	
Dedos anular y pulgar							
DI	CMC	10	6	20	9	1-10	1-20
	MCF	19	18			2-19	
	IF	90	93			5-90	
DIV	MCF	34	13			2 - 34	
	IFP	38	12			46 - 83	
	IFD	48	14			32 - 78	
Dedos meñique y pulgar							
DI	CMC	14	9	22	12	2-14	1-22
	MCF	21	21			4-21	
	IF	64	44			6-64	
DV	MCF	46	17			1 - 46	
	IFP	46	26			1 - 46	
	IFD	52	16			33 - 82	

Tabla 2 ROM de las articulaciones del dedo anular y pulgar para movimiento de oposición en conjunto con la desviación estándar (DS). Flexión / Extensión (FE) Los datos son medidos en grados (°)

Fuente: Elaboración Propia

El Gráfico 2A representa el ROM de la junta carpometacarpiana del dedo pulgar y su movimiento hacia los DTF. Como se observa, el dedo con mayor ROM es el dedo V (verde), mientras que, el dedo II (negro) obtiene el mayor ROM debido a que se encuentra más alejado del dedo pulgar el dedo meñique. Se debe notar que en el dedo IV (azul) se tiene ruido en el movimiento (A), esto puede darse debido a que los puntos se llegan a ocultar de las cámaras y no se logra capturar el movimiento.

En el Gráfico 2B se observa el ROM en aducción-abducción de la junta carpometacarpiana del dedo pulgar en relación con los movimientos de oposición del dedo pulgar.

En esta se puede apreciar que no lleva ningún tipo de ruido en sus movimientos, además que el dedo con llevar el mayor ROM es el dedo V (verde), mientras que, el dedo II (negro) realiza el menor movimiento respecto a los demás dedos. Se debe tomar en cuenta que los ángulos tomados siguen con la lógica de a una mayor distancia de los dedos hacia el pulgar, realizan un mayor ROM.

El Gráfico 2C representa el movimiento de flexión extensión de la articulación metacarpofalángica del dedo pulgar. En esta gráfica se puede observar que el mayor movimiento de aducción-abducción lo realiza el dedo V (verde), mientras que el dedo con el menor ROM es el dedo III (rojo). Este caso se debe a que el dedo más grande de la mano es el dedo medio III (rojo) y el pulgar debe trasladarse menos que en el caso de los demás dedos. Se debe notar que las gráficas no se mantienen con la misma geometría, sin embargo, mantienen su movimiento suave y no uno brusco. En este gráfico se observa que no hay mucho ruido que hubiera afectado a la captura de movimiento.

En el Gráfico 2D se observa los movimientos de flexión y extensión de la articulación interfalángica del dedo pulgar hacia los DTF. En esta gráfica se puede apreciar que se tiene varios puntos de ruido en todas las gráficas de los dedos, con excepción del dedo V (verde), en el cual, se conserva un movimiento bastante suave respecto a los demás. Principalmente existe más ruido en los puntos iniciales (A rojo) y finales (B azul), que vienen a ser los puntos de extensión de los dedos. La causa general para que se realicen este tipo de ruidos se da por los puntos que se ocultan de las cámaras y no logran ser identificados para realizar su respectivo rastreo o tracking.

En el Gráfico 3A se puede observar el movimiento de flexión extensión de los DTF en su junta metacarpofalángica para los ejercicios de oposición del dedo pulgar. En esta gráfica se puede observar que nuevamente el dedo con el mayor ROM es el V (verde), mientras que el dedo con un menor ROM es el dedo III (rojo). También se presentan ruido en los movimientos iniciales del dedo V (verde A) y finales del dedo IV (azul B).

Estos movimientos se repiten para las articulaciones interfalángicas proximales y distales debido a que se genera un mayor movimiento a medida que se encuentran los dedos alejados del pulgar, como se observa en los Gráficos 3B y 3C. En el caso de la junta interfalángica proximal (Gráfico 3B) el que realiza el menor movimiento es el dedo III (rojo) mientras que el dedo V (verde) continúa realizando el mayor ROM, además, se observa ruido en el dedo II (negro A) al final del ciclo. Observando el movimiento de la articulación interfalángica distal (Gráficos 3C) el que realiza el menor movimiento es el dedo II (negro) y el dedo V (verde) realiza el mayor movimiento, sin embargo, el dedo III (rojo) no se aleja mucho del movimiento del dedo II (negro), por lo que se sigue manteniendo la tendencia de ser el que realiza menos movimiento hacia el dedo pulgar.

Al momento de realizar el rastreo “tracking” de los movimientos capturados se tuvo problemas en los ejercicios de oposición del dedo pulgar ya que al tener un mayor número de marcadores se generó el fenómeno de oclusión, para el caso de la flexión/extensión de los DTF no se tuvo mayor problema ya que los movimientos realizados son más simples y con menor número de marcadores.

El protocolo de prueba para la adquisición de movimientos cinemáticos tomó en cuenta que únicamente se puede realizar para una persona a la vez y no de forma colectiva, esto se produjo ya que existieron datos iniciales que ingresaron en el protocolo para que se realice el cálculo. Además, se debe tomar en cuenta que todos los rangos calculados de las articulaciones de los dedos se realizaron a partir de sistemas de referencia ubicados para el caso de los DTF en la J MCP y para el caso del dedo pulgar ubicado en la J TMC, a causa de que los marcadores fueron ubicados en los puntos medios de cada falange. Por consiguiente, no se pudo realizar la creación de las demás articulaciones, por lo que se optó por esta opción.

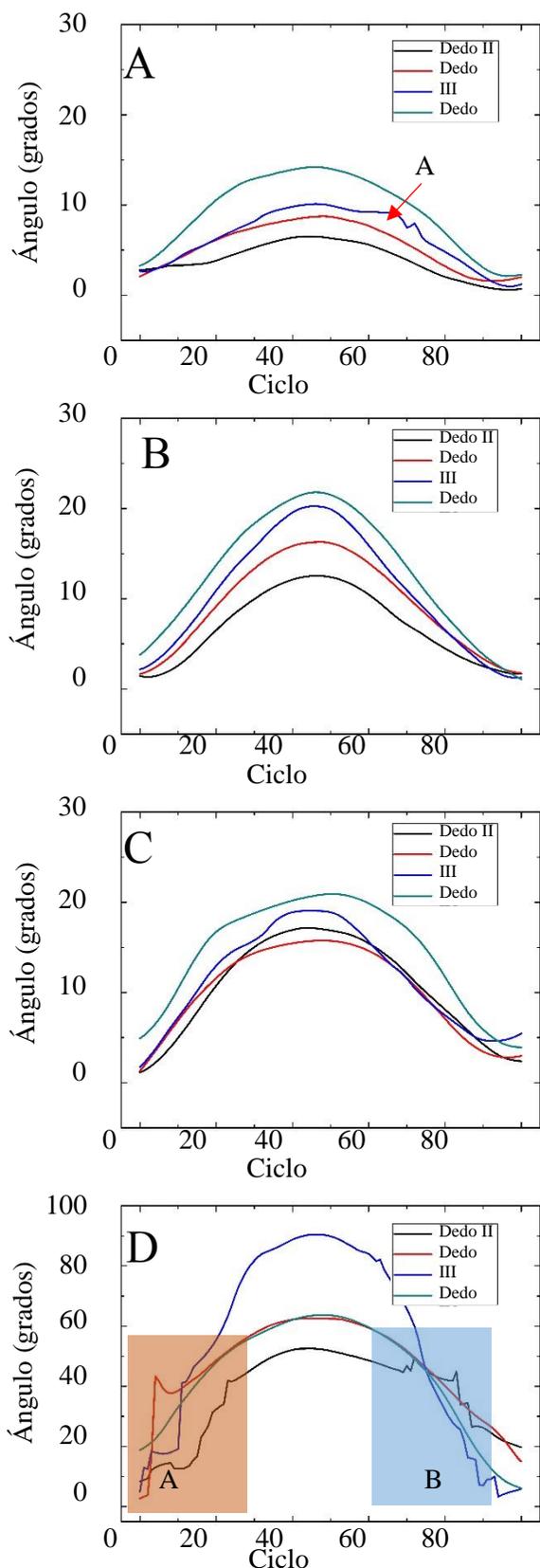


Gráfico 2 A. Movimientos de flexión-extensión de la articulación carpometacarpiana del dedo pulgar hacia los DTF. B. Movimientos de aducción-abducción de la articulación carpometacarpiana del dedo pulgar hacia los DTF. C. Movimientos de flexión-extensión de la articulación metacarpofalángica del dedo pulgar hacia los DTF. D. Movimientos de flexión-extensión de la articulación interfalángica del dedo pulgar hacia los DTF. Ángulo 0° representa la posición de extensión normal de la mano o punto inicial del movimiento de flexión, llegado al punto máximo en la mitad de ciclo comienza la extensión

Fuente: Elaboración Propia

ISSN 2523-6873

ECORFAN® Todos los derechos reservados.

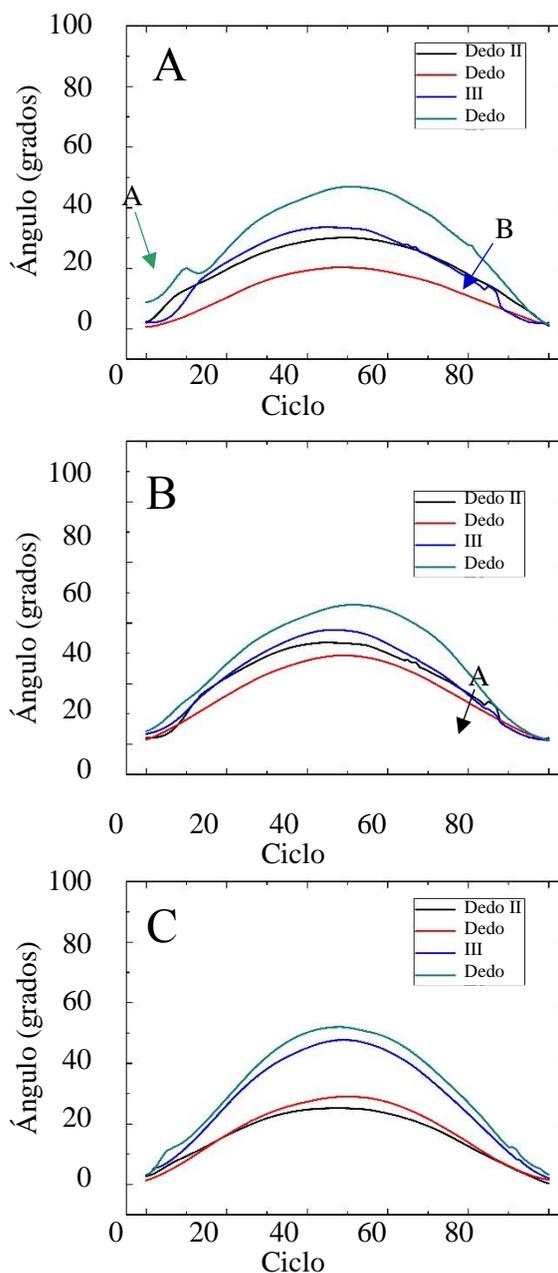


Gráfico 3 A. Movimientos de flexión-extensión de las articulaciones metacarpofalángicas de los DTF en movimientos de oposición hacia el dedo pulgar. B. Movimientos de flexión-extensión de las articulaciones interfalángicas proximales de los DTF en movimientos de oposición hacia el dedo pulgar. C. Movimientos de flexión-extensión de las articulaciones interfalángicas distales de los DTF en movimientos de oposición hacia el dedo pulgar. Ángulo 0° representa la posición de extensión normal de la mano o punto inicial del movimiento de flexión, llegado al punto máximo en la mitad de ciclo comienza la extensión

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

La Tabla 1 muestra la media y la desviación estándar de los DTF (DII, DIII, DIV y DV) de la mano derecha durante movimientos de flexión y extensión. Estos datos son menores comparados con los datos obtenidos por (Conti et al., 2016; Degeorges et al., 2005; Mallon et al., 1991; Nordin et al., 2004).

RUIZ-CHICAIZA, Pablo & CEVALLOS-BARRAGÁN, Carlos. Estudio cinemático de la mano para movimiento de oposición del dedo pulgar y movimientos de flexión y extensión de los dedos índice, medio, anular y meñique. Revista de Ingeniería Innovativa. 2019.

Esta diferencia de resultados se produjo posiblemente a que no se realizaron los movimientos hasta la máxima flexión y extensión de los dedos, al contrario, los movimientos se ejecutaron hasta donde se sienta cómodo el participante.

Coupier et al. (2016) al realizar el análisis cinemático de la mano para movimientos de flexo-extensión, aducción-abducción y pronación-supinación obtiene ROM del dedo pulgar y de los DTF mediante una distribución de marcadores tipo cluster. En la presente investigación se utilizó únicamente un marcador por cada falange ubicado en los puntos recomendados por la Sociedad Internacional de Biomecánica (Wu et al., 2005).

Mediante la distribución propuesta, se obtuvo en la junta metacarpofalángica y en la interfalángica distal, ángulos que se ubican entre los rangos encontrados por Coupier. Únicamente en el caso de la junta interfalángica proximal se obtuvo un ángulo menor por 11 grados.

Mallon et al. (1991) utilizó la técnica de goniometría mediante un goniómetro digital, en la cual, obtuvo ROM mayores que la presente investigación. Únicamente se obtuvo valores similares en la junta interfalángica distal con 77° . Si bien es cierto en los dos estudios no se limita el movimiento para cada participante, se obtienen diferentes resultados ya que no se utiliza la misma técnica de recolección de datos. En la que Mallon et al. realizó la recolección de datos mediante goniometría y la presente investigación mediante MOCAP.

Degeorges et al. (2005) realizó el estudio de las rotaciones realizadas en las juntas de los dedos de la mano mediante una distribución de tres marcadores en cada una de las falanges para obtener sistemas de coordenadas móviles y hallar los ángulos de cada junta. En el presente trabajo no se tiene esta disposición y los ángulos obtenidos son de las proyecciones ortogonales de un vector unitario en los planos del sistema de coordenadas generado. Sin embargo, se obtuvo para todas las juntas de los DTF los ROM que se encuentran en los límites denotados por Degeorges et al. en su publicación.

Otra de las diferencias para la adquisición de datos y la literatura consultada es la forma de capturar el movimiento y su cálculo. Coupier et al. (2016) utilizó sistemas de coordenadas realizados a partir de marcadores ubicados en cada falange, mientras que, en el presente trabajo se utilizaron los marcadores en los puntos medios de las falanges.

Cheng y Percy (1999) realizó un modelo para el cálculo de los ángulos generados en las articulaciones, en el cual, utilizó sistemas de coordenadas que permanecen estáticos. En el presente trabajo se utilizaron sistemas de coordenadas que rotan alrededor del eje X para seguir al movimiento de abducción/abducción generado por las falanges, con lo que se pudo obtener el rango total de flexión/extensión.

La mayor desviación estándar, con un valor de 27° , se da en la articulación MCF (II) y es la de mayor dispersión de datos. En los movimientos de las juntas MFC (III), IFP (III) e IFP (V) no se alcanza a obtener el punto máximo de movimiento, esto se debe a que el sistema de coordenadas para todos los participantes es constante en el eje X (solo rota), por lo que si una persona ubica la mano en una posición diferente a la indicada, el ángulo formado desde el eje X en el plano XY, Figura 2, superaba la condición dada en la ecuación 3 y tomaba los datos como si estuviera reduciendo su ROM. Por lo que, para el caso de las juntas antes mencionadas, no tienen un punto máximo de movimiento como las otras gráficas. Para el caso de todas las juntas IFP, todos los ROM se conservaron semejantes a diferencia de las juntas MCF e IFD, debido a que su rango de movimiento si se conservaba en los cuadrantes indicados para el movimiento.

Para el movimiento de oposición del dedo pulgar se dividieron los resultados dependiendo del dedo al cual se oponía el dedo pulgar. Para el primer movimiento, Tabla 2 (oposición pulgar – índice), se obtuvo el mayor ángulo de flexión en la junta IF con 52° (29° DS), mientras que, el mínimo movimiento de flexión lo realizó la junta CMC con 7° (3° DS); para el segundo movimiento, Tabla 2 (oposición pulgar - medio), el mayor ángulo de flexión se realizó en la junta IF con 63° (60° DS) y el menor ángulo de flexión en la junta CMC con 9° (4° DS); en el tercer movimientos.

Tabla 2 (oposición pulgar – anular), el mayor ángulo se obtuvo en la junta IF con 90° (93° DS), mientras que el menor ángulo en la junta CMC 10° (6° DS); finalmente en el cuarto movimiento, Tabla 2 (oposición pulgar – meñique), el ángulo mayor se obtuvo en la junta IF con 64° (44° DS) y el menor ángulo en la junta CMC con 14° (9 DS).

Como se observa en los resultados las desviaciones estándar en la junta IF son altas debido a que cada persona realiza sus movimientos de diferente forma, además de ser mayores sus ROM que el movimiento realizado por las juntas de los DTF. Se debe resaltar que para los DTF no se calculó la aducción/abducción ya que únicamente el alcance del desarrollo del exoesqueleto en el proyecto de vinculación PVS 2017 011 se realiza movimientos de flexión/extensión y con libertad de movimiento de aducción/abducción en los DTF (II, III, IV, V).

En el caso del dedo pulgar al tener un movimiento combinado se necesita conocer también la aducción/abducción. Este ejercicio obtuvo mayor rango en la oposición del dedo pulgar hacia el dedo meñique con ángulo de 22° (12° DS), Tabla 2 (oposición pulgar – meñique). Esta desviación estándar es considerable con respecto a su media, y se puede apreciar que las curvas de aducción/abducción tienen una tendencia creciente a medida avanzan de dedos DII, DIII, DIV y DV, Gráfico 2B.

No se encontró en la literatura, trabajos en los que se realicen movimientos combinados de oposición del dedo pulgar, sin embargo, una vez ingresados los datos en el software “OpenSim (Delp et al., 2007)” se puede observar que las falanges distales del dedo pulgar y de los DTF se acercan notablemente. Se debe tomar en cuenta que en el modelo utilizado únicamente incluye el hueso de la mano y no los músculos ni la piel de los dedos.

Una vez obtenidos los modelos cinemáticos se implementaron en el modelo CAD de la mano utilizado en este trabajo, desarrollado por Gonzalez et al. (1997) en software “OpenSim (Delp et al., 2007)”. En los primeros resultados cinemáticos probados fueron los ángulos de flexión/extensión de los DTF, se aprecia que cumple con los movimientos esperados.

En el caso de la oposición del dedo pulgar se incluyó todos los datos de la oposición del pulgar hacia los demás dedos en un solo archivo. Estos datos tuvieron un menor acercamiento al resultado esperado ya que los dedos no llegaban a cerrar la pinza terminal, sin embargo, se logró un resultado aproximado. Para mejorar los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, el protocolo queda abierto para ingresar un mayor número de personas y de esta manera mejorarlo. Todos los datos utilizados se encuentran en el siguiente repositorio digital: <https://figshare.com/s/85e3106637b9a5ec2d0e>

Agradecimientos

El presente trabajo fue respaldado por la Escuela Politécnica Nacional – Facultad de Ingeniería Mecánica. Agradecemos por la excelencia académica brindada por la universidad. BIOFOOT, laboratorio de análisis de movimiento. KINETICO rehabilitación por su ayuda en los protocolos y selección de participantes.

Conclusiones

La presente investigación estableció un estándar cinemático para los movimientos de la mano en personas sin desórdenes motorices de la mano. Los movimientos estudiados de oposición del dedo pulgar y flexión y extensión de los DTF a partir de los modelos cinemáticos son obtenidos en conjunto de sus desviaciones estándar que sirven como un primer acercamiento a estándares de un movimiento normal de la mano.

Se obtuvieron modelos cinemáticos, probados en simulación con modelo virtual que pueden ser utilizados en el diseño de prótesis como guías para el movimiento natural de la mano. Los movimientos máximos obtenidos en las articulaciones fueron: MCF 82°, IFP 80° e IFD 77° en los ejercicios de flexión y extensión de los DTF que es similar a la revisión de estudios utilizados para este trabajo (Conti et al., 2016; Degeorges et al., 2005; Mallon et al., 1991; Nordin et al., 2004).

De igual manera, por la similitud de resultados con otras metodologías, se validan tanto el protocolo utilizado para la recolección de datos junto con los movimientos analizados en el presente estudio.

Trabajos futuros

La media obtenida, puede ser comparativa para personas en procesos de recuperación del movimiento de la mano como se ha utilizado en dispositivos para rehabilitación motriz (Bonilla Barrero, Pavajeau Escorcía, y Pérez Barbosa, 2019; Gonzalez Cruz, 2019; Zambrano et al., 2018).

La presente investigación con la implementación de sistemas de coordenadas móviles y estándares cinemáticos logra ser un aporte importante dentro del campo de la biomecánica de la mano y su continuidad con su estudio dinámico.

Referencias

- Baker, N. A., Cook, J. R., Baker, N. A., Cham, R., Hale, E., y Redfern, M. S. (2007). *Measurements of Wrist and Finger Postures : A Comparison of Goniometric and Motion Capture Techniques Measurements of Wrist and Finger Postures : A Comparison of Goniometric and Motion Capture Techniques*. (Septiembre 2015), 70–78. <https://doi.org/10.1123/jab.23.1.70>
- Batmanabane, M., y Malathi, S. (1985). *Movements at the Carpometacarpal and Metacarpophalangeal Joints of the Hand and Their Effect on the Dimensions of the Articular Ends of the Metacarpal Bones*. 110, 102–110.
- Bonilla Barrero, I. D., Pavajeau Escorcía, A. F., y Pérez Barbosa, W. A. (2019). *Diseño y desarrollo de un dedo índice accionado por tendones*.
- Cheng, P., y Pearcy, M. (1999). *A three-dimensional definition for the flexion / extension and abduction / adduction angles*. 37, 440–444.
- Cheron, G., Petit, G., Cheron, J., Leroy, A., Cebolla, A., Cevallos, C., Dan, B. (2016). Brain oscillations in sport: Toward EEG biomarkers of performance. *Frontiers in Psychology*, 7, 246. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00246>
- Coert, J. H., van Dijke, G. A. H., Hovius, S. E. R., Snijders, C. J., y Meek, M. F. (2003). Quantifying thumb rotation during circumduction utilizing a video technique. *Journal of Orthopaedic Research*, 21(6), 1151–1155. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(03\)00114-1](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(03)00114-1)
- Conti, R., Meli, E., y Ridolfi, A. (2016). A novel kinematic architecture for portable hand exoskeletons. *Mechatronics*, 35, 192–207. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2016.03.002>
- Couplier, J., Hamoudi, S., Telese-Izzi, S., Feipel, V., Rooze, M., y Van Sint Jan, S. (2016). A novel method for in-vivo evaluation of finger kinematics including definition of healthy motion patterns. *Clinical Biomechanics*, 31, 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.10.002>
- Davis, R. B., Ounpuu, S., Tyburski, D., y Gage, J. R. (1991). A gait analysis data collection and reduction technique. *Human Movement Science*, 10(5), 575–587. [https://doi.org/10.1016/0167-9457\(91\)90046-Z](https://doi.org/10.1016/0167-9457(91)90046-Z)
- Degeorges, R., Parasie, J., Mitton, D., Imbert, N., Goubier, N., y Lavaste, F. (2005). *Three-dimensional rotations of human three-joint fingers : an optoelectronic measurement . Preliminary results*. 43–50. <https://doi.org/10.1007/s00276-004-0277-4>
- Delp, S. L., Anderson, F. C., Arnold, A. S., Loan, P., Habib, A., John, C. T., Thelen, D. G. (2007). OpenSim: Open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 54(11), 1940–1950. <https://doi.org/10.1109/TBME.2007.901024>
- Gonzalez, R. V., Buchanan, T. S., Delp, S. L. (1997). How muscle architecture and moment arms affect wrist flexion-extension moments. *Journal of Biomechanics*, 30, 705–712. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(97\)00015-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0021-9290(97)00015-8)
- Gonzalez Cruz, F. C. (2019). *Propuesta de vehículo autónomo para discapacitados en la región Piura*. Universidad de Piura.

González, L. D. (2019). Gimnasia artística: Análisis biomecánico de la inversión adelante revisión sistemática. *Acción Motriz*, 22, 35–42.

Kapandji, A. I. (2006). Fisiología Articular. En *Igarss 2014* (6a ed.). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Lee, K. S., y Jung, M. C. (2015). Ergonomic evaluation of biomechanical hand function. *Safety and Health at Work*, 6(1), 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2014.09.002>

Mallon, W. J., Brown, H. R., y Nunley, J. A. (1991). Digital ranges of motion : Normal values in young adults. *Journal of Hand Surgery*, 16(5), 882–887. [https://doi.org/10.1016/S0363-5023\(10\)80155-8](https://doi.org/10.1016/S0363-5023(10)80155-8)

Mejía Navarrete, J. (2000). El muestreo en la investigación cualitativa. *Investigaciones Sociales*, pp. 165–180.

Nakamura, T., Yabe, Y., Horiuchi, Y., y Yamazaki, N. (1999). *In vivo motion analysis of forearm rotation utilizing magnetic resonance imaging*. 14, 315–320.

Nordin, M., Frankel, V. H., y Forssén, K. (2004). *Biomecánica básica del sistema musculoesquelético* (McGraw-Hill., Ed.). Interamericana.

Otzen, T., y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio Sampling Techniques on a Population Study. *Int. J. Morphol*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

Tamayo Bullon, M. (2019). *Estudio de la relación entre los pies y la organización de la postura del cuerpo para la comprensión corporal del desequilibrio en la danza contemporánea*.

Wu, G., Van Der Helm, F. C. T., Veeger, H. E. J., Makhous, M., Van Roy, P., Anglin, C., Buchholz, B. (2005). ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion - Part II: Shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics*, 38(5), 981–992. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.05.042>
Zambrano, I., Cevallos, C., Obando, F.,

Jaramillo, M., Ortiz, D., Ojeda, D., Tobar Subía, L. M. (2018). Memorias del I Congreso Internacional de Bioingeniería y Sistemas Inteligentes de Rehabilitación. *Diseño de interfaz mecatrónica para rehabilitación de mano y recuperación segura*, 91–113.

Generador de Agua mediante el uso de Celdas Peltier y Energía Solar

Water Generator through Peltier Cells and Solar Energy

CHÁVEZ, José Manuel†*, ESPEJEL-BLANCO, Daniel Fernando, HERNÁNDEZ-AGUIRRE, Fredy Alberto y RASCÓN-BARCELÓ, Luis Eduardo

Instituto Tecnológico De Hermosillo / Tecnológico Nacional de México

ID 1^{er} Autor: *José Manuel, Chávez* / ORC ID: 0000-0001-9708-5925, CVU CONACYT ID: 806766

ID 1^{er} Coautor: *Daniel Fernando, Espejel-Blanco* / ORC ID: 0000-0002-9692-013X, CVU CONACYT ID: 304845

ID 2^{do} Coautor: *Fredy Alberto, Hernández-Aguirre* / ORC ID: 0000-0001-9208-5299, CVU CONACYT ID: 611800

ID 3^{er} Coautor: *Luis Eduardo, Rascón-Barceló* / ORC ID: 0000-0001-6051-9777, CVU CONACYT ID: 929775

DOI: 10.35429/JOIE.2019.11.3.22.28

Recibido 13 de Junio, 2019; Aceptado 30 de Septiembre, 2019

Resumen

En la actualidad, las épocas de sequía son más prolongadas a consecuencia del calentamiento global, lo cual ha generado escases y racionamiento de agua, dichas condiciones se convierten en el principal problema en los poblados alejados a las zonas urbanas y con poca infraestructura. México cuenta con 653 acuíferos en todo su territorio, 106 están sobreexplotados debido a actividades agrícolas, mineras, industriales y urbanas, lo que proyecta al país un posible agotamiento y contaminación de su líquido vital. Por tal motivo, con el fin de contribuir con una solución a la problemática de la escases de agua, al aplicar un sistema de control a la tecnología que utilizan las celdas de Peltier se genera un flujo moderado de agua, ya que condensa las partículas de agua suspendidas en el aire. De esta manera se implementará un arreglo de celdas de Peltier para obtener la mayor cantidad de agua posible bajo factores ambientales, como humedad y temperatura. Además, al tratarse de zonas donde el clima es árido, se pretende utilizar fuentes de energía alternativas, de tipo fotovoltaico autónomo, para aprovechar la radiación solar y alimentar al sistema de control de una manera autosustentable.

Energías Renovables, Condensación de Agua, Celdas de Peltier

Abstract

At present, the drought periods are longer due to global warming, which has generated scarcity and water rationing, these conditions become the main problem in remote villages to urban areas and with little infrastructure. Mexico, with 653 aquifers throughout its territory, 106 are overexploited due to agricultural, mining, industrial and urban activities, which projects to the country a possible depletion and contamination of its vital liquid. For this reason, in order to contribute to a solution to the problem of water scarcity, by applying a control system to the technology used by the Peltier cells, a moderate flow of water is generated, since it condenses the particles of water suspended in the air. In this way, an array of Peltier cells will be implemented to obtain as much water as possible under environmental factors, such as humidity and temperature. In addition, when dealing with areas where the climate is arid, it is intended to use alternative sources of energy, of autonomous photovoltaic type, to take advantage of solar radiation and feed the control system in a self-sustaining manner.

Renewable Energies, Water Condensation, Peltier Cells

Citación: CHÁVEZ, José Manuel, ESPEJEL-BLANCO, Daniel Fernando, HERNÁNDEZ-AGUIRRE, Fredy Alberto y RASCÓN-BARCELÓ, Luis Eduardo. Generador de Agua mediante el uso de Celdas Peltier y Energía Solar. Revista de Ingeniería Innovativa. 2019. 3-11: 22-28

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: jmch.ith@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

Introducción

En la actualidad, el hablar sobre el cambio climático es referirse al principal problema que nuestro planeta enfrenta y el cual, no solo afecta a nuestros distintos ecosistemas, sino también a la sociedad. Las temperaturas del planeta son aptas para la vida gracias a un proceso natural llamado “Efecto Invernadero”; cuando la radiación solar llega a nuestra atmosfera, parte de ella es reflejada hacia el espacio y otra parte es absorbida por la Tierra, obteniendo la temperatura adecuada para la vida en ella.

Por otra parte, existen los llamados “Gases de Efecto Invernadero”, los cuales evitan que la radiación solar salga hacia el espacio y se quede en nuestra atmosfera, ocasionando un incremento en las temperaturas.

México no es la excepción, a consecuencia del calentamiento global el país experimenta distintos problemas climáticos, los cuales nunca se habían registrado. El incremento de temperatura cada vez es más prolongado en épocas de sequía, donde el suelo es árido, se ha generado escases y racionamiento de agua, dichas condiciones se convierten en la mayor afectación en los pueblos alejados a las zonas urbanas y con poca infraestructura.

El agua con el que se cuenta, muchas veces por condiciones naturales, y otras por la intervención del ser humano, llega a sufrir daños irreversibles. México cuenta con 653 acuíferos en todo su territorio, 106 están sobreexplotados debido a actividades agrícolas, mineras, industriales y urbanas, lo que proyecta al país un posible agotamiento y contaminación de su líquido vital (Comisión Nacional del Agua, 2018).

Al tratarse de zonas donde el clima es árido, el acceso a fuentes ilimitadas de este líquido vital es imposible, afectando al desarrollo de empresas y comunidades. Se han realizado múltiples investigaciones sobre los métodos alternativos para la obtención de agua, logrando resultados no viables. Dado a los altos costos de transportación de agua potable entre distintas localidades y a la sobreexplotación de los mantos acuíferos pareciera que nuestro problema no tendrá fin.

Ante el evidente problema que nuestro planeta enfrenta a consecuencia del cambio climático y el racionamiento del agua, como ingenieros y futuros investigadores es nuestra obligación desarrollar y aplicar nuevas tecnologías para aprovechar los recursos del planeta, como es el caso de la implementación de sistemas fotovoltaicos.

El aprovechamiento de la energía solar para generar electricidad a través de la tecnología fotovoltaica se ha convertido en una opción cada vez más asequible para los 1400 millones de personas en el mundo que viven aún sin energía eléctrica (Rodríguez & Espinoza, 2017). Dependiendo de las necesidades humanas, el sistema fotovoltaico puede variar en tipo, capacidad o especificaciones. Así, los tipos de sistemas fotovoltaicos se dividen en dos principales: los autónomos o aislados y los interactivos con la red eléctrica o interconectados.

El funcionamiento de un sistema fotovoltaico es posible gracias a los paneles solares donde gracias al efecto fotoeléctrico, la energía solar se convierte en energía eléctrica de corriente directa, el cual puede ser convertido a corriente alterna al utilizar el inversor, esto dependerá de los dispositivos electrónicos que se deseen alimentar con el sistema fotovoltaico.

Posteriormente, dependiendo del tipo de sistema fotovoltaico: autónomo o interconectado, en el caso de sistemas fotovoltaicos autónomos es necesario utilizar controladores de cargas que regulan el uso de la energía y un banco de baterías que permita el almacenamiento de la energía.

Por otra parte, el uso de centros de carga es fundamental en sistemas fotovoltaicos interconectados, ya que es el punto de conexión o de distribución de energía fotovoltaica generada para que el medidor bidireccional registre la energía que se regresa a la red eléctrica de CFE (Rodríguez & Espinoza, 2017). Por tal motivo, es necesario un sistema capaz de generar agua de manera alterna, el cual, no afecte a nuestro ecosistema y pueda satisfacer de un flujo moderado de agua.

El objetivo de este proyecto es la implementación de un prototipo generador de agua utilizando Celdas Peltier, basadas en el principio termoeléctrico Peltier, para condensar el vapor de agua contenido en el aire para obtener rocío. El punto de rocío o temperatura de rocío es la más alta temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina, cualquier tipo de nube o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha (MetAs & Metrologos Asociados, 2007).

Con este sistema es posible obtener la mayor cantidad de agua posible bajo factores ambientales, como humedad y temperatura, en relación a la manipulación y control de las Celdas de Peltier. A su vez, utilizar una fuente de energía alternativa autónoma, de tipo fotovoltaica, para la alimentación del sistema en zonas donde no exista acceso a fuentes de energía eléctrica constante.

Desarrollo

El prototipo está integrado de tal manera de generar la máxima cantidad de agua bajo distintos factores ambientales. Para el desarrollo del prototipo se utilizaron diversos fundamentos teóricos, principalmente Termoelectricidad, así como los principios del Efecto Peltier.

Una forma de generar la máxima cantidad de agua utilizando la humedad del ambiente es con la implementación de Celdas de Peltier, la cual si se le aplica una corriente eléctrica, en un circuito compuesto de materiales distintos con sus uniones, absorbe el calor de una de ellas y se desprende por la otra, es decir, se genera una diferencia de temperatura entre sus caras al ser circuladas por una corriente: una de ellas se enfría, mientras que la otra se calienta (Tornos & Sotelo, 2006).

Si se invierte la polaridad de la corriente, la cara fría pasa a ser caliente y viceversa, invirtiéndose el sentido del flujo calorífico, llevando por nombre Efecto Peltier (Patterson & Sobral, 2007).

Al entrar en contacto la parte fría de la Celda Peltier con el aire del ambiente, la cual se encuentra a cierta temperatura y con un porcentaje de humedad, comienza a condensar el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío.

Es decir, es la temperatura a la cual el vapor de agua presente, alcanza su valor máximo o su condición de presión de saturación de vapor de agua con respecto al equilibrio con una superficie plana de agua. La temperatura de punto de rocío es siempre menor que o igual a la temperatura actual.

El prototipo está complementado con sensores para la medición de temperatura y humedad, las cuales determinaran las condiciones de activación del prototipo utilizando un control ON/OFF mediante la plataforma de Arduino. El cual es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores, la cual crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso (Electronics, s.f.).

La estructura principal del prototipo consiste básicamente en tres etapas: adquisición de información, sistema de control y fuente de alimentación, siendo las dos primeras interconectadas a través de una arquitectura desarrollada a partir de la plataforma Arduino.

Arquitectura de Arduino para recolección de datos

Utilizando la plataforma de programación Arduino, como se muestra en la Figura 1, en conjunto con los sensores de humedad y temperatura se determinan los parámetros de activación de las Celdas Peltier para generar el punto de rocío.

La placa Mega 2560, mostrado en la Figura 2, gracias a su interacción con distintos tipos de sensores, así como sus puertos de entradas y salidas digitales, se implementó en el sistema para realizar el muestreo de los datos ambientales. La Tabla 1 muestra la lista de materiales utilizados en el muestreo de variables.

```

sketch_may16a
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

sketch_may16a
#include "DHT.h" //Se importa libreria para manejo de sensor DHT11
#include "SparkFunHTU21D.h" //Se importa libreria para manejo de sensor GY-11
#include <OneWire.h> //Se importa libreria para manejo de sensor DS18B20
#include <DallasTemperature.h> //Se importa libreria para manejo de sensor DS18B20

#define DHTPIN1 32 //Se establece el pin 32 Sensor 1 DHT11
#define DHTPIN2 34 //Se establece el pin 34 Sensor 2 DHT11
#define DHTTYPE DHT11

DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE);
DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE);

HTU21D myHumidity;

OneWire ourWire1(36); //Se establece el pin 15 como bus OneWire Sensor 1 DS18B20
OneWire ourWire2(38); //Se establece el pin 16 como bus OneWire Sensor 2 DS18B20
OneWire ourWire3(40); //Se establece el pin 17 como bus OneWire Sensor 3 DS18B20
OneWire ourWire4(42); //Se establece el pin 18 como bus OneWire Sensor 4 DS18B20
OneWire ourWire5(44); //Se establece el pin 19 como bus OneWire Sensor 5 DS18B20

DallasTemperature sensor1(ourWire1); //Se declara una variable u objeto para nuestro s
DallasTemperature sensor2(ourWire2); //Se declara una variable u objeto para nuestro s
DallasTemperature sensor3(ourWire3); //Se declara una variable u objeto para nuestro s
DallasTemperature sensor4(ourWire4); //Se declara una variable u objeto para nuestro s
DallasTemperature sensor5(ourWire5); //Se declara una variable u objeto para nuestro s

int temperatura_exterior = 0;
int humedad_exterior = 0;

int temperatura_interior1 = 0;
int humedad_interior1 = 0;
    
```

Figura 1 Programa en Arduino para el control ON/OFF del prototipo

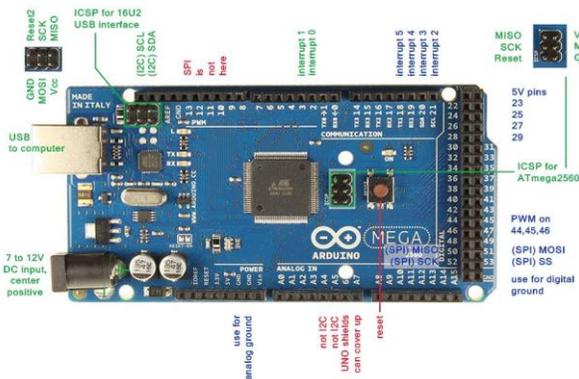


Figura 2 Placa Arduino Mega 2560

Al estar monitoreando el sistema en tiempo real, es posible determinar bajo qué condiciones el sistema generador de agua presenta mejores resultados como se muestran en la figura 3.

```

16:42:20.881 -> 1;Lluvia Detectada Sensor Izquierdo?
16:42:20.928 -> 1;Lluvia Detectada Sensor Central?
16:42:20.975 -> 1;Lluvia Detectada Sensor Derecho?
16:42:20.975 -> 28.06 °C Celda 1
16:42:21.022 -> 28.00 °C Celda 2
16:42:21.022 -> 28.25 °C Celda 3
16:42:21.069 -> 28.25 °C Celda 4
16:42:21.069 -> 28.25 °C Celda 5
16:42:21.115 -> 30 °C Exterior
16:42:21.115 -> 52 % Exterior
16:42:21.115 -> 30 °C Interior dht11
16:42:21.162 -> 55 % Interior dht11
16:42:21.162 -> 30.42 °C Interior GY-11
16:42:21.209 -> 52.46 % Interior GY-11
    
```

Figura 3 Datos obtenidos a través de sensores y procesados en Plataforma Arduino

Cantidad	Descripción	Parte
5	Sensor de Temperatura	DS18B20
2	Sensor de Temperatura y Humedad	DHT11
1	Sensor de Temperatura y Humedad	GY-21

Tabla 1 Lista de materiales para medir humedad relativa y temperatura

Arquitectura del Actuador de Celdas Peltier

Al utilizar la tarjeta Mega 2560 y su plataforma Arduino, el sistema es puesto en funcionamiento en base a las variables medidas, humedad relativa y temperatura, con la finalidad de entrar en operación cuando las variables mencionadas sean óptimas para la mayor obtención de rocío. La Figura 4 muestra la relación entre temperatura ambiente y porcentaje de humedad relativa para obtener la temperatura a la que se presentara el punto de rocío.

Si los factores ambientales son ideales, la tarjeta Mega 2560 envía una señal por medio de su salida digital al módulo del actuador, como se muestra en la Figura 5, que a su vez alimentara a la Celda Peltier, como puede observarse en la Figura 6.

TEMPERATURAS (en grados C)	Humedad relativa																
	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
40*	13	16	19	21	24	26	28										
39*	13	15	18	20	23	25	27	28									
38*	12	14	17	20	22	24	26	27									
37*	11	13	16	19	21	23	25	26	28								
36*	10	12	15	18	20	22	24	25	27	28							
35*	9	11	15	17	19	21	23	24	26	27	28						
34*	8	10	14	16	18	20	22	23	25	26	27	28					
33*	7	10	13	15	17	19	21	22	24	25	26	27	28				
32*	6	9	12	14	16	18	20	21	23	24	25	26	27	28			
31*	5	8	11	13	15	17	19	20	22	23	24	25	26	27	28		
30*	4	7	10	12	15	17	18	20	21	22	23	25	26	27	28		
29*	4	6	9	11	14	16	17	19	20	21	22	24	25	26	27	28	
28*	3	5	8	10	13	15	17	18	20	21	23	24	25	26	27	28	
27*	2	4	7	9	12	14	16	17	19	20	22	23	24	25	26	27	28
26*	1	3	6	8	11	13	15	16	18	19	21	22	23	24	25	26	28
25*	1	3	6	8	10	12	14	15	17	18	20	21	22	23	24	25	28
24*	0	2	5	7	9	11	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24
23*	0	1	4	6	8	10	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23
22*	-1	1	3	5	7	9	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22
21*	-2	0	2	5	6	8	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21
20*	-3	-1	2	4	6	7	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	20

Figura 4 Relación entre temperatura, humedad relativa y punto de rocío

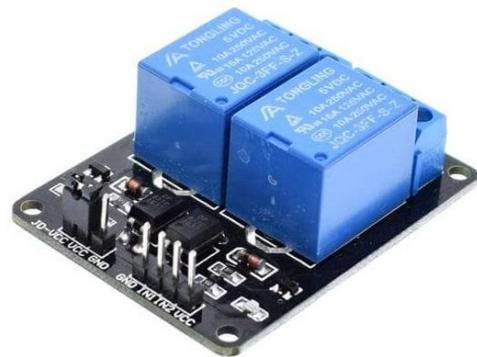


Figura 5 Modulo Actuador-Relvador



Figura 6 Kit Celda Peltier con sistema de enfriamiento

Al activar las Celdas Peltier, estas comienzan a disminuir su temperatura hasta alcanzar 0°C , si al entrar en contacto con una mezcla de humedad y temperatura se enfría a una presión constante, sin variar el contenido de vapor de agua que tiene el aire, se llega a una temperatura en la que el vapor comienza a condensar. Esa temperatura es la llamada punto de rocío y a esa temperatura la humedad relativa será del 100%.

Conexión del Sistema Fotovoltaicos Autónomo como fuente de alimentación

En la Figura 7 se muestra la estructura del Sistema Fotovoltaico Autónomo utilizado como fuente de alimentación en el prototipo generador de agua. La electricidad en corriente continua es la que proviene de los módulos fotovoltaico y que se almacena en las baterías. Si el prototipo es puesto en operación durante el día utilizara directamente la energía generada por los módulos fotovoltaicos, contrario a esto, en ausencia de luz solar el sistema se alimentara de los acumuladores, que previamente almacenaron energía eléctrica durante el día.

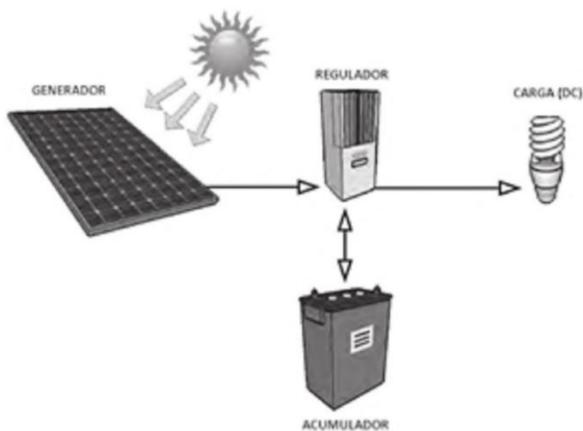


Figura 7 Sistema Fotovoltaico Autónomo con salida en CD

Resultados

Los resultados obtenidos demuestran el desempeño de las tecnologías para resolver las necesidades básicas de la sociedad. Al diseñar nuevos métodos o sistemas para la obtención de agua, podemos aprovechar los distintos ecosistemas y estaciones del año para generar la máxima cantidad posible, de una manera amigable para el medio ambiente y a un bajo costo.

La cantidad de agua generada será proporcional al número de Celdas Peltier utilizadas, la humedad presente en el ambiente y el tiempo de operación del sistema, por ejemplo, en un tiempo estimado de seis horas la máxima cantidad de agua producida fue de 300mL con el 70% de humedad. En la Figura 8 se presenta el prototipo operando con la implementación de cinco Celdas Peltier y ventiladores por la parte lateral para la circulación de aire y en la Figura 9 el circuito de control.



Figura 8 Prototipo Generador de Agua

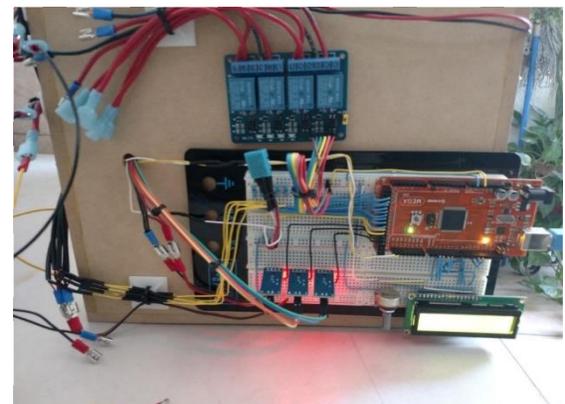


Figura 9 Sistema de Control conectado a sensores y a actuadores

Agradecimientos

Agradecimiento especial al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Hermosillo, por proporcionar los fondos para que este proyecto se llevara a cabo.

Conclusiones

El prototipo propuesto para la generación de agua es una excelente opción en zonas donde no exista su acceso, ya que no requiere un alto costo de implementación. Los resultados obtenidos con las pruebas realizadas, nos brinda las bases necesarias para implementar un sistema generador y adaptarlo en sitios con alto porcentaje de humedad. Ya que el sistema de control funciona bajo los mismos criterios, solo es necesario dimensionar el prototipo dependiendo de la cantidad de agua que generara y sus aplicaciones. Por otra parte, puede ser implementado en zonas donde no exista suministro constante de energía eléctrica, gracias a su fuente de alimentación autosustentable.

Recomendaciones

El prototipo propuesto sugiere algunas pruebas y modificaciones tanto a nivel hardware como software. Se propone la utilización de la plataforma WIFI, en reemplazo a la plataforma Arduino, para el monitoreo y control del prototipo generador. Con lo cual se tendrá un mejor manejo de datos a distancia interconectados a la red local y a su vez, una disminución de dimensionamiento de circuitería.

Referencias

Aguirre, J. (2019). Autobiogen: automatización de un biodigestor de cinco propósitos. Aplicación al proceso de climatización, combustible para una estufa doméstica, producción de energía eléctrica, reciclaje del agua residual y generación de fertilizante en una casa habitación para cuatro personas (Tesis doctoral) Universidad Autónoma Metropolitana. México, D. F., México.

Comisión Nacional del Agua. (2018). Situación de los Recursos Hídricos. Recuperado desde <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/situacion-de-los-recursos-hidricos>
Electronics, M. (2015). Arduino. (2019) Recuperado desde <http://arduino.cl/que-es-arduino/>

Eole Water Company. (2012). Eole Water Company. Recuperado desde: <http://www.eolewater.com/>

Gómez, J. (2019). Fortalecimiento del sistema de tecnologías apropiadas para la generación de energías limpias en el Parque Natural Chicaque (Tesis de Pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Martines L., E. L. (2008). Cálculo de la Temperatura de Punto de Rocío a Diferentes Valores de Presión. Simposio de Metrología. SM2008-M117-1098-5 Recuperado desde https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/M1/SM2008-M117-1098.pdf

MetAs & Metrologos Asociados. (2007). Temperatura de Punto de Rocío. *MetAs & Metrologos Asociados*. 2007-11 Recuperado desde <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-07-11-punto-de-rocio.pdf>

Patterson, G., & Sobral, M. (2007). Efecto Peltier. FCEyN, UBA. Recuperado desde <http://materias.df.uba.ar/labo4aa2014c1/files/2012/07/Efecto-Peltier.pdf>

Planet's Water Company. (2018). Planet's Water Company. Recuperado desde: <http://www.waterplanet.com/>

Portillo, A. L. (2017). Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento. Recuperado desde ciep.mx.

Reina, W. & Acosta, J. (2019) Sistema de supervisión y control del prototipo generador de agua a partir de celdas de Peltier (Tesis de Pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Rodríguez, J., & Espinoza, E. (2017). La Industria Solar Fotovoltaica y Foto térmica en México. *ProMéxico*, 15-75. Recuperado desde https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La_industria_solar_fv_y_ft_en_M_xico-compressed.pdf

Rojas, A. & Burgos, E. (2019) Evaluación de alternativas sobre dispositivos de refrigeración con fuentes de energía no convencional para las zonas no interconectadas de Colombia (Tesis de Pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Sacristán, A. (2011). Obtención de agua a partir de humedad atmosférica empleando células de efecto Peltier (Tesis de Pregrado). Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, España

Sampedro, O. F. B., Pérez, D. F. M., & Núñez, E. F. V. (2019). Proyecto de transformación del calor residual de gases de combustión de un automóvil en energía eléctrica, como contribución al cuidado del medio ambiente. *Ciencia Digital*, 3(3.1), 54-73.

sde.mx. (2018). ¿Qué es un sistema fotovoltaico? Recuperado desde <http://www.sde.mx/2018/08/10/que-es-un-sistema-fotovoltaico/>

Style, O. (2012). *Energía Solar Autónoma: Planificación, Dimensionado e Instalación de un Sistema Fotovoltaico Autónomo*. U.S.A. Itaca Appropriate Technology.

Tornos, S., & Sotelo, A. (2006). Termoelectricidad, la energía del desequilibrio. *Técnica Industrial* 262. Recuperado desde <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/22/41/a41.pdf>

ZeroMass Water. (2018). ZeroMass Water. Recuperado desde <https://www.zeromasswater.com/>

Construcción de un prototipo anaerobio para el tratamiento de aguas residuales

Construction of an anaerobic prototype for the treatment of wastewater

RODRIGUEZ-MORALES, José Alberto^{†1}, SILVA- GARCIA, Gabriela Guadalupe², RAMOS-LOPEZ, Miguel Ángel² y LEDESMA-GARCIA, Janet¹

¹ Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería

² Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química

ID 1^{er} Autor: José Alberto, Rodriguez-Morales / ORC ID: 0000-0002-4532-9665, CVU CONACYT ID: 200320.

ID 1^{er} Coautor: Gabriela Guadalupe, Silva- Garcia / ORC ID: 0000-0002-9352-6695, CVU CONACYT ID: 302520.

ID 2^{do} Coautor: Miguel Ángel, Ramos-Lopez / ORC ID: 0000-0002-7105-5039, CVU CONACYT ID: 86826.

ID 3^{er} Coautor: Janet, Ledesma-Garcia / ORC ID: 0000-0002-0677-4280, CVU CONACYT ID: 104183

DOI: 10.35429/JOIE.2019.11.3.29.41

Recibido 16 de Junio, 2019; Aceptado 30 de Septiembre, 2019

Resumen

Se ha propuesto sistemas que se adapten de forma económica y técnica a las condiciones de la mayoría de lugares que tienen un consumo de agua considerable. El trabajo consistió en un reactor biológico anaerobio en el que se llevó a cabo el tratamiento del agua residual doméstica. Se alcanzaron las características de sedimentación del lodo activado después del segundo periodo de estabilización. A lo largo del tratamiento se caracterizaron tres muestras (llave, efluente e influente) en tres tiempos de retención hidráulica, de las cuales se analizaron: pH, temperatura, conductividad, turbidez, SST y DQO. Adicionalmente las muestras se analizaron en laboratorio, para determinar DQO, DBO5, grasas y aceites, y coliformes fecales. Con el sistema diseñado se obtuvieron porcentajes de remoción mayores de 45% (muestra de la llave) y 34% (muestra del efluente) para DQO y mayores de 71% (muestra de la llave) y 57% (muestra del efluente) para SST. Los parámetros analizados cumplieron los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997 y en el PROY-NOM-001-Semarnat-2017. Se instaló un sistema de filtración que aumentó los porcentajes de remoción en las muestras tratadas alcanzando una mejor calidad del agua. También se adicionó cloro para asegurar la eliminación de coliformes fecales.

Tratamiento, Anaerobio, Lodos

Abstract

It has been proposed systems that adapt economically and technically to the conditions of most places that have a considerable water consumption. The work consisted of an anaerobic biological reactor in which the treatment of domestic wastewater was carried out. Sedimentation characteristics of the activated sludge were achieved after the second stabilization period. Throughout the treatment three samples were characterized (key, effluent and influent) in three times of hydraulic retention, of which were analyzed: pH, temperature, conductivity, turbidity, SST and COD. Additionally, the samples were analyzed in the laboratory to determine COD, BOD5, fats and oils, and fecal coliforms. With the designed system removal percentages higher than 45% (key sample) and 34% (effluent sample) were obtained for COD and greater than 71% (key sample) and 57% (effluent sample) for SST. The parameters analyzed met the maximum permissible limits established in NOM-003-SEMARNAT-1997 and in PROY-NOM-001-Semarnat-2017. A filtration system was installed that increased the percentages of removal in the treated samples reaching a better water quality. Chlorine was also added to ensure the elimination of fecal coliforms.

Treatment, Anaerobic, Sludge

Citación: RODRIGUEZ-MORALES, José Alberto, SILVA- GARCIA, Gabriela Guadalupe, RAMOS-LOPEZ, Miguel Ángel y LEDESMA-GARCIA, Janet. Construcción de un prototipo anaerobio para el tratamiento de aguas residuales. Revista de Ingeniería Innovativa. 2019. 3-11: 29-41

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: josealberto970@hotmail.com)

[†] Investigador contribuyendo como primer Autor.

Introducción

En esta investigación se tiene en cuenta la importancia el crecimiento acelerado de la población y la industrialización han derivado en una explotación insostenible de los recursos naturales; el agua siendo uno de los recursos más importantes por su papel tan indispensable para el desarrollo de la vida se encuentra en desventaja por su disponibilidad mundial.

Sistemas anaerobios para tratamiento de aguas

Como bien se ha explicado anteriormente, estos sistemas se basan en la depuración biológica por microorganismos anaerobios en un ambiente carente de oxígeno. La descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo a partir de reacciones óxido-reducción.

Cuando la materia orgánica como la glucosa ($C_6H_{12}O_6$) ha sido parcialmente oxidada, se da lugar a compuestos completamente oxidados (CO_2) y compuestos completamente reducidos (CH_4 e H_2). La degradación de la materia orgánica se efectúa en cuatro pasos: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

En estas etapas los microorganismos oxidan determinados compuestos orgánicos para obtener energía para su desarrollo y utilizan compuestos carbonados específicos para sintetizar sus componentes celulares. Los productos finales de estas reacciones son el alimento del siguiente grupo de microorganismos como se muestra en la Figura 1.

a. **Hidrólisis.** Las bacterias fermentativas actúan en el exterior celular, liberando enzimas (exoenzimas) que se encargan de solubilizar los compuestos orgánicos iniciales. Las proteínas son degradadas por medio de poli-péptidos para producir aminoácidos. Los carbohidratos se transforman en azúcares solubles y los lípidos en ácidos grasos de cadena larga. La hidrólisis es una etapa limitante para el proceso anaerobio y es altamente dependiente de la temperatura.

- b. **Acidogénesis.** En esta etapa, los productos de la hidrólisis (compuestos orgánicos solubles como aminoácidos, polisacáridos y ácidos grasos) son transformados en ácidos orgánicos como ácido acético, propiónico y butírico por bacterias acidogénicas que actúan inmediatamente después de la hidrólisis. Son las más beneficiadas energéticamente ya que tienen las más altas velocidades de crecimiento del consorcio. Los principales microorganismos son los que producen ácido butírico del género *Clostridium*.
- c. **Acetogénesis.** Las bacterias acetogénicas convierten los productos intermedios de la fase anterior (como butirato, propionato, acetato) en ácido acético, hidrógeno y CO_2 , que son los sustratos principales para la producción del metano.
- d. **Metanogénesis.** Los microorganismos metanogénicos pueden considerarse como los más importantes del proceso, ya que son los encargados de la formación del metano y de la eliminación de los productos de los grupos anteriores. A partir del ácido acético y de las mezclas de H_2 y CO_2 , se produce CH_4 , también puede formarse ácido fórmico y metanol.

Esta etapa, también conocida como “fermentación metánica”; es la más tardada ya que las bacterias que se encargan de llevar a cabo la fermentación tienen una tasa de crecimiento más lenta que las bacterias de las etapas anteriores. Por este motivo, la fermentación metánica es la que controla la velocidad del proceso.

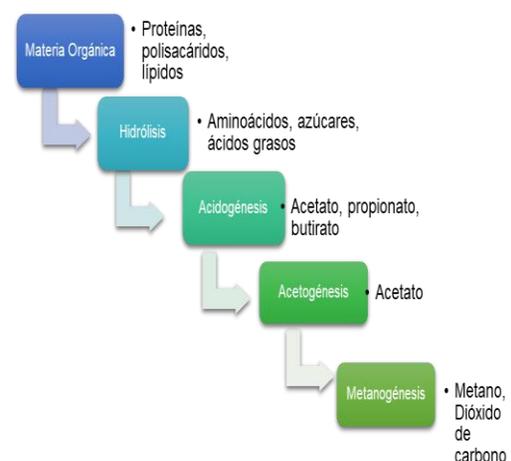


Figura 1 Compuestos formados en las etapas de la digestión anaerobia

Biopelículas anaerobias

Los sistemas de biopelículas, también conocidos como “filtros anaerobios o filtros sumergidos”, se basan en la formación de consorcios de microorganismos adheridos en diversas superficies sólidas. En estos sistemas, la alimentación de agua residual se lleva a cabo por el fondo del reactor y la salida por la parte superior; de manera que el material de soporte queda sumergido en el agua residual. No es necesaria la recirculación, puesto que la biomasa permanece adherida al material de soporte y no se pierde en el efluente. Las bacterias se agregan en colonias con el objetivo de buscar protección ante posibles condiciones adversas del medio. A diferencia de los sistemas de biomasa móvil, las biopelículas presentan mayor persistencia en el sistema, mayores tasas de crecimiento, mayor incremento en la actividad metabólica y mayor resistencia a la toxicidad.

El tipo de empaque o material de soporte puede diferir dependiendo del diseño del tren de tratamiento pero su principal función es favorecer la adhesión de los microorganismos y la formación de una película biológica activa.

Para el material de soporte se opta generalmente por empaques geométricos acomodados de una forma ordenada, sin embargo algunos pueden ser de orden aleatorio. Normalmente, la alimentación del reactor es por la parte inferior para asegurar que el agua tenga contacto completamente con el material de soporte. Los procesos de tratamiento anaerobio de biomasa fija son principalmente:

- Reactor anaerobio de lecho empacado de flujo ascendente
- Reactor anaerobio de lecho expandido
- Reactor anaerobio de lecho fluidizado.

El uso de biopelículas representa una gran ventaja ya que las bacterias se adhieren en consorcios en las superficies sólidas del empaque, favoreciendo ciertos procesos metabólicos de las bacterias. Al elegirse el material de soporte de biopelículas es necesario considerar que debe conseguirse una alta actividad donde pueda darse una buena difusión de nutrientes en la superficie del material de soporte. Es indispensable que la biopelícula sea estable, delgada y activa para que el proceso tenga un mejor rendimiento.

PET como material de soporte en biopelículas

El PET (polietilentereftalato), es un poliéster perteneciente a la familia de los termoplásticos. Inicialmente se utilizaban únicamente en la fabricación de fibras textiles, sin embargo por su versatilidad y por sus propiedades mecánicas y químicas comenzó a ser utilizado en un sin número de productos con distintas aplicaciones.

Actualmente, el PET es utilizado de forma excesiva y la mayor parte termina en los rellenos sanitarios y océanos, representando un problema ambiental debido a que por sus propiedades, su degradación es muy lenta. Además, la regulación mundial de su producción no ha sido adecuada porque continúa en aumento y no ha generado cambios en los hábitos de consumo de los habitantes.

El PET tiene la ventaja de ser un material de bajo precio y alta disponibilidad. Por su estructura es capaz de retener biomasa, y cuando es utilizado para estos fines, se beneficia al ambiente ya que en lugar de ser desechado en los residuos sólidos urbanos, es reciclado para el tratamiento de agua residual. Otra ventaja más es que el PET puede ser moldeado fácilmente y se pueden formar empaques de formas geométricas donde el área de contacto sea mucho mayor que en otros materiales como piedras, cascajos, etcétera. Se han desarrollado sistemas de tratamiento biológicos en los que el PET ha presentado resultados satisfactorios como material de soporte, alcanzando una eficiencia de 90-97%.

Ventajas del tratamiento anaerobio.

En comparación con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales, el tratamiento anaerobio presenta grandes ventajas que han sido estudiadas por algunos autores; y deben considerarse para quien diseñe una planta de tratamiento de aguas residuales. Algunas de ellas son:

- Al ser un proceso que opera en ausencia de oxígeno, no es necesaria la aireación del reactor.
- Alta capacidad de remoción de carga orgánica en afluentes de concentraciones iguales o mayores a 1,500 mg/L de DQO.
- Baja demanda de energía.

- Producción de metano como fuente de energía que puede utilizarse en calderas o generadores eléctricos para elevar la temperatura del sistema.
- Menor volumen del reactor.
- En países donde la temperatura promedio es estable y alta no hay necesidad de calentar el reactor.
- Bajo costo de inversión.
- En comparación con los procesos aerobios, el tratamiento anaerobio produce menos biomasa. Lo cual es favorable porque la inversión en el manejo y disposición de lodos será menor. Esto también implica menor requisito de nutrientes como nitrógeno y fósforo.
- La retención de biomasa es alta, por lo tanto no es necesario reciclar el lodo.
- El lodo producido puede ser almacenado con facilidad en periodos de cargas orgánicas reducidas o paro del proceso.
- Los tiempos de residencia son mayores que en los tratamientos aerobios.
- Se requiere un lodo granular para que el proceso sea más eficiente. De lo contrario, un lodo sin haber sido inoculado previamente tardará aproximadamente seis meses en arrancar.
- La relación entre las bacterias filamentosas y las formadoras de flóculos es muy importante para una correcta sedimentación, ya que la predominancia de las bacterias filamentosas produce un fenómeno conocido como “bulking filamentoso”, el cual impide que se formen los flóculos y la capacidad de sedimentación disminuya. Entre otros problemas de sedimentación, se encuentra el crecimiento disperso (efluente turbio sin formación de flóculos) y formación de flóculos “pin-point” o microflóculos (efluente turbio con formación de flóculos pequeños y débiles).

Desventajas del tratamiento anaerobio.

Algunas de las desventajas del tratamiento anaerobio son las siguientes:

- Largos periodos de estabilización del proceso.
- Puede ser necesaria la adición de compuestos alcalinos para mantener un pH neutro. En aguas muy concentradas puede ser necesario una concentración de 2,000-3,000 mg/L de CaCO_3 .
- Es necesario un tratamiento posterior al tratamiento anaerobio para mejorar la calidad del agua.
- No es posible la degradación biológica de nutrientes.
- Necesidad de temperaturas más altas para un mejor rendimiento.
- Debido a la producción de ácido sulfhídrico y mercaptanos, estos procesos producen malos olores.

Metodología

Microplanta

El reactor anaerobio se construyó a partir de una Microplanta marca Boss Technology, con capacidad total de 2800 L. La Microplanta cuenta con dos compartimentos; de los cuales solo se utilizó uno para el tratamiento y tiene una capacidad aproximada de 1000 L. Como se observa en la figura 2.



Figura 2 Microplanta marca Boss

Se armaron columnas de PET de tres distintas capacidades 600 mL, 1.2 L y 2 L, las cuales fueron sobrepuestas y soportadas con tubo de PVC, como se observa en la Figura 3



Figura 3 Armado de la estructura con pvc y botellas PET

Se adaptaron 57 columnas; dando un total de 131 botellas de cada capacidad, de las antes mencionadas. En la Figura 4 se puede visualizar la parte superior del reactor, después de haber sido instaladas todas las columnas de PET, que servirán de material de soporte para la formación de biopelículas. Se adaptó también una llave, con el fin de caracterizar el agua en un punto cercano a la entrada del influente, y después compararla con el efluente.



Figura 4 Vista superior del reactor con la estructura con pvc y botellas PET

Inoculación de la Microplanta

La inoculación del sistema se llevó a cabo utilizando lodo residual aerobio como inóculo, proveniente de la planta de tratamiento de agua residual del Campus Aeropuerto. El inóculo adicionado representó el 10% de su volumen total y la forma de alimentación fue utilizando un tubo de PVC como se muestra en la Figura 2, para que el flujo de entrada fuera de abajo hacia arriba con la intención de asegurar que el material de soporte estuviera en contacto con el lodo y posteriormente con el agua residual.

Segunda Inoculación.

Se llevó a cabo una nueva inoculación con lodos aerobios; posteriormente la estabilización tuvo un lapso de 20 días, en los cuales diariamente se midió el IVL para asegurar que el lodo presentara las características deseadas. Además se realizó la caracterización fisicoquímica habitual.

Estabilización de la Microplanta

Con el objetivo de adaptar los lodos aerobios a un ambiente anaerobio, el inóculo se sometió a un periodo de estrés de 30 días. El periodo de estrés se llevó a cabo con la adición de 10 L de agua residual diaria, lo cual permitió que los lodos tuvieran una cantidad mínima de carga orgánica para ser metabolizada mientras las bacterias comenzaban a acondicionarse al nuevo ambiente anaerobio.

Posterior a los 30 días del periodo de estrés (crecimiento de bacterias anaerobias), se aumentó el volumen adicionado a 20 L por un mes más. Durante esta etapa se monitorearon parámetros fisicoquímicos.

Determinación del Tiempo de Retención Hidráulico

El periodo de estabilización fue necesario para determinar el Tiempo de Retención Hidráulico (TRH), ya que con la experimentación se fue modificando el volumen de carga.

El TRH se calculó con la fórmula 1 siguiente:

$$TRH = \frac{V_r}{Q} \quad (1)$$

TRH = Tiempo de Retención Hidráulico (s).

V_r = Volumen Total (m^3).

Q = Caudal (L/día).

Una vez inoculado la Microplanta se llevó a cabo la etapa de estabilización que duró 15 días a diferentes cargas, las cuales fueron a TRH de 33, 22 y 15 días.

Análisis fisicoquímico del agua en las tres etapas del tratamiento

A lo largo de los tres tiempos de retención se analizaron tres muestras diferentes: MI (Influente – Agua Residual Cruda), MLL (Llave de muestreo), ME (Efluente). Se determinaron diferentes parámetros como pH, Conductividad, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Totales, Temperatura, Turbidez y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Dichos parámetros permitieron determinar la efectividad del tratamiento y llevar a cabo el análisis del agua

Técnicas analíticas

Los análisis realizados de pH, Conductividad, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Totales (ST) Temperatura y Turbidez se basaron en las técnicas descritas en el APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas y aguas residuales.

Mejoramiento de la calidad del agua residual tratada por filtración

Se tomaron muestreos de los tres TRH diferentes para probar la efectividad de un filtro armado con una botella de PET, compuesto de carbón activado fino, arcilla y arena sílica y carbón activado granular (en orden ascendente) Como se muestra en la figura 5.

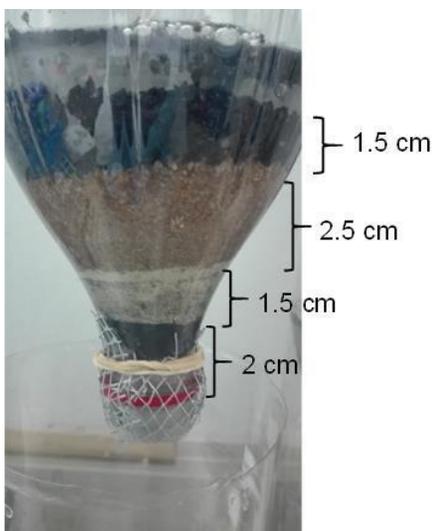


Figura 5 Filtro para mejorar la calidad del agua. Material filtrante de forma ascendente: carbón activado en polvo, arcilla, arena sílica, carbón activado poroso

Se realizaron los mismos análisis ya mencionados con el agua filtrada para comprobar si el filtro representaba algún cambio significativo en la calidad del agua tratada.

Resultados

Inoculación y estabilización del sistema.

El periodo de estabilización (incluida la segunda inoculación) duró 80 días. En general, los periodos de estabilización tienen una duración aproximada de 30-60 días pero este tiempo varía de acuerdo a las características ambientales en el reactor y de su estructura. El tiempo de estabilización se extendió más para alcanzar la estructura de lodo deseada y coinciden con los periodos de estabilización obtenidos por Elmitwalli y Otterpohl (76, 84 y 79 días). Esta etapa es determinante para que el proceso sea efectivo y una alternativa para reducir el tiempo de estabilización anaerobia es el de incluir un pretratamiento térmico, ultrasónico, con microondas, Fenton, oxidación húmeda, fotocatalisis, entre otros.

En la primera etapa de estabilización (60 días) se realizaron 20 pruebas y 14 en el segundo periodo (20 días). En la tabla 3 se muestran los promedios obtenidos de los parámetros analizados.

	Periodo de Estabilización			Segundo Periodo de Estabilización		
	Media.	Desv. Estándar	Rango	Media	Desv. Estándar	Rango
pH	7.7	0.135	7.4-7.9	7.4	0.323	6.7-7.9
Temperatura (°C)	23.0	3.028	18.0-27.6	24.7	1.600	21.0-27.0
Sólidos Totales (g/L)	6.7	82.30	2.6-9.7	10.2	1.145	8.5-12.2

Tabla 1 Análisis de los lodos durante los periodos de estabilización

pH, temperatura y conductividad.

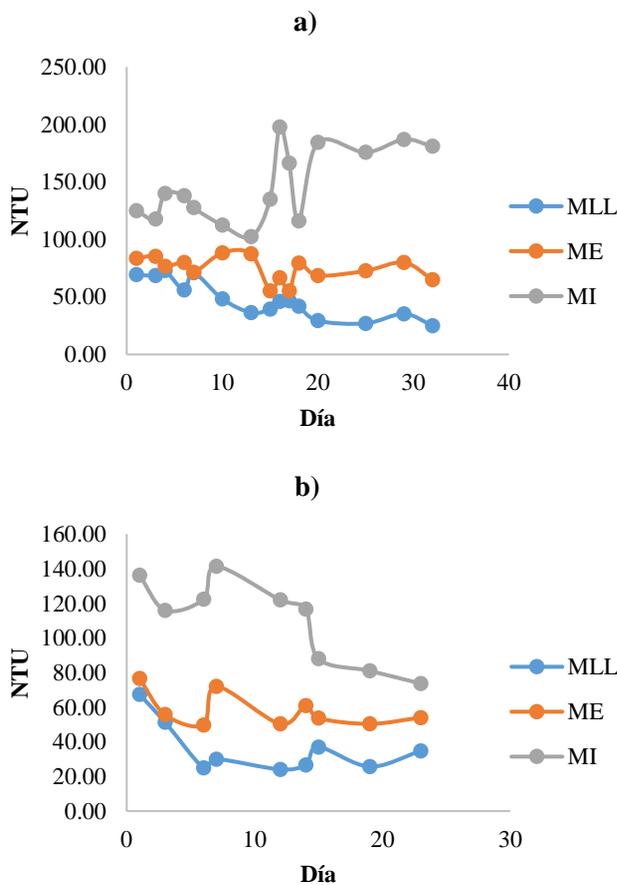
El rango de pH desde el inicio del proceso de estabilización (Tabla 1) hasta que se terminó de analizar el último tiempo de retención (Tabla 2) fue de 6.7-8.1, y a pesar de que el rango óptimo para el crecimiento de las bacterias metanogénicas va de 6.6-7.2; Von Sperling y Lemos han reportado que con un pH de 6.0-8.0 se puede alcanzar estabilidad en la producción de metano aunque deben evitarse valores por debajo de 6.0 y por encima de 8.3, ya que pueden inhibir el crecimiento de bacterias metanogénicas.

		TRH1 (n=15)	TRH2 (n=9)	TRH3 (n=9)
		Media	Media	Media
MI	pH	7.8	7.5	7.5
	Temperatura (°C)	24.9	24.4	24.2
	Conductividad (µS)	2159.5	1548.3	1794
MLL	pH	7.7	7.6	7.6
	Temperatura (°C)	28.6	28.9	27.9
	Conductividad (µS)	2682.5	2157.4	1875.6
ME	pH	7.7	7.7	7.7
	Temperatura (°C)	26.2	25.5	24.8
	Conductividad (µS)	2589.5	2033.4	1743.4

Tabla 1 Parámetros fisicoquímicos de los tres parámetros en los tres tiempos de retención hidráulica

Turbidez

En lo que respecta al parámetro de Turbidez, medidas en unidades Nephelometric Turbidity Unit (NTU) en la Gráfica 1, se puede notar una tendencia de las muestras de la llave y el efluente con respecto a las muestras del influente, durante los tres tiempos de retención.

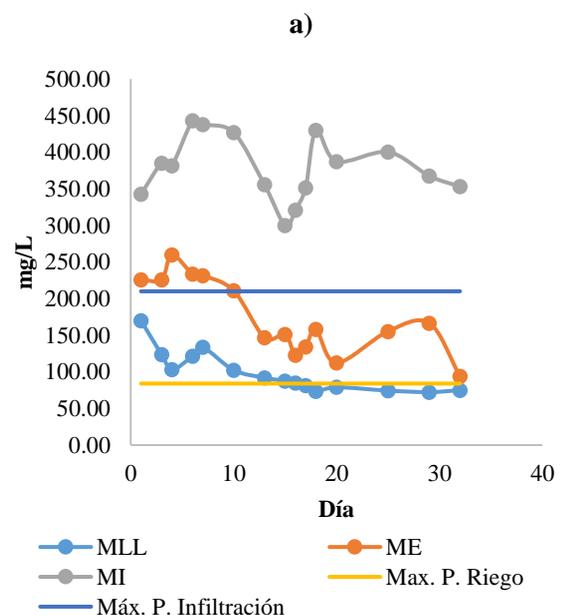


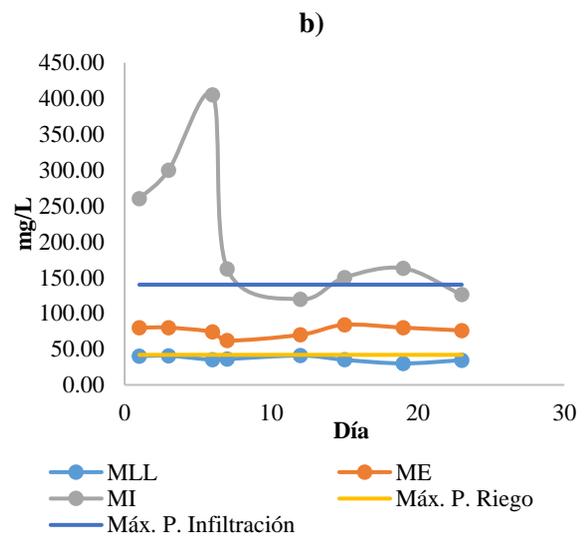
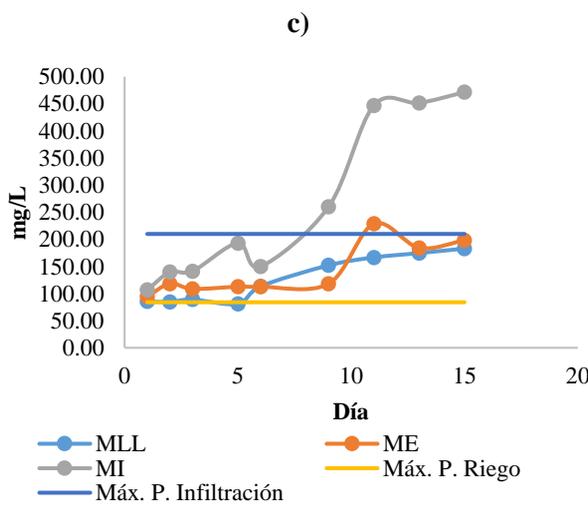
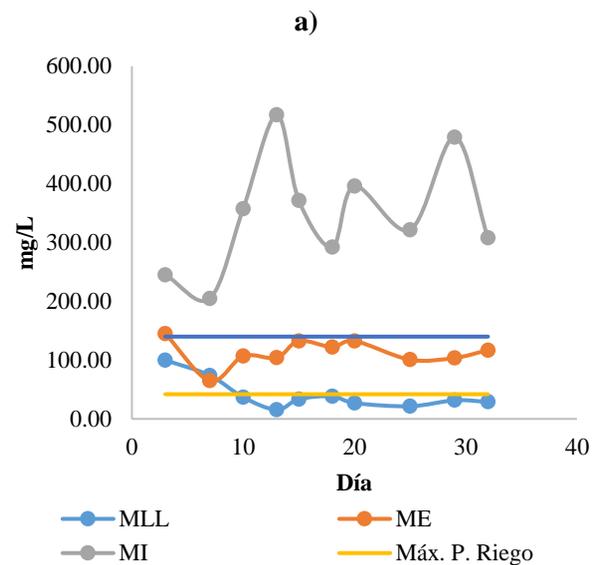
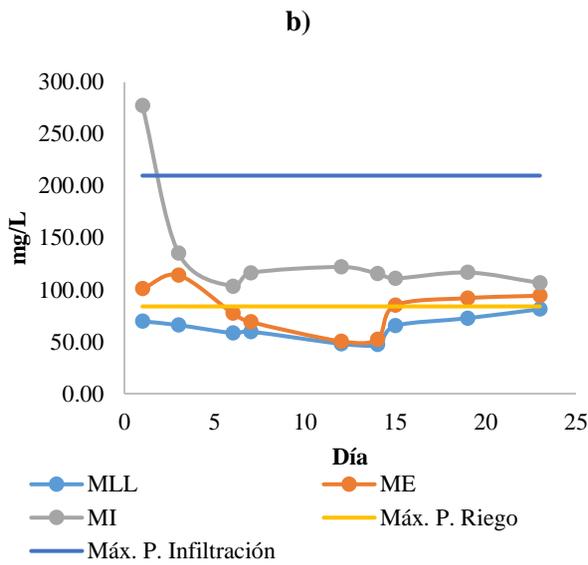
Gráfica 1 Valores de turbidez en las tres muestras. a) Primer tiempo de retención, b) Segundo Tiempo de Retención, c) Tercer Tiempo de Retención

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En el ensayo de la DQO determina la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente las sustancias orgánicas en el agua. Por muchos años no se reguló este parámetro, pero ha adquirido gran importancia en todo el mundo, ya que representa la cantidad de compuestos químicos en agua que no han podido ser degradados de forma biológica.

La Gráfica 2, indica la cantidad de DQO en las tres muestras de agua durante los tres tiempos de retención, así como los límites máximos permisibles para descarga en suelo para riego de áreas verdes e infiltración y otros riegos, establecidos en el proyecto de norma PROY-NOM-001-Semarnat-2017.

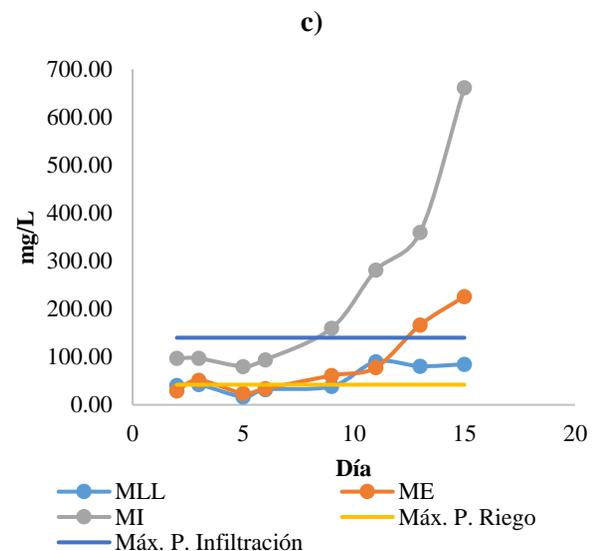




Gráfica 2 Demanda Química de Oxígeno de las tres muestras. a) Primer periodo de retención, b) Segundo Tiempo de Retención, c) Tercer Tiempo de Retención. Máx. Perm. De acuerdo al PROY-NOM-001-Semarnat-2017. Descarga en suelo de riego de áreas verdes e infiltración

Sólidos Suspendidos Totales (SST).

De una forma similar a la DQO, los SST presentan un comportamiento variable, como se presenta en las tres gráficas de la Gráfica 3. En el segundo tiempo de retención (Gráfica 3b) la concentración de SST es más estable y la estabilidad continúa en el tercer tiempo de retención (Gráfica 3c) hasta el día de 9 en la que la DQO del influente aumenta y con ello las muestras tratadas, de la misma forma que ocurre en los demás parámetros analizados.



Gráfica 3 Sólidos Suspendidos Totales en las tres muestras. a) Primer tiempo de retención, b) Segundo tiempo de retención, c) Tercer tiempo de retención. Máx. Perm. De acuerdo al PROY-NOM-001-Semarnat-2017. Descarga en suelo de riego de áreas verdes e infiltración

Mejoramiento de la calidad del agua tratada por medio de filtración

En comparación con el sistema de tratamiento anaerobio descrito; el sistema de filtración propuesto mejoró considerablemente la calidad del agua con un porcentaje mayor de remoción de DQO y SST, como se expone en la Figura 9. En cada tiempo de retención se comparan los porcentajes de remoción de las muestras filtradas y sin filtrar.

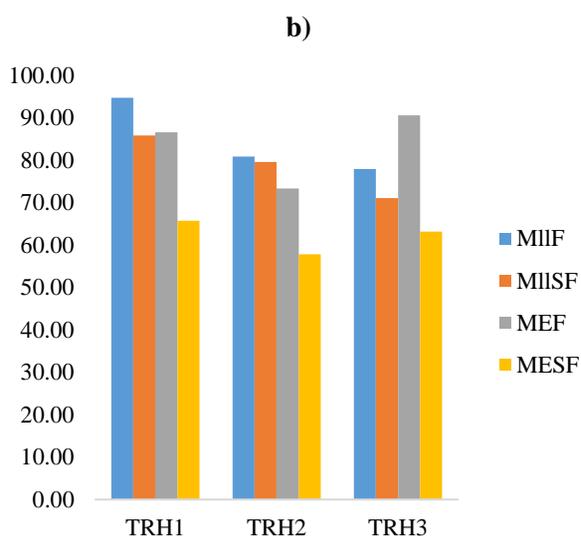
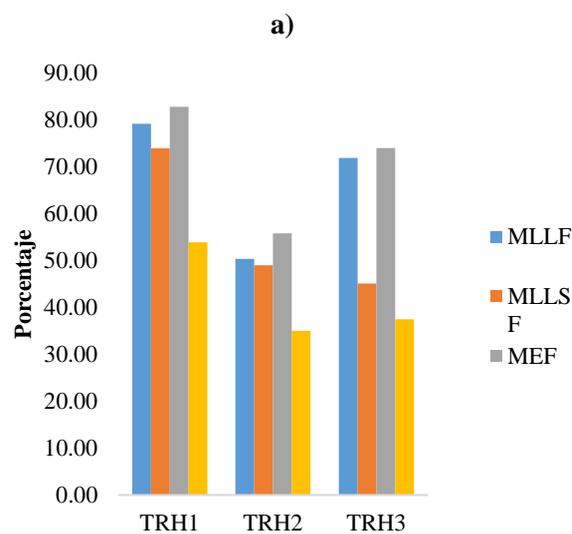


Figura 9 Porcentaje de remoción en las muestras filtradas y sin filtrar. a) DQO, b) SST

Agradecimiento

El primer agradece a los proyectos FOFI-UAQ 2018 por habernos financiado el proyecto FIN201810.

Conclusiones

Inoculación y estabilización del sistema.

En un inicio el lodo tenía una estructura granular, lo cual era deseable ya que esta estructura permanece intacta incluso cuando hay estrés hidráulico. Sin embargo, el lodo comenzó a adquirir una estructura flocculenta, y la desventaja de esta estructura de acuerdo a Hulshoff es que los flóculos tienden a descomponerse con mayor facilidad, incluso cuando el mezclado es suave.

El proceso de granulación es bastante complejo ya que contribuyen las fuerzas químicas, físicas y biológicas. Liu y colaboradores, describieron este proceso en un modelo general que involucra 4 pasos para la formación de los gránulos; en este modelo se resalta lo determinantes que son el movimiento físico para que las bacterias se adhieran entre ellas, las fuerzas de atracción iniciales (físicas, químicas y bioquímicas), las fuerzas microbianas que permiten madurar a los agregados celulares y la estructura tridimensional de los agregados microbianos en el estado estacionario. Aunque se han reportado periodos de estabilización de aproximadamente 80 días, para reducir este tiempo será necesario que se monitoreen con mayor profundidad los parámetros antes mencionados.

En general, los valores de pH reportados no ponen en peligro el proceso anaerobio, no obstante se observó que los valores más bajos se reportaron durante el segundo periodo de estabilización (después de la segunda inoculación). Se puede inferir que esta ligera disminución de pH se debe a las etapas de acidogénesis y acetogénesis en las que se generan ácidos orgánicos en los procesos anaerobios. Posterior a la estabilización, no se obtuvieron valores inferiores a 7.2.

pH, temperatura y conductividad.

La temperatura fue variable en relación al estado del tiempo, pero se pudo notar que en las muestras tomadas de la llave de muestreo se registraron valores más altos, al igual que en la muestra del efluente; lo cual es favorable puesto que se puede asegurar que dentro del reactor se conservaba la temperatura adecuada para el desarrollo de las bacterias metanogénicas.

La conductividad eléctrica presentó valores mayores en las tres muestras del primer tiempo de retención, en promedio en el segundo tiempo de retención se obtuvo un porcentaje de reducción de 23.12% y 26.56% en el tercero. Los valores de conductividad, tienen relación con la cantidad de sólidos disueltos en el agua ya que la conductividad representa la capacidad de una solución para conducir corriente eléctrica y ésta depende de los iones presentes. Por ello es que a medida que la conductividad disminuye, también disminuye la cantidad de sólidos disueltos totales. Los porcentajes de reducción de sólidos disueltos totales son 21.11% en el segundo tiempo de retención y 27.26% en el tercero; valores que se aproximan a los obtenidos en la conductividad.

Turbidez

Se puede apreciar que en el segundo tiempo de retención los valores descienden y las muestras tratadas no tienen un cambio muy significativo, por lo cual el porcentaje de reducción es menor que en el primer tiempo de retención. En el tercer tiempo de retención, la turbidez del agua de entrada sube drásticamente después del día 9 ya que en esta fecha se retomaron las actividades en el Campus Aeropuerto y se elevó la cantidad de sólidos suspendidos en el agua. A pesar de esta variación, la turbidez en las muestras tratadas no se elevó por encima de 80 NTU, lo que indica la capacidad del sistema para seguir tratando los sólidos suspendidos a pesar de las condiciones de entrada.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Figura 7, indica la cantidad de DQO en las tres muestras de agua durante los tres tiempos de retención, así como los límites máximos permisibles para descarga en suelo para riego de áreas verdes e infiltración y otros riegos, establecidos en el proyecto de norma PROY-NOM-001-Semarnat-2017. Después del día 10 del primer periodo de retención, tanto las muestras de la llave y del efluente son aptas para descarga en suelo de infiltración, se puede observar también en la gráfica que después del día 20 hay un ligero aumento en la DQO de la muestra del efluente. La razón es porque durante la etapa de fermentación ácida, los componentes orgánicos complejos en su proceso de degradación se descomponen en ácidos orgánicos de cadena simple como el ácido acético, propiónico y butílico.

Esta producción de ácidos orgánicos se ve reflejada en la DQO, debido a que estos compuestos ejercen una demanda química de oxígeno. Es por ello muy probable que en los primeros periodos de tratamiento anaerobio la DQO se incremente (Ramahlo, 1990).

Posteriormente los valores de DQO se mantuvieron por debajo de los límites máximos para descarga en suelo de infiltración durante los dos siguientes tiempos de retención a excepción de un punto en el tercer tiempo de retención.

Para que el agua tratada pueda ser descargada en suelo para riego de áreas verdes, es necesario que se mejore el sistema y se alcance una estabilidad en los valores de DQO por debajo del límite permisible, ya que en este sistema sólo algunos puntos son aceptables, principalmente para las muestras de la llave.

Remoción de DQO y SST

Los parámetros examinados, se determinó el porcentaje de remoción de la DQO y SST (Figura 9), ya que estas variables son las que se encuentran reguladas en el PROY-NOM-001-Semarnat-2017 y en la NOM-003-SEMARNAT-1997, por ser de especial interés en la calidad de agua para descarga y reúso. De la DQO (Figura 9a) se obtuvieron porcentajes de remoción en la muestra de la llave de 73.85% (TRH1), 48.97% (TRH2), 45.04% (TRH3) y en la muestra del efluente de 53.85% (TRH1), 34.98% (TRH2), 37.46% (TRH3). Mientras que en las concentraciones de SST (Figura 9b) se alcanzaron porcentajes de remoción en la muestra de la llave de 85.80% (TRH1), 79.60% (TRH2), 71.09% (TRH3) y en la muestra del efluente de 65.70% (TRH1), 57.77% (TRH2), 63.15% (TRH3).

Se diseñó un sistema de tratamiento anaerobio de contacto para el tratamiento de aguas residuales domésticas del Campus Aeropuerto mediante el uso de botellas de PET como material de soporte para las biopelículas. El pH y la temperatura de las muestras de agua residual tratada se encontraron en un rango aceptable para un sistema de tratamiento anaerobio adecuado; pero los valores de conductividad se elevaron después del tratamiento biológico.

Tanto la DQO como los SST tuvieron buenos porcentajes de remoción en los tres tiempos de retención de las muestras tratadas remoción. Mayores de 45% (muestra de la llave) y 34% (muestra del efluente) para DQO y mayores de 71% (muestra de la llave) y 57% (muestra del efluente) para SST. La turbidez presentó un comportamiento similar.

Se logró mejorar la calidad del agua tratada con el sistema de filtración diseñado para los siguientes parámetros: turbidez, conductividad, DQO y SST. No obstante, el pH se elevó en las muestras filtradas.

Las muestras analizadas por la Unidad de Servicios Químicos Analíticos y Unidad de Servicios Clínicos, comprobaron la efectividad del sistema de tratamiento en los valores de DBO₅ y grasas y aceites; sin embargo se sugiere adecuar un sistema de tratamiento terciario en el que se incluya la filtración y cloración para alcanzar valores aptos para DQO y coliformes fecales.

Referencias

- Abdel-raouf, N., Al-Homaidan, A. A., Ibraheem, I. B. M. Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2012; 19, 257-275.
- Acosta, Y. L., Obaya, M. C. La Digestión Anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. 2005; 39, 35-48.
- Anjum, M., Al-Makishah, N.H., Barakat, M.A. Wastewater sludge stabilization using pre-treatment methods. *Process Safety and Environmental Protection*. 2016; 102, 615-632.
- ATSDR. Toxicological profile for benzene. Atlanta, Georgia: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007.
- Aragón, C. A. Optimización del proceso de lodos activos para reducir la generación de fangos residuales (Tesis Doctoral). Cádiz: Universidad de Cádiz, 2009.
- Betancourt, W. Q., Querales, L. J. Parásitos Protozoarios Entéricos en Ambientes Acuáticos: Métodos de Concentración y Detección. *Interciencia*. 2008; 33, 418-423.
- Cámara, K. C., Laines, J. R. La Digestión Anaerobia y la Bioquímica. *Kukulkab*. 2011; 17, 89-95.
- CEA. La Memoria del Agua. Trabajos, retos y logros de la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro 2001-2009. Querétaro: Comisión Estatal del Agua, 2009.
- Chávez, M. E. Diseño y cálculo de un tren de tratamiento biológico para aguas residuales urbanas usando la tecnología de lecho granular expandido (Tesis de Maestría). México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional, 2010.
- CONAGUA. Estadísticas del agua en México. México, D.F. : Comisión Nacional del Agua, 2011.
- CONAGUA. Programa Nacional Hídrico. 2014-2018. México, D.F. : Comisión Nacional del Agua, 2013.
- CONAGUA. Atlas del agua en México 2016. México, D.F. : Comisión Nacional del Agua, 2016.
- Dauvergne, P. Why is the global governance of plastic failing the oceans? *Global Environmental Change*. 2018; 51, 22-31.
- Dick, R. I., Vesilind, P. A. The Sludge Volume Index: What is it? *Water Pollution Control Federation*. 1969; 41, 1285-1291.
- Eckenfelder, W. W. *Industrial Water Pollution Control*. 3a Edición. Toronto: Mc-Graw Hill, 2000. 50-53.
- Espinosa, M. C. Remoción de materia orgánica y benceno de aguas residuales mediante lodos activados acoplados con proceso foto Fenton (Tesis de Maestría). Querétaro, México.: Universidad Autónoma de Querétaro, 2017.
- Elmitwalli, T. A., Otterpohl, R. Anaerobic Biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Research*. 2007; 41, 1379-1387.
- Fall, C.; Loaiza, J.; Esparza, M.; Martínez, L. Evaluación de un clarificador secundario en una planta de tratamiento de aguas residuales. *Ingenierías*; 35, 13-19.

- FAO-Aquastat. Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.
- Govoreanu, R. Activated sludge flocculation dynamics: on-line measurement methodology and modelling (Tesis Doctoral). Ghent, Bélgica: Universiteit Gent, 2004.
- Hulshoff, L. The phenomenon of granulation of anaerobic sludge (Tesis Doctoral). Wageningen: Wageningen University and Research, 1989.
- Huser, B. A., Wuhrmann, K., Zehnder, A. J. B. *Methanotrix soehngenii* gen. Nov. Sp. Nov., a new acetotrophic non-hydrogen-oxidizing methane bacterium. Springer-Verlag. 1982; 1-9.
- Jiménez, B.E. La contaminación Ambiental en México. México: Limusa, 2005; 259.
- Joel, C., Kiprop, E. K., Mwamburi, L. A. Effect of seasonal variation on performance of conventional wastewater treatment system. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*. 2017; 5, 1-7.
- Kiely, G. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Madrid: Mc Graw Hill, 1999; 105,-106, 630-639, 749-750.
- Kostyla, C., Bain, R., Cronk, R., Bartram, J. Seasonal variation of fecal contamination in drinking water sources in developing countries: A systematic review. *Science of the Total Environment*, 2015; 514, 333-343.
- Lapo, B., Romero, H. PET y PP usado como medios de crecimiento de Biopelícula Fija aplicada al Tratamiento Aerobio. *COBEQ*, 2016; 20, 1-9.
- Liu, Y., Xu, H.L., Yang, S.F., Tay, J.H. Mechanisms and models for anaerobic granulation in upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Water Research*. 2003; 37, 661-673.
- Mendoza, M. Y., Rodríguez, J. A. Reactor Aerobio con Medio de Soporte Fijo utilizando botellas de PET. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*. 2016; 12: 105-116.
- Mendoza, M.Y. Acoplamiento de un sistema biológico aerobio y un proceso avanzado de oxidación para el tratamiento de un efluente acuoso (Tesis de Maestría). Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro, 2016.
- Metcalf, L., Eddy, H., comp. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. 4a. edición. Nueva York: Mc-Graw Hill, 2003; 10-14, 602-604, 635, 684-685.
- Mohlman, F.M. The Sludge Index. *Sewage Works J*. 1934; 6, 119-122.
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J.M., Güereca, L.P. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. México: Universidad Autónoma de México. Instituto de Ingeniería, 2013; 12-13.
- Peñuela, G., Morató, J. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. Cataluña: TECSPAR, 2009; 89-101.
- Rajeshwari, K. V, Balakrishnan, M., Kansal, A., Lata, K., Kishore, V. V. N. State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2000; 4, 135-156.
- Ramalho, R.S. Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Reverté, 1990; 110, 503-504, 509, 518-519, 531-532.
- Spencer, P. *The Biological Basis of Water Treatment*. Glasgow: Strathkelvin Instruments Ltd, 2005; 3-6.
- Velázquez, M. C. Organismos filamentosos y su relación con la degradación de materia orgánica y nutrientes bajo condiciones específicas de operación. México, D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.
- Von Sperling, M, Lemos, C. A. *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*. Volume one. London: IWA Publishing, 2005; 312-314, 446-449, 660.
- Wu, W. Cultivation of anaerobic granular sludge in UASB reactors with aerobic activated sludge as seed. *Water Research*, 1987; 789-799.

WWAP. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso no explotado. París: UNESCO, 2017.

WWDR. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. Agua para un Mundo Sostenible: Datos y Cifras. Perusa: UNESCO, 2015.

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

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

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

International Identification of Science – Techonology an Innovation.

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

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

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

ID 3^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

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 Ingeniería Innovativa. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor

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]

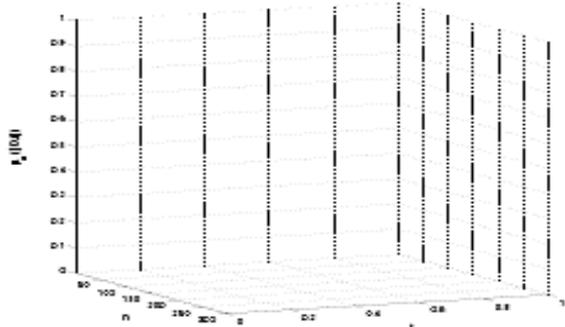


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

Conclusiones

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 Título secuencial.

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

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

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.

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

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

Reserva a la Política Editorial

Revista de Sistemas Experimentales 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 Sistemas Experimentales 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 Artículo 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 Bolivia 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 Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding Perú para su Revista de Ingeniería Innovativa, 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 citas-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

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

MIRANDA - TORRADO, Fernando. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN® Republic of Peru), 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

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú.

Revista de Ingeniería Innovativa

“Sistema de riego inteligente para el cultivo del nogal”

ESPARZA-DELGADO, María del Carmen, PEREZ-ORTEGA, Eva Claudia y CHAVIRA-ALVAREZ, Alberto

Universidad Tecnológica de Chihuahua

“Estudio cinemático de la mano para movimiento de oposición del dedo pulgar y movimientos de flexión y extensión de los dedos índice, medio, anular y meñique”

RUIZ-CHICAIZA, Pablo & CEVALLOS-BARRAGÁN, Carlos

Escuela Politécnica Nacional

LNMB, Université Libre de Bruxelles

“Generador de Agua mediante el uso de Celdas Peltier y Energía Solar”

CHÁVEZ, José Manuel, ESPEJEL-BLANCO, Daniel Fernando, HERNÁNDEZ-AGUIRRE, Fredy Alberto y RASCÓN-BARCELÓ, Luis Eduardo

Instituto Tecnológico de Hermosillo

“Construcción de un prototipo anaerobio para el tratamiento de aguas residuales”

RODRIGUEZ-MORALES, José Alberto, SILVA- GARCIA, Gabriela Guadalupe, RAMOS-LOPEZ, Miguel Ángel y LEDESMA-GARCIA, Janet

Universidad Autónoma de Querétaro

