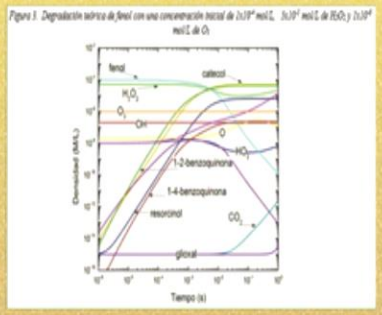
Nº 12 DICIEMBRE 2021

INVESTIGACIÓN APLICADA, UN ENFOQUE EN LA TECNOLOGIA

Edición Especial del 1er. Congreso Internacional de Ingenierías, Ciencias y Tecnología Aplicada, CIICTA 2021

Estudio teórico de la de la cinética química de la oxidación de fenol inducido por H2O2 y H2O2/O3



Columnas de lecho fijo con cáscara del fruto de encino (Quercus rubra) en la adsorción de azul de metileno

Figura 1. Fruto de encino.
Figura 2. Fruto de encino sin cáscara.

Diseño y Desarrollo de un Sistema Gestor de Archivos, mediante Big Data para el Control de Información

Desarrollo de aplicación móvil para estudiantes con Trastorno de Ansiedad Generalizada

Obtención de Nanopartículas de Fe/Cu, Soportadas en Cáscara de Castaña, para la Remoción de Metales del Dam Provenientes de Milluni, La Paz

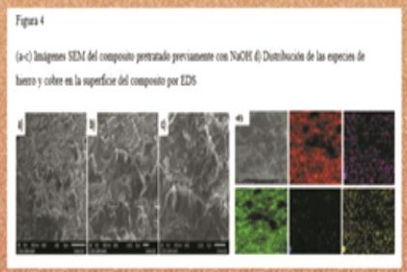


Figura 4

(a-c) Imágenes SEM del composito pretratado previamente con NaOH; d) Distribución de las especes de hierro y cobre en la superficie del composito por EDS

Utilización de cañamiza como refuerzo de celulosa termoplástica para la sustitución de PVC en cables de baja tensión

Ilustración 1.(a) Solución de NaOH con H_2O_2; (b) reacción de cañamiza en medio acuoso

Visita

https://www.investigacionaplicadarevista.com

Página Editorial

INVESTIGACIÓN APLICADA, UN ENFOQUE EN LA TECNOLOGÍA
Año 6, No. 12, julio-diciembre 2021, es una publicación electrónica semestral editada por Zulma Sánchez Estrada. Av. de Las Rosas 260 A, Fracc. Hda. Real de Tultepec, Tultepec, Edo.de México,
C.P. 54987, E-mail: investigacionaplicada4@gmail.com

Editores responsables: Zulma Sánchez Estrada, Jorge Noriega Zenteno, Jorge Aarón Noriega Sánchez, Armando Sánchez Estrada. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2018-112617484200-203, ISSN: 3594-035X, Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2018-112617484200-203, ISSN: 3594-035X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Zulma Sánchez Estrada, Av. de Las Rosas 260A, Fracc. Hda. Real de Tultepec, Tultepec, Edo. de México, C.P. 54987, fecha de última modificación, 31 de diciembre 2021.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de los editores.

Folio Latindex: 28438

https://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=28438

La revista **Investigación Aplicada, un Enfoque en la Tecnología** es una publicación periódica, indexada, arbitrada y registrada ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor, que tiene como propósito principal divulgar el trabajo científico de investigadores, por tal motivo, los artículos publicados tienen relación con el trabajo y aplicación de la Investigación, en general y con las derivaciones de la ingeniería que se desarrollan en el ámbito de la investigación, en particular.

La revista **Investigación Aplicada, un Enfoque en la Tecnología** es una publicación arbitrada.

Acerca de la revista

El comité editorial de **Investigación Aplicada, un Enfoque en la Tecnología**, está formado por investigadores con una trayectoria destacada en el ámbito laboral y de investigación, que en conjunto forman una fuerza interdisciplinaria para dar fuerza y sustento al contenido de la revista.

Comité Editorial
Dra. Zulma Sánchez Estrada
M. en C.E. Armando Sánchez Estrada
Dr. Jorge Noriega Zenteno
Ing. Jorge Aarón Noriega Sánchez

Contacto

Contactar con la revista

Email: investigacionaplicada4@gmail.com
https://www.investigacionaplicadarevista.com/

Contacto principal

Dra. Zulma Sánchez Estrada
Celular: 55-13-47-71-04
Correo electrónico: zul_zul_1@hotmail.com
Dr. Jorge Noriega Zenteno
Celular: 55-11-26-55-27
Correo electrónico: jorge_sup@hotmail.com

Contacto de asistencia

M. en C.E. Armando Sánchez Estrada
Correo electrónico: armandose5@yahoo.com.mx

Contenido

Estudio teórico de la de la cinética química de la oxidación de fenol inducido por H_2O_2 y H_2O_2/O_3 485

INTRODUCCIÓN 486

DESARROLLO 486

OBJETO DE ESTUDIO 486

METODOLOGÍA Y FASES DEL DESARROLLO 486

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 489

CONCLUSIÓN 493

BIBLIOGRAFÍA. 493

Diseño, construcción y simulación de un reactor CSTR para las pruebas experimentales en el tratamiento del colorante índigo carmín y *Escherichia coli* en una solución acuosa 494

INTRODUCCIÓN 495

DESARROLLO 495

OBJETO DE ESTUDIO 495

METODOLOGÍA 495

RESULTADOS 496

CONCLUSIONES 499

BIBLIOGRAFÍA 500

Columnas de lecho fijo con cáscara del fruto de encino (*Quercus rubra*) en la adsorción de azul de metileno 501

INTRODUCCIÓN 502

DESARROLLO 502

OBJETO DE ESTUDIO 502

METODOLOGÍA 503

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 505

CONCLUSIONES 509

BIBLIOGRAFÍA 509

Análisis crítico sobre la actualización de la NOM 001-SEMARNAT-1996 en la PTAR Jocotitlán, Estado de México: el papel de las especies químicas 510

INTRODUCCIÓN 511

METODOLOGÍA 511

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 513

CONCLUSIÓN 521

BIBLIOGRAFÍA 521

Gestión de los residuos y aguas residuales de rastros municipales y su potencial aprovechamiento 524

INTRODUCCIÓN 525
OBJETO DE ESTUDIO 525
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 525
CONCLUSIÓN 531
BIBLIOGRAFÍA 532

Evaluación de las emisiones de las partículas atmosféricas PM_{10} de la termoeléctrica Lerma, Campeche y en el centro histórico de San Francisco de Campeche 536

INTRODUCCIÓN 537
OBJETO DE ESTUDIO 538
METODOLOGÍA 538
RESULTADOS Y DISCUSIONES 539
CONCLUSIONES 543
BIBLIOGRAFÍA 543

Diseño y construcción un sistema de recirculación acuapónico para casa-habitación "Water Fish" 545

INTRODUCCIÓN 546
DESARROLLO 546
OBJETO DE ESTUDIO 547
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 547
CONCLUSIONES 552
BIBLIOGRAFÍA 552

Plataforma Web para la Administración de los Sistemas de Gestión Integral de Educación Superior 554

INTRODUCCIÓN 556
OBJETO DE ESTUDIO 557
METODOLOGÍA 557
FASES DEL DESARROLLO 558
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 558
CONCLUSIÓN 564
BIBLIOGRAFÍA 564

Desarrollo de aplicación móvil para estudiantes con Trastorno de Ansiedad Generalizada 566

INTRODUCCIÓN 567
DESARROLLO 567
OBJETO DE ESTUDIO 568
METODOLOGÍA 569
FASES DEL DESARROLLO 570
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 570
CONCLUSIÓN 572
BIBLIOGRAFÍA 572

“Diseño y Desarrollo de un Sistema Gestor de Archivos, mediante Big Data para el Control de Información” 574
INTRODUCCIÓN 575
DESARROLLO 575
OBJETIVO DE ESTUDIO 577
DESARROLLO DEL PROYECTO 577
Resultados más significativos del cuestionario de investigación. 578
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 581
CONCLUSIÓN 584
BIBLIOGRAFÍA 585
Schizophrenia and Depression Episodes Classification using Machine Learning Algorithms 586
INTRODUCTION 587
DEVELOPMENT 587
OBJECT OF STUDY 587
METHODOLOGY 588
RESULTS AND DISCUSSION 593
CONCLUSION 593
ACKNOWLEDGMENT 594
REFERENCES 594
Detección de la Obstrucción de la Imagen en la Cámara de Reversa de un Vehículo Mediante Redes Neuronales Convolucionales 596
INTRODUCCIÓN 597
DESARROLLO 597
OBJETO DE ESTUDIO 598
METODOLOGÍA 598
FASES DEL DESARROLLO 600
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 603
CONCLUSIÓN 606
BIBLIOGRAFÍA 606
Implementación de Algoritmos de Aprendizaje Automático para la Predicción de pacientes con Diabetes 608
Resumen 608
INTRODUCCIÓN 609
DESARROLLO 609
OBJETO DE ESTUDIO 610
METODOLOGÍA 610
FASES DEL DESARROLLO 611
RESULTADOS 612
CONCLUSIÓN 619
BIBLIOGRAFÍA 620

Gestión de una base de datos para un sistema adaptativo 621
INTRODUCCIÓN 622
OBJETO DE ESTUDIO 622
METODOLOGÍA 622
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 623
CONCLUSIÓN 625
BIBLIOGRAFÍA 626
Social-Demographic: a web tool application to perform comprehensive data visualization of epidemiological data of Zacatecan population 627
INTRODUCTION 628
METHODOLOGY 628
RESULTS 629
DISCUSSION AND CONCLUSIONS 633
BIBLIOGRAPHY 634
Evaluación del rendimiento de temperatura en una torre de desalinización solar mediante el uso de PCM 635
INTRODUCCIÓN 636
DESARROLLO 636
OBJETO DE ESTUDIO 636
METODOLOGÍA 636
FASES DEL DESARROLLO 639
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 640
CONCLUSIÓN 642
BIBLIOGRAFÍA 642
Potencialidades de toba vítrea como material adsorbente de cobre en medio amoniacal 644
INTRODUCCIÓN 645
DESARROLLO 645
OBJETO DE ESTUDIO 646
METODOLOGÍA 646
FASES DEL DESARROLLO 646
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 647
CONCLUSIÓN 651
BIBLIOGRAFÍA 651
Utilización de cañamiza como refuerzo de celulosa termoplástica para la sustitución de PVC en cables de baja tensión 653
INTRODUCCIÓN 654
DESARROLLO 654
OBJETO DE ESTUDIO 654
METODOLOGÍA 654
FASES DEL DESARROLLO 655

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 657
CONCLUSIÓN 657
BIBLIOGRAFÍA 658
Caracterización de minerales zeolíticos en su forma natural y funcionalizada 659
INTRODUCCIÓN 660
OBJETO DE ESTUDIO. 660
METODOLOGÍA 660
RESULTADOS 661
CONCLUSIONES 663
REFERENCIAS 664
Activación de la superficie de esfalerita para la recuperación de Zn utilizando nanopartículas de sulfuro de cobre 665
INTRODUCCIÓN 666
DESARROLLO 666
OBJETO DE ESTUDIO 666
METODOLOGÍA 666
FASES DEL DESARROLLO 667
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 668
CONCLUSIÓN 670
BIBLIOGRAFÍA 670
‘‘OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE Fe/Cu, SOPORTADAS EN CÁSCARA DE CASTAÑA, PARA LA REMOCIÓN DE METALES DEL DAM PROVENIENTES DE MILLUNI, LA PAZ” 671
INTRODUCCIÓN 671
DESARROLLO 672
OBJETO DE ESTUDIO 672
METODOLOGÍA 672
RESULTADOS Y DISCUSIONES 675
CONCLUSIONES 682
Caracterización del proceso de calentamiento por Inducción para Probetas Planas de Tensión Bajo Diferentes Parámetros de Diseño en el Inductor 684
INTRODUCCIÓN 685
FUNDAMENTOS TEÓRICOS 685
DESARROLLO EXPERIMENTAL 686
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 687
CONCLUSIÓN 688
BIBLIOGRAFÍA 689

Estudio teórico de la de la cinética química de la oxidación de fenol inducido por H_2O_2 y H_2O_2/O_3

Bethsabet, Jaramillo Sierra[1], Antonio, Mercado Cabrera[2], Mario, Ibañez Olvera[3], Alma Neli, Hernandez Arias[4], Juan Nabor, Balderas Gutiérrez[5] Víctor Enrique Gonzaga Galeana [6]

[1]*Tecnologico de Estudios Superiores de Tianguistenco, e-mail: bethsabet.jaramillo@test.edu.mx*
[2]*Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, e-mail: antonio.mercado@inin.gob.mx*
[3]*Tecnologico de Estudios Superiores de Tianguistenco, e-mail: mario_mecatronica@test.edu.mx*
[4]*Tecnologico de Estudios Superiores de Tianguistenco, e-mail: almaneli.hernandez@test.edu.mx*
[5]*Tecnologico de Estudios Superiores de Tianguistenco, e-mail: nabor_mecatronica@test.edu.mx*
[5]*Tecnologico de Estudios Superiores de Tianguistenco, e-mail: nabor_mecatronica@test.edu.mx*

Línea de investigación: Tratamiento de agua

Resumen

Se presenta el estudio teórico de la cinética química de la degradación de fenol en solución acuosa aplicando Métodos de Oxidación Avanzada (*AOPs*) específicamente H_2O_2 (peróxido de hidrógeno) y H_2O_2/O_3 (peróxido de hidrógeno/ozono). El modelo representa la generación y consumo de las especies que intervienen en la oxidación del fenol con relación al tiempo, relaciona 34 reacciones químicas y 15 especies. Para la solución del sistema de ecuaciones diferenciales se utilizó FORTRAN *Pawer Station 4.0 de Microsoft*. Los resultados de la simulación mostraron la aplicabilidad de los *AOPs* en la degradación del fenol debido a la generación de radicales OH, así también, se determinaron los subproductos teóricos como por ejemplo: ácido oxálico, glioxal, CO_2 y H_2O principalmente.

Palabras clave: Agua, *Contaminación, Oxidación, Reacciones químicas, Tratamiento*.

Abstract

The theoretical study of the chemical kinetics of the degradation of phenol in aqueous solution is presented applying Advanced Oxidation Methods (AOPs) specifically H_2O_2 (hydrogen peroxide) and H_2O_2/O_3 (hydrogen peroxide / ozone). The model represents the generation and consumption of the species involved in the oxidation of phenol in relation to time, it relates 34 chemical reactions and 15 species. For the solution of the system of differential equations, Microsoft's FORTRAN Pawer Station 4.0 was used. The results of the simulation showed the applicability of AOPs in the degradation of phenol due to the generation of OH radicals, thus also, the theoretical by-products were determined such as: oxalic acid, glyoxal, CO_2 and H_2O mainly

Keywords: Water, Pollution, Oxidation, Chemical reactions, Treatment.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para el desarrollo de los seres vivos, por lo que es de importancia su cuidado, no obstante, una de sus mayores problemáticas es su contaminación, la cual puede efectuarse por sólidos suspendidos, compuestos orgánicos e inorgánicos y bacterias, principalmente. Dentro de los contaminantes principales del agua, son destacados los compuestos fenolicos, ampliamente utilizados en la industria química.

Existen diversos métodos para la eliminación de fenol en aguas residuales (Divale, 2014, Espuglas, 2021) como por ejemplo: (a) la absorción, el cual es regularmente utilizado para aguas fenólicas diluidas, sin embargo, requiere el lavado y/o reemplazo periódico del filtro, y un tratamiento posterior de los residuos absorbidos, así también los absorbentes utilizados como el carbón activado o zeolitas son costosos. Otro método utilizado es el (b) tratamiento térmico, el cual es empleado para el tratamiento de altas concentraciones de fenol, no obstante, consume altas cantidades de energía lo cual limita su aplicación y (c) los procesos biológicos, que se caracterizan por requerir largos tiempos de tratamiento debido a las características microbianas del fenol.

Los compuestos fenólicos después del tratamiento de cloración generan clorofenoles los cuales son altamente tóxicos, cancerígenos y requieren una alta demanda de oxígeno (2.4 mg/mg de fenol) afectando directamente a la vida acuática (Ghanim, 2021; De Louis, 2008).

Debido a que los métodos utilizados convencionalmente no son totalmente efectivos o generan subproductos tóxicos, se han implementado tecnologías alternativas como los Métodos de Oxidación Avanzada (*Advanced Oxidation Processes*) los cuales fueron definidos por Glaze *et al.* (Ahinoa, 2013) como procesos químicos en los que se generan radicales hidroxilo (OH), los cuales tienen un alto potencial de oxidación, aun mayor que los oxidantes convencionalmente utilizados capaz de llevar a cabo la degradación de contaminantes orgánicos (Ghanim, 2021; Honarmandrad, 2021; Sires, 2014; Nickheslat, 2013, Zuorro, 2013).

Los AOPs son divididos en dos categorías homogéneos y heterogéneos. Los homogéneos se caracterizan por el uso de diversos oxidantes como H_2O_2 y O_3, también son utilizados agentes catalíticos como Fe^{2+}, Fe^{3+} entre otros, en ocasiones son adicionados más de un oxidante o pueden ser utilizados fuentes de energía externas como lámparas de UV, ultrasonido o energía eléctrica (Sieres, 2014; Zuorro, 2013). Los heterogéneos utilizan semiconductores como TiO_2 y ZnO.

Los Métodos de Oxidación Avanzada ya han sido empleados para eliminar contaminantes presentes en agua, como pintura (Ghanim, 2021; Mansur, 2014; Zuorro, 2013), clorofenoles (Ahinoa, 2013), herbicidas y pesticidas (Boye, 2002; Mountser 2001).

En este trabajo se desarrolló un modelo de la cinética química de la degradación del fenol en solución acuosa por medio de reacciones de H_2O_2 y H_2O_2/O_3, los cuales son métodos de bajo costo y fácil operación, capaz de mineralizar el contaminante, por lo tanto evitan la generación de subproductos tóxicos.

DESARROLLO

OBJETO DE ESTUDIO

El fenol es un compuesto químico que se encuentra en el medio ambiente ya sea de forma natural o manufacturado, es utilizado en la fabricación de plásticos, medicamentos, cosméticos, pinturas, herbicidas, plaguicidas, aceites lubricantes, solventes y productos de limpieza domestica principalmente (Honarmandrad, 2021; Yanpeng, 2014; De Fritas, 2013). Debido a sus diversas aplicaciones, el fenol es encontrado en las aguas residuales afectando a los seres humanos, plantas y animales. A bajas concentraciones (5 ppb) ocasionan mal olor y sabor, al ser inalados o ingeridos provocan quemaduras, daño en pulmón, hígado, riñón e incluso pueden causar la muerte (De Luis, 2008).

METODOLOGÍA Y FASES DEL DESARROLLO

PLANTEAMIENTO DEL MODELO TEÓRICO

El modelo cinético se basa en la ecuación de la conservación de las especies (Ecuación 1), el cual describe el comportamiento de una especie *i*:

$$\frac{dn_i}{dt} + \nabla\left(n_i \bar{u} + \Gamma_i \right) = S_i \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde: n_i= densidad de la especie *i*, $\bar{u}$ = velocidad promedio del flujo, Γ = Flujo de difusión, S_i = representa la generación y descomposición de la especie *i*.
Para el desarrollo del modelo se consideró que la densidad de las especies es igual en cualquier punto del reactor, es decir, que la evolución de las especies es únicamente en función del tiempo, aplicando dichas hipótesis, la ecuación es simplifica de la siguiente manera:

$$\frac{dn_i}{dt} = S_i \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

La cual también puede ser representada como la Ecuación 3:

$$\frac{dn_i}{dt} = \sum_{l=1}^{M} v_{li}\left[k_f^l \prod_i n_i^{v_{fi}^l}\right] \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

En donde n_i representa la densidad de la especie *i*, si el componente *i* es generado: $(v_{li}=+1)$, $(v_{li}=+2)$ de lo contrario si la especie *i* es consumida: (v_{li}=-1), (v_{li}=-2); es la diferencia de coeficientes estequiométricos de la reacción *l* y la especie *i* tanto de generación como de consumo, k_f^l es el coeficiente de la reacción de los productos, $\prod_i$ representa el producto de $n_i^{v_{fi}^l}$ para la reacción *l* de cada especie *i*.
Las simulaciones fueron llevadas a cabo a una temperatura de 273.15 K y a la presión de 1 atmósfera. El modelo relaciona 34 reacciones químicas y 15 especies. Se realizaron diversas simulaciones en donde se analizó la degradación de fenol en solución acuosa con H_2O_2 y H_2O_2/O_3, para lo cual se modificó la densidad inicial de los oxidantes.

SELECCIÓN DE REACCIONES QUÍMICAS

Se estableció un mecanismo global de la degradación de fenol utilizando H_2O_2 y H_2O_2/O_3, considerando reacciones iníciales, de propagación, de oxidación de fenol y finalización, para cada una de las reacciones fue necesario conocer su coeficiente de reacción *k*. Las principales reacciones químicas se observan en la tabla 1.

TABLA 1. PRINCIPALES REACCIONES DEL MECANISMO DE LA ELIMINACIÓN DE FENOL POR H_2O_2 y H_2O_2/O_3

Reacciones iníciales
$H_2O_2 \rightarrow OH + OH$
$H_2O \rightarrow OH + H$
$O_3 + H \rightarrow OH + O_2$
Reacciones de propagación
$2O_3 + H_2O \rightarrow OH + 2O_2 + HO_2$
$O_3 + HO_2 \rightarrow OH + 2O_2$
$H + O_2 \rightarrow HO_2$
$O_2 + H_2O_2 \rightarrow OH + HO_2 + O$
$HO_2 + H_2O_2 \rightarrow OH + O_2 + H_2O$
$H + H_2O_2 \rightarrow OH + H_2O$
Reacciones de oxidación de fenol
2fenol + OH → catecol + H_2O + fenol
2fenol + OH → resorcinol + H_2O + fenol
2fenol+OH → hidroquinona + H_2O + fenol
hidroquinona+ OH → 1,4 benzoquinona
catecol + OH → 1,4 benzoquinona
resorcinol + OH → 1,4 benzoquinona
1,4 benzoquinona + OH → hidrobenzoquinona
Hidrobenzoquinona + O_3 → productos

Hidrobenzoquinona + OH → productos
Reacciones de finalización
$OH + H \rightarrow H_2O$
$HO_2 + OH \rightarrow H_2O + O_2$
$HO_2 + HO_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$
$O_2 + OH \rightarrow HO_2 + O$

BALANCE DE MATERIA Y OBTENCIÓN DE ECUACIONES DIFERENCIALES

Se realizó un balance de materia en relación a la ecuación 3 y para cada una de las especies y reacciones químicas que intervienen en el proceso de oxidación del fenol, obteniendo un sistema de ecuaciones diferenciales tipo rígidas o "*stiff*" (por su nombre en inglés). En la tabla 2 se observan el sistema de ecuaciones obtenidas del balance de materia únicamente de las reacciones iníciales y de propagación presentadas en la tabla 1.

TABLA 2. BALANCE DE MATERIA DE LAS ESPECIES INÍCIALES Y DE PROPAGACIÓN

$$\frac{d(H_2O_2)}{dt} = -k_1[H_2O_2] - k_7[O_2][H_2O_2] - k_8[HO_2][H_2O_2] - k_9[H][H_2O_2]$$

$$\frac{d(OH)}{dt} = +k_1[H_2O_2] + k_1[H_2O_2] + k_2[H_2O] + k_3[O_3][H] + k_4[O_3][O_3][H_2O_2] + k_5[O_3][HO_2] + k_7[O_2][H_2O_2] + k_8[HO_2][H_2O_2] + k_9[H][H_2O_2]$$

$$\frac{d(H_2O)}{dt} = -k_2[H_2O] + k_8[HO_2][H_2O_2] + k_9[H][H_2O_2]$$

$$\frac{d(H)}{dt} = -k_2[H_2O] - k_6[H][O_2] - k_9[H][H_2O_2]$$

$$\frac{d(O_3)}{dt} = -k_3[O_3][H] - k_4[O_3][O_3][H_2O] - k_4[O_3][O_3][H_2O] - k_5[O_3][HO_2]$$

$$\frac{d(O_2)}{dt} = +k_3[O_3][H] + k_4[O_3][O_3][H_2O] + k_4[O_3][O_3][H_2O] + k_5[O_3][HO_2] + k_5[O_3][HO_2] - k_6[H][O_2] - k_7[O_2][H_2O_2] + k_8[HO_2][H_2O_2]$$

$$\frac{d(HO_2)}{dt} = +k_4[O_3][O_3][H_2O] - k_5[O_3][H_2O_2] + k_6[H][O_2] + k_7[O_2][H_2O_2] - k_8[HO_2][H_2O_2]$$

MÉTODO DE SOLUCIÓN

Para el desarrollo del modelo cinético de la degradación de fenol fue utilizando FORTRAN *77* y el paquete computacional KINAL, el cual está constituido principalmente por 4 programas (DIFF, SENS, PROC y YRED), así como 20 subrutinas (Turanyt, 1990).

La solución de las ecuaciones diferenciales rígidas se llevó a cabo en el programa DIFF el cual se basa en el método de Runge-Kutta semi-implícito de cuarto orden y el método de *Rosenbrock*. Así también, para facilitar la solución del sistema es realizada una descomposición directa del método en el programa SENS. Es importante mencionar que la concentración inicial de las especies así como si coeficiente de reacción *k* son considerados parámetros de entrada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DEGRADACIÓN DE FENOL UTILIZANDO H_2O_2

En la Figura 1 se observan los resultados teóricos para una concentración inicial de fenol de $1.0x10^{-4}$ mol/L y $5.0x10^{-5}$ mol/L de H_2O_2. Se observa que no hay una oxidación de fenol, a pesar de que la concentración de H_2O_2 se mantuvo constante. Esto puede ser explicado como sigue: cuando se adiciona H_2O_2 a la solución con fenol este puede ser disociado para la formación de radicales OH mediante la siguiente reacción química:

$H_2O_2 \rightarrow OH + OH$ (1)

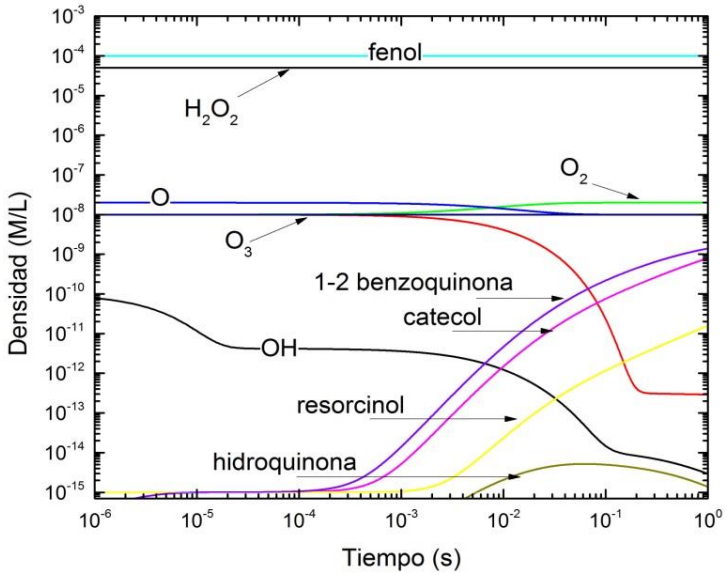
La generación de radicales OH también es llevada a cabo por la disociación del agua mediante:

$H_2O \rightarrow OH + H$ (2)

Posteriormente, los radicales OH colisionan con el fenol de esta forma es iniciada su oxidación, esto mediante las reacciones 3-5:

2fenol + OH → catecol + H_2O + fenol (3)
2fenol + OH → retesorcinol + H_2O + fenol (4)
2fenol+OH → hidroquinona + H_2O + fenol (5)

Figura. 2 Degradación teórica para una concentración inicial de $1.0x10^{-4}$ mol/L de fenol y $5.0x10^{-5}$ mol/L de H_2O_2.



Sin embargo, la generación de OH se llevan a cabo lentamente (k=$1.0x10^{-7}$ L $mol^{-1}s^{-1}$ y k=$1.7x10^{-7}$ L $mol^{-1}s^{-1}$ para la reacción 1 y 2 respectivamente) por lo que se requiere de largos tiempos de tratamiento para lograr la oxidación de fenol, esto ha sido observado experimentalmente por algunos autores [14] ya que han obtenido eficiencias de degradación cercanos al 90% en un tiempo de tratamiento de 48 horas. Por otra parte, el mecanismo de degradación

se ve afectado debido a que los radicales OH colisionan con el H_2O_2 (k=9.99x10^9 L mol^{-1}s^{-1}) generando H_2O y HO_2, las especies formadas reaccionan entre sí y con los radicales OH consumiéndolos rápidamente. Este mecanismo se lleva a cabo de la siguiente forma:

$H_2O_2 + OH \rightarrow H_2O + HO_2$ (6)
$HO_2 + OH \rightarrow H_2O + O_2$ (7)
$HO_2 + HO_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$ (8)
$O_2 + OH \rightarrow HO_2 + O$ (9)
$O_2 + H \rightarrow H_2O_2 + O$ (10)

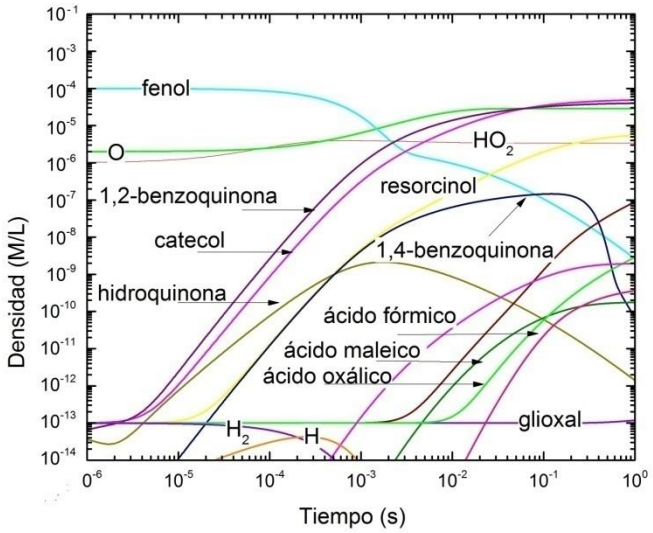
Debido a los inconvenientes del método de H_2O_2 para lograr la oxidación de fenol relacionada directamente con el coeficiente de reacción (k) se requiere acelerar el proceso. Experimentalmente algunos autores han utilizado lámparas UV, fotocatálisis y/o reacciones de Fenton (Divale, 2014; De Fritas, 2013; De Luis, 2008; Espuglas, 2001) ya que facilitan la disociación del H_2O_2 generando especies reactivas entre las cuales se encuentran el OH.

Para el caso de H_2O_2-UV el mecanismo es fundamentado en la ruptura del enlace O-O (254 nm) facilitando la reacción (1), por otra parte, se ha demostrado que las soluciones de peróxido de hidrógeno y sales ferrosas son capaces de oxidar la materia orgánica debido a la formación de radicales OH generados principalmente por la siguiente reacción química:

$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + HO^- + OH$ (11)

En la Figura 2 se observan los resultados teóricos de la oxidación de fenol cuando se facilita la disociación del H_2O_2 para la generación de radicales OH, observándose la degradación del contaminante generado por las reacciones (3-5).

Figura 2 Degradación teórica para una concentración inicial de 1.0x10^{-4} mol/L de fenol y 5.0x10^{-5} mol/L de H_2O_2



DEGRADACIÓN DE FENOL UTILIZANDO H_2O_2/O_3

En la Figura 3 se observan los resultados obtenidos de la degradación de fenol con una concentración inicial de 1x10^{-4} mol/L, 5x10^{-5} mol/L de H_2O_2 y 1x10^{-6} mol/L de O_3, en donde se observa la oxidación teórica del fenol. El proceso de degradación inicia con la generación de radicales OH mediante la disociación del H_2O_2 y H_2O (reacciones 12-13). Por otra parte, la presencia del O_3 permite la formación de una mayor cantidad de radicales OH mediante las reacciones 14-17.

$H_2O_2 \rightarrow OH + OH$ (12)

$H_2O \rightarrow OH + H$ (13)
$O_3 + H \rightarrow OH + O_2$ (14)
$2O_3 + H_2O \rightarrow OH + 2O_2 + HO_2$ (15)
$O_3 + HO_2 \rightarrow OH + 2O_2$ (16)
$O_2 + H_2O_2 \rightarrow OH + HO_2 + O$ (17)

Posteriormente, los radicales OH colisionan con el fenol generando los productos primarios de su oxidación mediante las reacciones 3-5.

Los productos primarios generados como son el catecol, resorcinol e hidroquinona, colisionan con las especies químicas presentes en el líquido llevando a cabo una serie de reacciones químicas formando moléculas más pequeñas como ácido fórmico, ácido malónico, ácido oxálico, CO_2 y H_2O. En la Figura 4 se observa el mecanismo global de degradación de fenol generado por radicales OH (Klepilluv).

Figura 3. Degradación teórica de fenol con una concentración inicial de $1x10^{-4}$ mol/L, $5x10^{-5}$ mol/L de H_2O_2 y $1x10^{-6}$ mol/L de O_3

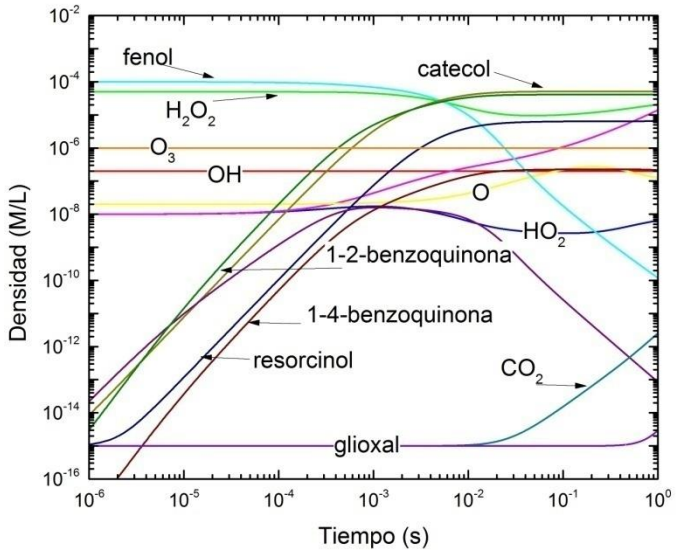
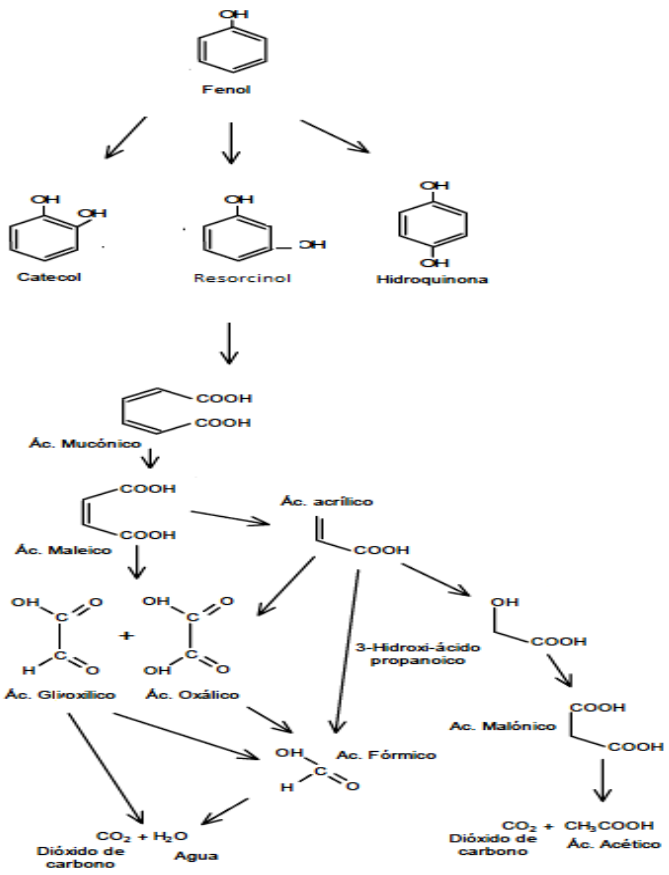
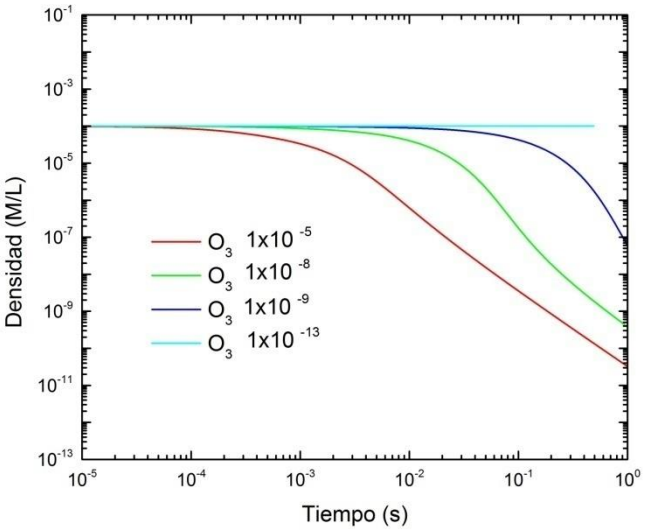


Figura 4. Mecanismo global de degradación de fenol por Métodos de Oxidación Avanzada



En la Figura 6 se observa el efecto del incremento de la densidad de O_3, donde se observa que la oxidación de fenol aumentó cuando la cantidad de O_3 es mayor, esto debido a que se genera una mayor cantidad de radicales OH y por tanto la eliminación de fenol es favorecida.

Fig. 6 Degradación teórica de fenol con una concentración inicial de $1x10^{-4}$ mol/L, $5x10^{-5}$ mol/L de H_2O_2, $1x10^{-5}$ mol/L de O_3, $1x10^{-6}$ mol/L de O_3, $1x10^{-9}$ mol/L de O_3 y $1x10^{-13}$ mol/L de O_3



CONCLUSIÓN

Se llevó a cabo la degradación teórica de fenol para lo cual se desarrolló un modelo global de la cinética química de la oxidación mediante reacciones de H_2O_2 y H_2O_2/O_3. Los resultados mostraron una mayor degradación para la mezcla H_2O_2/O_3 debido a que es favorecido la generación de radicales OH los cuales debido a su alto poder de oxidación llevan a cabo la degradación del fenol, este efecto se incrementó cuando la densidad de O_3 se aumentó. Cuando fue utilizado únicamente H_2O_2 se observó que para ser lograda la degradación del contaminante se requiere acelerar las reacciones generadoras de especies activas.

BIBLIOGRAFÍA.

Ahinoa, R. C., (2013), Wastewater treatment processes for the removal of emergin organic pollutans, Ambiente and água- Interdisciplinary Journal of Applied Science, vol. 8, no. 3, pp 1-11.

Boye, B. (2002), Degradation of Herbicide 4-Chorophenoxyacetic Acid by Advanced Electtrochemical Oxidation Methos, Environ. Sci. Technol., Vol. 36, pp 3030–3035.

De Freitas, A. P. B. (2013). Phenol removal via advanced oxidative processes (O_3/photo-Fenton) and chemometrics, American Journal of Theoretical and Applied Statistics, vol. 6, No. 2, pp 243-247.

De Luis; Ana, (2008). Kinetics study and hydrogen peroxide consumption of phenolics compounds oxidation by Fenton´s reagent, Korean, Journal Chemical Eng, vol. 26, No. 1, pp 48-56.

Divate, S. B.(2014), Review on Research Removal of Phenol from Wastewater by Using Diffent Methods, Iternational Journal of Scientific and Research Publications, vol. 4, no. 1, pp 1-3.

Espuglas, S. (2001). Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation, Water Research, vol. 36, pp 1034-1042.

Ghanim, A. N, Juda, Z. M., (2021), A comparative Study on Phenolic Wasterwater Treatment by Advanced Electrochemical Oxidation Processes, vol. 9, no. 3, 667-674.

Honarmandrad, Z, Javid, N., Malakootian, M. (2021), Removel efficiency of phenol by ozonation process with calcium peroxide from aqueous solution, Applied Water Science, vol. 11, no. 14, pp 1-14.

Klepikuv A.D., (2000), Algunos aspectos de la oxidación de compuestos orgánicos en agua por efecto del peróxido de hidrógeno y la ozonación, Soviet J. Water Chemical Technology, Vol. 24, pp 235-240, 2000.

Mansur, A. (2014), Greem colloidal ZnS quantum dost/chitosan nano-photocatalyts for advanced oxidation processes: Study of the photodegradation of organic dye pollutans, vol. 158-159, pp 269-279.

Mounter, R., (2001), Advanced Oxidation Processes-Current Status and Prospects, Proc. Stonia Acad. Sci. Chem. vol. 50, pp 59-80.

Nickheslat, A. (2013), Phenol Photocatalic Degradation by Advanced Oxidation Process under Ultraviolet Radiation Using Titanium Dioxide, Journal of Environmental and Public Health vol. 13, pp 815310, 9 pages.

Sirés, I. (2014), Electrochemical advanced oxidation processes: today and tomorow. A review, Environ Sci. Pollut Res. vol. 21, pp 8336-8367.

Turanyt, T. (1990), KINAL-A program package for kinetic analysis of reaction mechanisms, Computers Chem. Vol. 14, No. 3, pp 253-254.

Yanpeng, G., (20014). Computational consideration on advanced oxidation degradation ofphenolic preservative, methylparaben, in water: mechanisms,kinetics, and toxicity assessments, Journal of Hazardous Materials, vol. 278, pp 417-425.

Zuorro, A.,(2013),. Evaluation of UV/H_2O_2 advanced oxidation process (AOP) for the degradation of diazo dye Reactive Green 19 in aqueous solution, Desalination and Water Treatmet, vol. 52, pp 1571-1577.

Diseño, construcción y simulación de un reactor CSTR para las pruebas experimentales en el tratamiento del colorante índigo carmín y *Escherichia coli* en una solución acuosa

Erika C., Alonso Mendoza[1], Alma N., Hernández Arias[1], Hugo, Yañez Badillo[1], Bethsabet, Jaramillo Sierra[1], Mario, Ibañez Olvera[1] Víctor Enrique Gonzaga Galeana [6]

[1]*Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Carretera Tenango-La Marquesa km 22, 52650, Santiago Tianguistenco /e-mail: erika_201625048@test.edu.mx*

Línea de investigación: Ingeniería y protección al medio ambiente

Resumen

El siguiente trabajo tiene como objetivo diseñar, construir y simular un reactor continuo de tanque agitado (CSTR) para su uso en pruebas experimentales en el tratamiento del colorante índigo carmín (IC) y *Escherichia coli* (*E. coli*) en solución acuosa. Para ello, el tanque del reactor se diseña para operar a volúmenes de mediana escala y así facilitar la adaptación del sistema de agitación y el sistema de alimentación de los reactivos. Para el modelado del reactor se usa COCO Simulator, usando el sistema acetato de etilo con etanol a 2 mol/h y acetato de etilo a 3 mol/h y condiciones constantes (T = 298° K, P = 1 atm y V = 0.001 m^3). Bajo estas condiciones se obtiene que el factor de conversión del etanol es del 77.8 % y su concentración final de 0. 444027 mol/h. Mientras tanto, el tratamiento de la solución acuosa consiste en una serie de experimentos donde se prueban diferentes concentraciones de H_2O_2: 73, 145, 218 y 290 mg/L y un tiempo de exposición al ozono de: 10, 12, 14 y 18 minutos, con una concentración de 20 mg/L de IC, una concentración de 10^6 UFC/mL de *E. coli* y un volumen de 500 mL. Los resultados obtenidos demuestran que la cuarta prueba es la más eficiente, alcanzando una degradación del 84% de IC y una inactivación del 99.996 % de *E. coli* con un tiempo de exposición al ozono de 18 minutos y una concentración de H_2O_2 de 290 mg/L.

Palabras clave: *degradación, inactivación, reactor, tratamiento.*

Abstract

The following work has the objective of designing, constructing, and simulating a continuous stirred tank reactor (CSTR) for its use in wastewater treatment. For this purpose, the reactor tank is designed to work at medium scale volumes to facilitate the adaptation of the agitation system and the reagents feeding system. For the modeling of the reactor, the COCO Simulator is used to obtain ethyl acetate using ethanol at 2 mol/h and ethyl acetate at 3 mol/h and with constant conditions (T = 298° K, P = 1 atm and V = 0.001 m3), under these conditions it is obtained that the conversion factor of ethanol was 77.8 % and its final concentration was 0.444027 mol/h. Meanwhile, the treatment of the aqueous consists in of a series of experiments where the following H_2O_2 concentrations are tested: 73, 145, 218 and 290 mg/L and an ozone exposure time of: 10, 12, 14 and 18 minutes working with an initial concentration of 20 mg/L of IC, a concentration of 106 CFU/mL of *E. coli* and a volume of 500 mL. Yielded results exhibit the fourth experimentation is the most efficient, achieving a degradation of 84% for the IC dye and an inactivation of 99.996% of the *E. coli* bacteria with an ozone exposure time of 18 minutes and a H_2O_2 concentration of 290 mg/L.

Key words*: degradation, inactivation, reactor, treatment.*

INTRODUCCIÓN

El incremento de las descargas de aguas residuales a los alcantarillados derivadas de las actividades humanas se ha vuelto una gran problemática ambiental para todo el mundo. La falta de un tratamiento correcto previo a su descarga ha conllevado a graves problemas para el recurso hídrico, ya que la mayor parte de estas terminan en estos cuerpos de agua, lo que contribuye a la disminución de su calidad y a la perdida de la biodiversidad que los rodea. Es por ello que, el creciente desarrollo en la ingeniería de procesos ha permitido la creación de nuevos sistemas de depuración para los contaminantes persistentes en el medio ambiente, y que se han convertido en un proceso fundamental, principalmente para el tratamiento del agua. El diseño adecuado de dichos sistemas permite el tratamiento de contaminantes mediante la transformación de la materia y la purificación de los efluentes introducidos, esto a través de procesos fisicoquímicos (Chávez, *et. al*., 2016). Un reactor se define como un dispositivo en el que ocurren reacciones de manera intencionada y controlada.

Actualmente, el avance tecnológico en modelado matemático y computacional ha permitido pronosticar con precisión los procesos de transporte y mezcla que ocurren dentro de un reactor, es decir, con el apoyo de un modelo matemático se obtiene un concepto teórico implementado en una simulación de computadora para diseñar eficazmente un rector, tomando en cuenta las necesidades principales del proceso y las variables que en él intervienen. Existen diferentes tipos de reactores que se clasifican de acuerdo con su método de operación, entre los que se encuentran los reactores continuos tipo tanque con agitación o reactores de mezcla completa, también llamados reactores de tanque agitado. Debido a que su contenido debe ser lo más uniforme posible, este tipo de reactor debe operar en un estado estacionario para que no haya gradientes de concentración ni temperatura (Chumbes y Ari, 2019). Esto permite mantener altas tasas de conversión y un comportamiento estable dentro del mismo (Sinha y Mishra, 2018).

DESARROLLO

El siguiente trabajo se enfoca en diseñar el prototipo de un reactor continuo de tanque agitado (CSTR), para ello se identifica y evalúa las condiciones de operación del reactor con el fin de conocer los procesos de operación del reactor para poder adaptarlo en el proceso de degradación e inactivación de los contaminantes presentes en la solución acuosa bajo el tratamiento de ozonización y peróxido de hidrógeno. Por lo cual, se realiza una simulación del reactor con condiciones de operación a escala de laboratorio en base a su balance de materia por medio del sistema acetato de etilo para adecuar y optimizar la selección de los materiales para que su construcción y adaptación al proceso sean viables. Después de llevar a cabo estas pruebas y comprobar el rendimiento del reactor, se realizan pruebas experimentales del tratamiento con el fin de evaluar la eficiencia de degradación del colorante índigo carmín e inactivación de la bacteria *Escherichia Coli* que presenta el reactor bajo las condiciones de tratamiento.

OBJETO DE ESTUDIO

El latente crecimiento de la humanidad ha intensificado la demanda del recurso natural más indispensable para la subsistencia, el agua, con el fin de abastecer las necesidades básicas, por lo que se ha agravado la contaminación de este recurso derivado de su mal manejo y a las constantes descargas de aguas residuales sin un previo tratamiento. Por tal motivo, el presente trabajo consiste en la propuesta de una alternativa para el tratamiento del agua residual proveniente de las industrias textiles y de las actividades humanas, que logren una alta eficiencia de degradación de los colorantes e inactivación de las bacterias comparado con los tratamientos convencionales ya existentes y, a su vez, se pretende extender una opción viable de implementación que se adapte a los tratamientos anteriores con el fin de obtener una alta calidad en el efluente antes de ser descargado a los cuerpos de agua.

METODOLOGÍA

1.1 Diseño del reactor

El diseño del reactor tanque agitado (CSTR, por sus siglas en inglés) se realiza tomando en cuenta la capacidad del reactor (volumen) y el sistema de agitación. Se calcula el volumen tomando como base un reactor a mediana escala. Para el diseño del sistema de agitación se selecciona un sistema de agitadores tipo turbina, debido a que estos se adecuan a reactores de mediana escala y a fluidos de baja viscosidad y para medianas o altas velocidades angulares. Finalmente se usa una correlación de las dimensiones geométricas del sistema tomando en cuenta los siguientes parámetros: diámetro del tanque (Dt), el diámetro de los impulsores (Da), la distancia del fondo del tanque al impulsor (E/Dt), la distancia entre impulsores (L/Da) y la altura del tanque (H), para su posterior modelado.

1.2 Simulación del reactor

El modelado y simulación del reactor se lleva a cabo con ayuda de un balance de materia con base en la reacción de Van de Vusse, por lo que se considera que este tipo de reactor opera en un estado estacionario, es decir, que, tiene un balance macroscópico, por lo que la acumulación es nula. Con el fin de simplificar la simulación del reactor se considera que la temperatura y volumen son constantes.

1.3 Pruebas experimentales

1.3.1 Inoculación de Escherichia coli (E. coli)

El proceso de inoculación de la cepa se inicia con la preparación del medio de cultivo Luria-Bertani para posteriormente tomar 10 mL del medio y depositarlo en un vaso de precipitado y así tomar una Unidad Formadora de Colonia, de la cepa *E. coli* y depositarla en el medio previamente preparado. Finalmente, el cultivo inoculado se coloca en la incubadora durante un lapso de 20 a 24 horas a una temperatura de 37 °C para que la bacteria se desarrolle.

1.3.2 Preparación de la solución acuosa

La preparación de la solución a tratar se divide en dos etapas: en la preparación de la solución de colorante índigo carmín, en donde se pesan 0.01 g del colorante y continuamente se traslada a un matraz volumétrico de 1L y se diluye con 500 mL de agua esterilizada. La preparación de la solución con la cepa *Escherichia coli*, se prepara con 1 mL del agua inoculada la cual contiene una concentración de 10^9 bacterias/mL, y 9 mL de agua esterilizada para poder diluir la concentración de la cepa teniendo así una concentración de 10^8 bacterias/mL y de esta muestra diluida se depositan 5 mL en la solución con colorante, la concentración final es de 10^6 bacterias/mL.

1.3.3 Tratamiento de la solución mediante el proceso de ozonización y peróxido de hidrógeno

El tratamiento de la solución acuosa se realiza de acuerdo a pruebas experimentales en donde se utilizaron las siguientes condiciones: en la primer prueba se utiliza una concentración de 73 mg/L de H_2O_2 y un tiempo de exposición al ozono de 10 minutos para el tratamiento de los contaminantes, en la segunda prueba se utiliza una concentración de 145 mg/L de H_2O_2 y un tiempo de exposición al ozono de 12 minutos. Para la tercera prueba se valora una concentración de 218 mg/L de H_2O_2 y un tiempo de exposición al ozono de 14 minutos, y para la última prueba se emplea una concentración de 290 mg/L de H_2O_2 y un tiempo de exposición al ozono de 18 minutos. Todas estas pruebas se realizan con las siguientes condiciones: volumen de la solución acuosa (0.5 L), la concentración del colorante (20 mg/L), la concentración de la bacteria (10^6 UFC/mL), la velocidad del sistema de agitación (300 rpm). Durante el tratamiento se toman alícuotas cada dos minutos de 10 mL para su posterior determinación de concentración del colorante y la bacteria.

RESULTADOS

2.1 Diseño del reactor

A continuación, se presenta el plano de diseño del tanque del reactor (figura 1), de acuerdo a los cálculos obtenidos en el diseño, y de los accesorios correspondientes (entrada y salida y la entrada del flujo de ozono) realizado con el software AutoCAD:

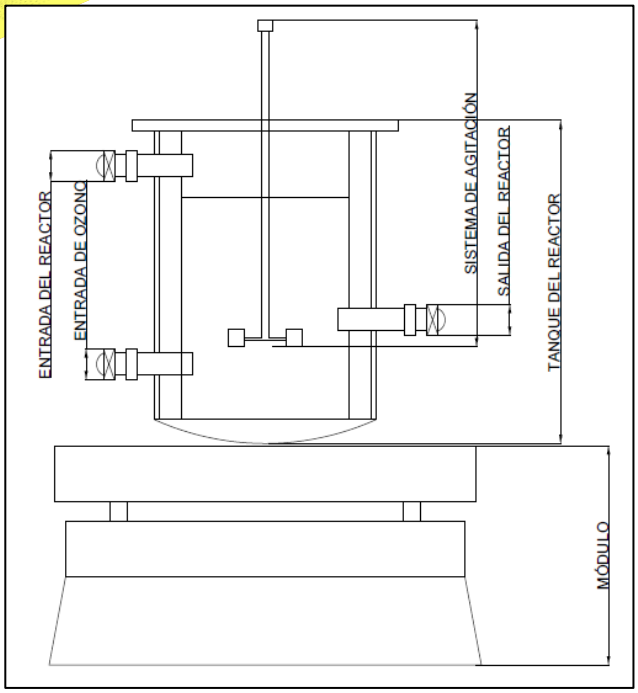


Figura 1: Esquema del reactor continuo de tanque agitado, vista de base.

2.2 Simulación del reactor

La simulación preliminar del reactor se lleva a cabo con el sistema de conversión del acetato de etilo, ya que es la reacción más comúnmente utilizada; para ello se utiliza COCO Simulator el cual es un software que se usa para la simulación de procesos. Las condiciones iniciales de operación utilizadas son las siguientes: T = 298° K, P = 1 atm, Etanol = 2 mol/L (reactivo limitante) y Ácido acético = 3 mol/L (reactivo en exceso). Al momento de ejecutar el programa, se obtienen los datos que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Componentes del flujo de entrada y salida.

Parámetros	Valor	Unidad
Temperatura	298	K
Caída de presión	0	Atm
Volumen del reactor	0.001	m^3
Conversión de etanol	0.778	
Carga térmica	-0.051516	MJ/h

2.3 Pruebas experimentales

Las pruebas experimentales permiten establecer las condiciones óptimas para el tratamiento de la solución acuosa evaluando el efecto de concentración de los reactivos, es por ello por lo que al finalizar el tratamiento de la solución acuosa con el tratamiento de peróxido de hidrógeno y ozono se puede observar que la degradación del colorante IC y la inactivación de la bacteria *E. coli* incrementan conforme aumenta la concentración de los reactivos. Esta acción se debe a que la combinación de los compuestos permite una oxidación directa y selectiva, por lo que el ozono al ser altamente reactivo produce la formulación y acción de los radicales hidroxilo (OH·) por lo que transforma a los contaminantes en compuestos más simples y el peróxido de oxígeno al transformarse a una alta velocidad genera una aceleración en la producción de los radicales OH·y por lo tanto una acción poco selectiva para que el proceso ataque a los compuestos orgánicos, con el fin de obtener el electrón que les falta y así incrementar la eficiencia del proceso y la trasferencia de masa en el tratamiento de la solución acuosa (Castro, 2018).

Por lo que se determina que las condiciones de operación más eficaces para un adecuado tratamiento de los contaminantes son los siguientes: 290 mg/L de peróxido de hidrógeno y un tiempo de exposición al ozono de 18

min. Los resultados de las pruebas de degradación e inactivación de los contaminantes se visualizan en las figuras 2 y 3, respectivamente:

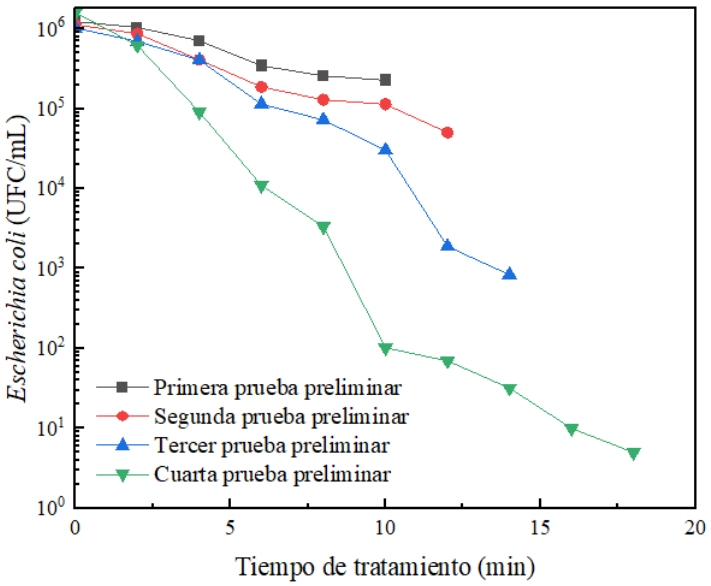


Figura 2: Resultados de las pruebas preliminares de la inactivación de *E. coli* con el tratamiento O_3/H_2O_2.

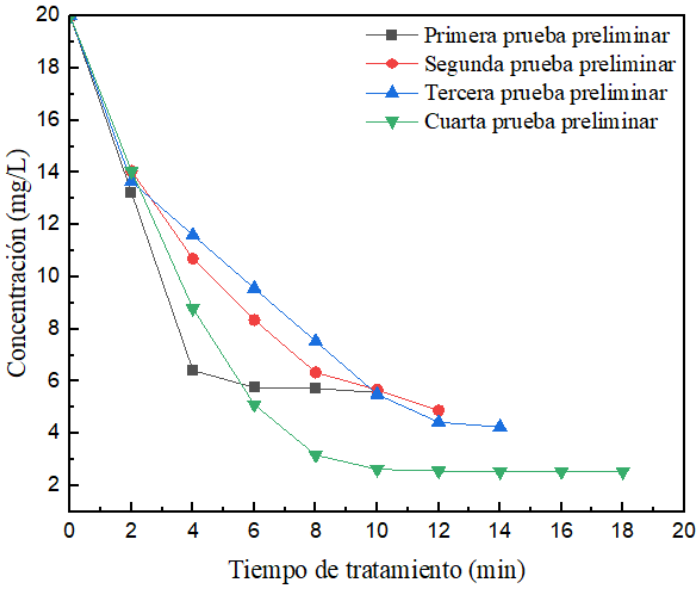


Figura 3: Resultados de las pruebas preliminares de la degradación del IC con el tratamiento O_3/H_2O_2.

Para determinar los resultados de la degradación del índigo carmín (IC) se determina la absorbancia usando el espectrofotómetro UV/Vis a una longitud de onda de 287 nm, con el fin de identificar la concentración del colorante IC en cada alícuota tomada utilizando la ecuación 1. En donde la x representa la concentración del colorante índigo carmín y la y la absorbancia del colorante índigo carmín.

$$x = \frac{y + 0.0607}{0.0649} \qquad (Ec.1)$$

A su vez para hallar los porcentajes de degradación se recurrió a la ecuación 2 en donde se relaciona la concentración inicial Ci de los contaminantes con la concentración final Cf al término del tratamiento de la solución acuosa.

$$\% \, del \, contaminante = \frac{100(Cf)}{Ci} \qquad (Ec. 2)$$

Estas acciones se realizan al finalizar cada una de las pruebas y así determinar los resultados de eficiencia del tratamiento con el tratamiento de ozono y peróxido de hidrógeno para el colorante IC, como se observa en la Tabla 2:

Tabla 2: Resultados porcentuales del colorante de las pruebas experimentales del tratamiento O_3/H_2O_2.

Pruebas experimentales	Concentración (mg/L)	Degradación (%)
1	5.57	72
2	4.48	76
3	4.25	79
4	3.25	84

Para llevar a cabo la inactivación de la bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*) se realiza un recuento de las colonias presentes en cada una de las alícuotas tomadas y sembradas en los medios de cultivo con una concentración de 10^6 bacterias/mL y otras con una concentración de 10^3 bacterias/mL. Cada muestra se realiza por triplicado con la finalidad de obtener un reconteo preciso de las colonias de *E. coli*. Al igual que los resultados del colorante, al finalizar la serie experimental de cada tratamiento de la solución acuosa, se realiza la suma y cálculo del valor promedio para obtener los datos de las Unidades Formadoras de Colonia (UFC) en las alícuotas tomadas cada dos minutos (Tabla 3).

Tabla 3: Resultados porcentuales de la *E. coli* de las pruebas experimentales del tratamiento O_3/H_2O_2.

Pruebas experimentales	UFC/mL	Inactivación (%)
1	227000	81.54
2	50400	95.54
3	836	99.92
4	80	99.996

CONCLUSIONES

En la simulación del reactor CSTR se obtiene una conversión de etanol del 77.8% y una concentración final de 0.444027 mol/h. Además, se comprueba que la reacción entre el etanol y ácido acético es una reacción exotérmica porque el valor de calor de la reacción es de -51516 J/mol. De igual manera, por medio de la simulación se valida que la selección del reactor y las dimensiones seleccionadas en el diseño son adecuadas para que se adapten al proceso de tratamiento de los contaminantes y así mismo que el reactor CSTR cumple con las expectativas idealizadas en un inicio al obtener datos exactos y precisos de acuerdo con la consulta bibliográfica realizada, por lo que su construcción es viable.

Por otro lado, se determina que la concentración de 290 mg/L y un tiempo de exposición al ozono de 18 minutos son las condiciones más eficientes para tratar los contaminantes en la solución acuosa obteniendo resultados de 84% de degradación, en donde se considera una concentración inicial (Ci) de 20 mg/L y una absorbancia de 1.235 u.a y se logra una concentración final (Cf) de 3.25 mg/L y una absorbancia de 0.150 u.a. La inactivación de la bacteria *E. coli* obtenida presenta un 99.996% de eficiencia, donde se utiliza una concentración inicial de 1994000 UFC/mL, y se obtiene una concentración final de 80 UFC/mL.

BIBLIOGRAFÍA

Castro, S. (2018). Diseño de una planta industrial para el tratamiento de efluentes cianurados mediante la combinación de ozono con peróxido de hidrógeno. Tesis de licenciatura. Ecuador, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional.

Chávez, I., López, J., Zapata, J., Robayo, A. y Niño, G. (2016). Chemical Reactors. En: Process, Analysis and Simulation in Chemical Engineering. Springer International, Switzerland, pp. 195-240.

Chumbes, M. y Ari, J. (2019). Degradación fotocatalítica de cianuro en efluentes de empresas mineras auríferas y argentíferas. Tesis de licenciatura. Arequipa, Facultad De Ingeniería de Procesos, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Sinha, A. & Mishra, R. K. (2018). Control of a nonlinear continuous stirred tank reactor via event triggered sliding modes. Chemical Engineering Science, 187, pp. 52-59.

Columnas de lecho fijo con cáscara del fruto de encino (*Quercus rubra*) en la adsorción de azul de metileno

Erika, García Domínguez[1], Judith, López Villanueva[1]

[1]*División de Ingeniería Química, Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso – Tecnológico Nacional de México, Avenida Instituto Tecnológico s/n Ejido de San Felipe, San Felipe del Progreso, Estado de México, C.P. 50640 e-email: erikagarcia.tessfp@gmail.com*

Línea de investigación: Ambiente

Resumen

En la presente investigación se evaluó la eficacia de remoción de azul de metileno utilizando la cáscara del fruto del encino como material biosorbente en columnas empacadas. Se establecieron los parámetros de operación de las columnas, se emplearon dos tamaños de partícula de 30 (420 micrones) y 40. Se utilizó una concentración inicial de la disolución de azul de metileno de 100mg/L. Posteriormente después del tiempo de contacto entre la biomasa y el efluente dentro de las columnas, se dio lectura al filtrado en un espectrofotómetro UVis a 664 nm y con las lecturas se realizaron los cálculos para las curvas de ruptura y los modelos matemáticos de Thomas y Yoon-Nelson. Los resultados de adsorción en las columnas demostraron que el modelo de Thomas se ajusto mejor con la malla 30 para la curva de ruptura con un coeficiente de correlación del R^2=0.98 y un 98% de la adsorción de azul de metileno. La biomasa de cáscara del fruto del encino ha demostrado una alta capacidad de adsorción del colorante azul de metileno, así como la alta eficiencia de operación en columna de lecho fijo.

Palabras clave: *Azul de metileno, Cáscara de fruto de encino, Columna-*

Abstract

In the present investigation, the efficiency of methylene blue removal was evaluated using the peel of the oak fruit as a biosorbent material in packed columns. The operating parameters of the columns were established, two particle sizes of 30 (420 microns) and 40 were used. An initial concentration of the methylene blue solution of 100mg / L was used. Subsequently, after the contact time between the biomass and the effluent inside the columns, the filtrate was read in a UVis spectrophotometer at 664 nm and with the readings the calculations for the breakdown curves and the mathematical models of Thomas and Yoon were performed. -Nelson. The adsorption results on the columns showed that the Thomas model was a better fit with the 30 mesh for the breakdown curve with a correlation coefficient of R2 = 0.98 and 98% of the adsorption of methylene blue. The shell biomass of the oak fruit has shown a high adsorption capacity of the methylene blue dye, as well as the high efficiency of operation in a fixed-bed column.

Keywords: Column, Fruit peel encino, methylene blue.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las normas y leyes ambientales, relacionadas a proteger, conservar y mejorar la calidad de aguas residuales sobre las descargas de actividades industriales y urbanas, es así, como se han realizado investigaciones en busca de alternativas viables para la depuración de elementos tóxicos presentes en el medio acuoso y al mismo tiempo reducir el impacto ambiental (Reichwaldt, E. S., Ho, W. Y., Zhou, W., & Ghadouani, A., 2017, pp.108, 401-411).

Se han implementado métodos convencionales para remover metales pesados de las aguas industriales, algunos son: precipitación, tratamiento electroquímico, separación por membrana, evaporación y coagulación, entre otros. Sin embargo, al poseer altos costos, alta producción de lodos y remoción incompleta resultan inefectivos y desfavorables. Por tal razón, se han experimentado nuevas tecnologías sostenibles para la remoción de metales, de manera que reemplacen los métodos convencionales de tratamiento de efluentes industriales por medio del uso de residuos agrícolas como bioadsorbentes de bajo costo, eficientes y reutilizables (Verma, Y., 2008, pp. 1-7). Con el proposito de reducir los costos operativos y mejorar los tiempos de operación del proceso de tratamiento, muchos estudios se han llevado a cabo mediante el uso de residuos de origen natural (Ávila, J. P., Sansores, A. C., & Ceballos, R. P, 2000).

La bioadsorción es una técnica que involucra el uso de biomasa vivas o no vivas, algunos de éstos son residuo agrícola, microorganismos, caseína, entre otros, cuya capacidad depende en gran medida de la naturaleza de la biomasa utilizada. Esta técnica de separación ha sido estudiada en las últimas décadas como una alternativa promisoria para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, al lograr remover altos porcentajes de iones metálicos y poseer bajos costos (Babel, S., & Kurniawan, T.A, 2003, pp.219–243).

La contaminación por colorantes constituye un problema crítico y por ello es importante la búsqueda de alternativas para su solución. Debido a su compleja estructura química y origen sintético, los colorantes son resistentes a la decoración por exposición a la luz, al calor, al agua y a los detergentes. Hay varios métodos reportados para la eliminación de colorantes en aguas residuales y estas tecnologías se pueden dividir en tres importantes categorías: los métodos químicos, biológicos y físicos. Sin embargo, todos ellos tienen ventajas y desventajas, pero principalmente, por razones de costo y problemas de disposición que conducen a la generación de lodos o la formación de subproductos.

Actualmente una gran variedad de modelos matemáticos ha sido empleados para describir y predecir las curvas de ruptura de una columna de adsorción en sistemas de fase líquida, tal como el Modelo de Thomas (Th) fue desarrollado para describir el desempeño de una columna de intercambio catiónico para el caso en el que la velocidad de intercambio es determinada por una velocidad de segundo orden (Fu, Y., & Viraraghavan, T., 2003, pp. 465-472); y el Modelo de Yoon-Nelson que asume que la velocidad con la que disminuye la probabilidad de adsorción para cada molécula de adsorbato es proporcional a la probabilidad de adsorción del adsorbato y a la probabilidad de que no se adsorba sobre el adsorbente (Aksu, Z. & Gönen, F, 2004, pp 599-613).

En esta investigación se tiene como objetivo general determinarán los parámetros dinámicos en columnas empacadas con la cáscara del fruto del encino analizados mediante los modelos de Thomas y Yoon-Nelson para predecir el comportamiento de la biomasa como bioadsorbente del colorante azul de metileno en un sistema continuo. Así también se tienen los objetivos específicos: Obtener las curvas de ruptura de azul de metileno en columnas empacadas variando el flujo volumétrico y la altura del lecho empacado para sistemas individuales, Obtener el modelo de Thomas y de Nelson-Yoon para predecir el comportamiento dinámico en las columnas.

DESARROLLO

Esta investigación se realizo en el laboratorio de investigación de Ingeniería Química del Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso (TESSFP), Estado de México, A continuación se presentan los objetivos y metodología utilizada.

OBJETO DE ESTUDIO

Objetivo general:

Determinarán los parámetros dinámicos en columnas empacadas con la cáscara del fruto del encino analizados mediante los modelos de Thomas y Yoon-Nelson para predecir el comportamiento de la biomasa como bioadsorbente del colorante azul de metileno en un sistema continuo.

Objetivos específicos:

-Obtener las curvas de ruptura de azul de metileno en columnas empacadas variando el flujo volumétrico y la altura del lecho empacado para sistemas individuales,

-Obtener el modelo de Thomas y de Nelson-Yoon para predecir el comportamiento dinámico en las columnas.

METODOLOGÍA

Fase 1. Tratamiento obtención de la biomasa

1) Obtención de la biomasa
La biomasa se obtuvo de los frutos residuos que se cayeron del árbol del encino, que se encuentran en los lugares alrededores del municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México. Después se llevaron al laboratorio del TESSFP para su procesamiento.

2) Descascarado de la biomasa
En la figura 1, se muestra el fruto del encino y en la figura 2, se muestra ya el fruto sin cascara, la cual se le quito de forma manual.

Figura 1. Fruto de encino.

Figura 2. Fruto de encino sin cáscara.

3) Lavado y secado
La cáscara se lavó varias veces con agua de la llave y posteriormente con agua destilada con la finalidad de quitarle impurezas, así como el color que desprende como se muestra en la figura 3. Después se coloco en una charola para realizar el secado a temperatura ambiente 25 °C ± 2 °C como se muestra en la figura 4.

Figura 3. Cáscara del fruto de encino.

Figura 4. Cáscara seca del fruto de encino.

4) Molienda y tamizado:
La cáscara se molió como se muestra en la figura 5, posteriormente se tamizo utilizando las malla 30 y 40. Una vez molida la biomasa como se muestra en la figura 6, se almaceno en bolsas en un lugar fresco y sin humedad.

Figura 5. Molienda de la cáscara.

Figura 6. Almacenamiento de la cáscara.

Fase 2. Preparación de la curva estándar de azul de metileno

Se utilizó una solución estándar de azul de metileno a una concentración de 1000 mg/ L, para la preparación de la curva de calibración se realizó el siguiente procedimiento como se observa en la figura 7:

1. Se tomó una alícuota de 100 mL de la solución estándar de azul de metileno y se diluyo en agua destilada.
2. Esta nueva solución se encuentra a una concentración de 100 ppm, de esta se realizan disoluciones a 30, 60, y 100 ppm.
3. Se configura el equipo de Espectrofotometría UV-vis lambda 25 marca Perkin Elmer para la preparación de la curva de calibración.
4. Se realizan las mediciones a 664 nm y se analizan los datos obtenidos.

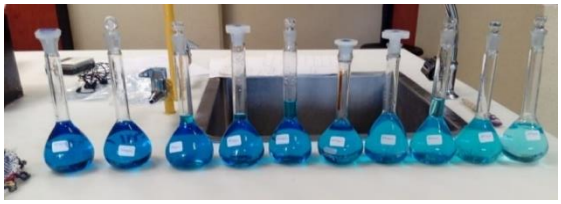


Figura 7. Soluciones de azul de metileno.

Fase 3. Experimento en las columnas empacadas

1) Para el diseño de las columnas de vidrio fueron de 2.5, 3 y 5 cm de diámetro interior respectivamente. Primero se colocó un cono de papel filtro internamente en la parte inferior para evitar la salida de la biomasa, se empacan las columnas con la biomasa previamente humedecida a diferentes alturas de 10, 15 y 20 cm respectivamente, utilizando las mallas de 30 y 40 de tamaño de partícula.

2) Se preparó la solución de azul de metileno a una concentración inicial de 100 ppm. Para la determinación del tratamiento en las columnas se utilizó un volumen 200 mL de la solución.

3) Se empleó un flujo volumétrico de 10 mL/min en cada columna a las diferentes alturas, como se muestra en la figura 8, cambiando las alturas de las columnas. Y al flujo de salida en las columnas se analizó en un Espectrofotómetro UV-vis a 664nm.

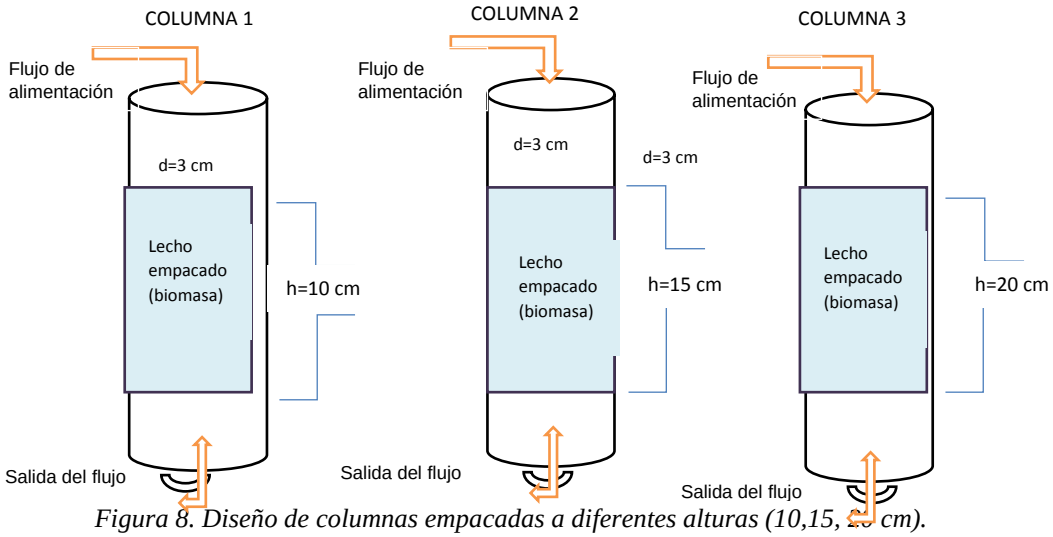


Figura 8. Diseño de columnas empacadas a diferentes alturas (10,15, 20 cm).

Fase 4. Determinación de la curva de ruptura y Modelos matemáticos

Capacidad de adsorción de cada columna

Se ocupa la ecuación (1), $q_b = \frac{mg\ colorante}{g\ biomasa}$ para conocer que tanto ha adsorbido la biomasa

$$q_b = \frac{Q_v t_{10\%} C_0}{1000m} \quad (1)$$

Donde

$t_{10\%}$= tiempo de servicio obtenido cuando la concentración del colorante a la salida de la columna es el 10% de la concentración inicial o de entrada (minutos)
C_0= Concentración inicial o de entrada a la columna (mg/dm^3)
Q_v= flujo volumétrico (cm^3/min)
m= masa del adsorbente
El valor de 1000 corresponde a un factor de conversión

Construcción de la curva de ruptura

Modelo de Thomas

Se utiliza la ecuación (2):

$$\frac{C}{C_i} = \frac{1}{1+e^{\left(\frac{K_{Th}}{Q}\left(q_0 * w - C_i * v_{ef}\right)\right)}} \quad (2)$$

Donde

K_{Th} = la constante cinética (mL/min*mg)
w = la masa de adsorbente en la columna (g)
C= la concentración inicial del efluente (mg/L)
C_i= la variación de la concentración del efluente en el tiempo (mg/L)
v_{ef}= es caudal de entrada (mL/g)
q_0 =cantidad absorbida por gramo de adsorbente (mg/g)

Modelo de Yoon- Nelson

Se utiliza la ecuación (3):

$$\frac{C_i}{C} = \frac{1}{1+e^{\left(K_{YN}*(\tau-t)\right)}} \quad (3)$$

Donde

K_{YN} es la constante de proporcionalidad de Yoon-Nelson (1/min)
τes el tiempo para retener el 50 % del adsorbato inicial (min)

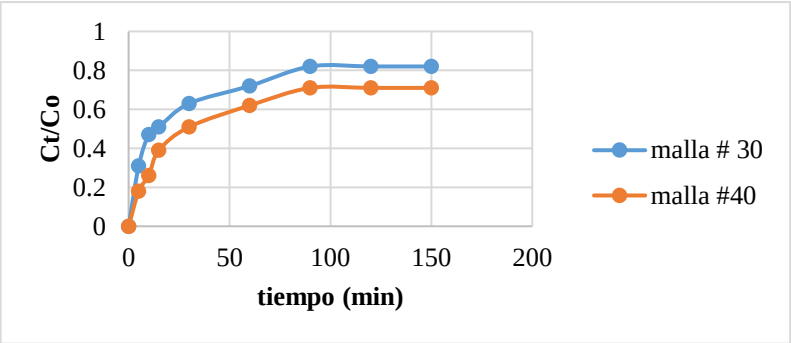
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia del tamaño de partícula en la curva de ruptura

En la gráfica 1, se muestra la relación de concentración inicial (100 mg/L)/concentración final de la solución de azul de metileno en función del tiempo y con los dos tamaños de partícula de la malla 30 y 40 micrones con la altura de 3 cm y un caudal de 10 mL/minuto. Se observa que ambos tamaños de partículas de la biomasa presentan el mismo comportamiento al aumentar el tiempo de contacto, sin embargo con la malla 30 se apreciar se tiene una mayor adsorción del colorante azul de metileno, lo que indica que el tamaño de partícula y el tiempo de contacto influyeron en la adsorción del azul de metileno, debido a que un tamaño de partícula menor tiene una mayor área superficial por su cantidad de poros y permite una mayor transferencia de masa entre el absorbente y adsorbato (C. Lavado Meza, M. del R., Sun Kou, & N. Recuay Arana, 2012, pp. 14-26).

Comparar el tiempo necesario para alcanzar la saturación de la columna se observa que con un menor tamaño de partícula se requiere de 90 minutos provocando la rápida saturación del lecho y la imposibilidad de remoción de

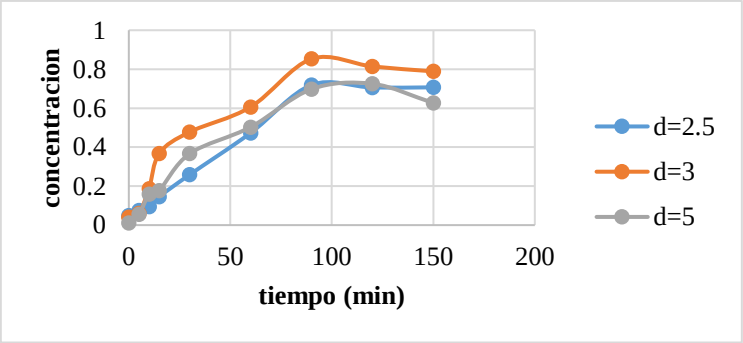
una mayor cantidad del colorante que finalmente conduce a una disminución en la eficiencia. Por tanto, un tamaño de partícula de 595 micrones (malla # 30) permite tratar un mayor volumen de solución del efluente contaminado.



Gráfica 1. Curva de ruptura. Análisis del tamaño de partícula en la adsorción de azul de metileno.

Efecto del diámetro de la columna

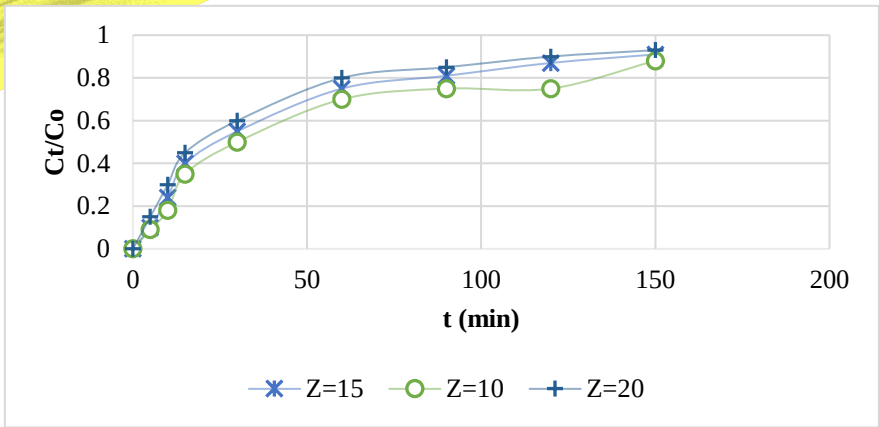
La influencia del diámetro de la columna sobre las curvas de ruptura se muestra en la gráfica 2, donde se puede observar que con los datos obtenidos con el diámetro de 3 cm se obtiene una mayor adsorción de la concentración del azul de metileno; con la columna de 2.5 de diámetro se observa que tarda más en llegar a la saturación y en la columna de 5 cm de diámetro se satura demasiado rápido lo cual indica que para un mayor control de la saturación se debe considerar el diámetro de la columna.



Gráfica 2. Curva de ruptura. Análisis de efecto del diámetro de la columna en la adsorción de azul de metileno.

Efecto de la altura de la columna

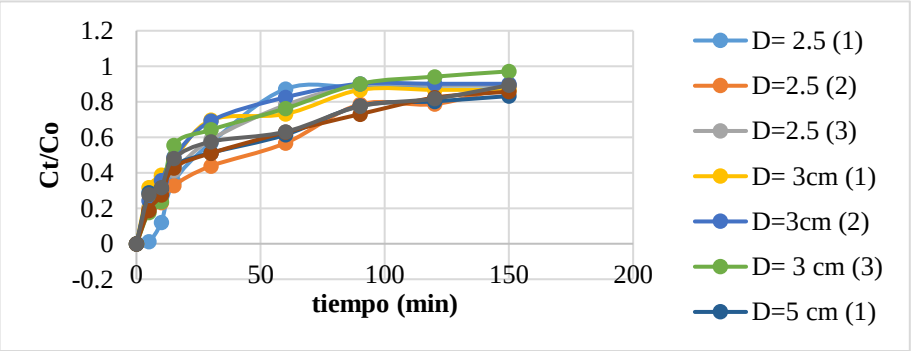
En la gráfica 3, se muestra el comportamiento de la variable altura (10, 15 y 20 cm) en función del tiempo de contacto entre la biomasa y el azul de metileno en la columna de 3 cm de diámetroso, donde se observa que las curvas de ruptura presentan comportamientos similares con respecto a la concentración inicial y tiempo, se observa una mayor adsorción de azul de metileno con la altura de 20 cm de empaque con la biomasa, lo que indica que la altura de empaque de las columnas conduce a un mayor tiempo de contacto entre la cáscara del fruto del encino y la solución de azul de metileno, de tal forma que una mayor altura permite un mejor aprovechamiento en la zona de transferencia de masa, retardando el tiempo de saturación de la columna y posibilitando el tratamiento de grandes volúmenes de efluentes contaminados.



Gráfica 3. Curva de ruptura. Análisis de efecto de la altura del empaque en la adsorción de azul de metileno.

Modelo de Thomas para la variable altura de lecho

En la gráfica 4, se muestra la curva de ruptura para el modelo de Thomas para determinar la constante de velocidad (K_{Th}) y la máxima capacidad de adsorción q_0 (mg/g), a partir de una regresión lineal. Como se observa en la tabla 1, a medida que aumenta la altura del lecho la constante de velocidad disminuye mientras que la capacidad de adsorción incrementa es decir se puede alcanzar una mayor remoción del colorante azul de metileno, debido a que la saturación de la columna requiere un periodo de tiempo mayor. Por lo que se tiene la mayor adsorción de azul de metileno en la columna de 3 cm de diámetro y a una altura de 20 cm con una coeficiente de correlación de 0.98 %.



Gráfica 4. Curva de ruptura. Modelo de Thomas aplicando el efecto altura y diámetro.

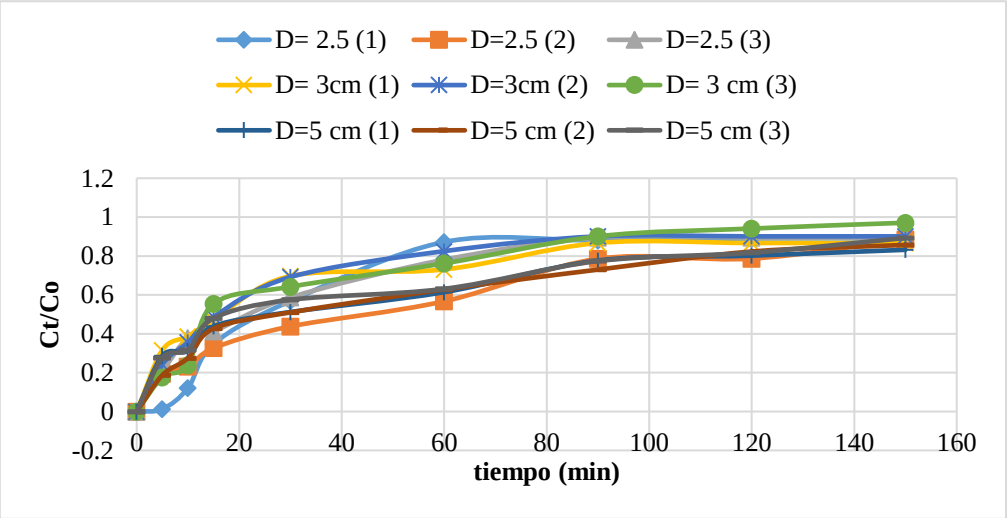
Tabla 1. Parámetros del modelo de Thomas a diferentes condiciones usando el análisis de regresión lineal.

Diámetro de la columna (cm)	Altura del empaque Z(cm)	Concentración inicial C_o (mg/L)	Caudal cm^3/min	Velocidad de entrada V(mL/min)	K_{Th} (mL/min mg)	q_0 (mg/g)	R^2
2.5	10	100	1.235	50	0.72	4.12	0.9356
2.5	15	100	1.350	50	0.22	4.21	0.9691
2.5	20	100	1.316	50	0.87	4.90	0.9469
3	10	100	2.125	50	0.34	5.12	0.9378

3	15	100	2.040	50	0.65	5.58	0.9412
3	**20**	**100**	**2.241**	**50**	**0.90**	**5.67**	**0.9843**
5	10	100	1.320	50	0.26	5.12	0.9578
5	15	100	1.421	50	0.76	5.09	0.9102
5	20	100	1.350	50	0.56	4.78	0.9321

Modelo de Yoon-Nelson para la variable altura del empaque

La constante de velocidad K_{YN} y el tiempo requerido para alcanzar el 50% de saturación de azul de metileno en la curva de ruptura se calculó con la ecuación 3 del modelo de Yoon-Nelson, y tales resultados se presentan en la tabla 2. En la gráfica 5 se puede apreciar que al aumentar la altura de la columna y con un diámetro de 3 cm, los valores de K_{YN} disminuyen. Este modelo no se puede considerar para el diseño de las columnas empacadas con esta biomasa, debido a que los tiempos difirieron con los establecidos, por lo no es apropiado para predecir el tiempo requerido para una saturación determinada.



Gráfica 5. Curva de ruptura. Modelo de Yoon-Nelson aplicando el efecto altura y diámetro.

Tabla 2. Parámetros del modelo de Yoon-Nelson a diferentes condiciones usando el análisis de regresión lineal.

Diámetro de la columna (cm)	Altura del empaque Z(cm)	Concentración inicial C_o (mg/L)	Velocidad de entrada V(mL/min)	K_{YN} (min)	*t* (min)	R^2	*te*(min)
2.5	10	100	50	0.15	21.65	0.94	15
2.5	15	100	50	0.07	27.64	0.92	35
2.5	20	100	50	0.03	36.86	0.97	50
3	10	100	50	0.16	28.12	0.93	45
3	15	100	50	0.08	34.76	0.94	60
3	**20**	**100**	**50**	**0.02**	**38.19**	**0.98**	**90**
5	10	100	50	0.11	23.51	0.96	35
5	15	100	50	0.09	25.76	0.91	60
5	20	100	50	0.02	29.65	0.90	70

En la tabla 3, se muestran los parámetros de cada modelo los cuales se obtuvieron a partir de los datos de cada columna empacada, por que el modelo de Thomas, representa la mejor opción para la adsorción de azul de metileno con la biomasa de la cáscara del fruto del encino.

Tabla 3. Parámetros para los modelos utilizados

Modelo	Parámetro	Biomasa cáscara del fruto del encino
THOMAS	K_{TH}	0.90
	q_0	5.67
	R^2	0.9843
YOON- NELSON	K_{YN}	0.02
	R^2	0.98

CONCLUSIONES

La cáscara del fruto del encino presento una buena capacidad de biosorcion de azul de metileno por lo que podría considerarse como un material biosorbente para los procesos de depuración de efluentes acuosos contaminados por colorantes sintéticos, como es el caso de azul de metileno. Las mejores condiciones para el proceso de adsorción se vio favorecido con los siguientes parámetros dinámicos: el tamaño de partícula de la malla 30 (595 microns) y una altura de 20 cm con un diámetro de cm, dado que con estas condiciones se obtuvo una mejor adsorción del colorante azul de metileno de un 98% retenido en la columna empacada. Los resultados del comportamiento del proceso mostraron que el modelo de Thomas presento un mejor ajuste para la descripción de las curvas de ruptura con una R^2=0.9843.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ávila, J. P., Sansores, A. C., & Ceballos, R. P. (2000). Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México: Red Ingeniería Revista Académica.
2. Aksu, Z. y Gönen, F. (2004). Biosorption of phenol by immobilized activated sludge in a continuous packed bed: prediction of breakthrough curves, Process Biochemistry. pp 599-613.
3. Babel, S., & Kurniawan, T.A., (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. J. Hazardous Mater. B97. pp.219–243.
4. C. Lavado Meza, M. del R., Sun Kou, & N. Recuay Arana. (2012). Remoción de cromo (VI) empleando carbones preparados por activación química a partir de las astillas de eucalipto. *Rev. la Soc. Química del Perú*, vol. 78, no. 1. pp. 14-26.
5. Fu, Y., & Viraraghavan, T. (2003). Column studies for biosorption of dyes from aqueous solutions on immobilised Aspergillus niger funga bioomass. Water SA, pp. 465-472.
6. Reichwaldt, E. S., Ho, W. Y., Zhou, W., & Ghadouani, A. (2017). Sterols indicate water quality and wastewater treatment efficiency. Water Research. pp.108, 401-411.
7. Verma, Y. (2008). Toxicity Evaluation of Effluents from Dye and Dye Intermediate Producing Industries Using Daphnia Bioassay. Journal of Toxicology. 4(8), pp. 1-7.

Análisis crítico sobre la actualización de la NOM 001-SEMARNAT-1996 en la PTAR Jocotitlán, Estado de México: el papel de las especies químicas

Fernando Hernandez Nicolas[1], Laura Garduño Pineda[1,3], José Juan García Sánchez[1], Verónica Martínez Miranda[2], Luis Antonio Castillo-Suárez[2,3],

[1]*Tecnologico de Estudios Superiores de Jocotitlan, fernoher8@gmail.com, laura.garduno@tesjo.edu.mx, jose.garcia@tesjo.edu.mx*

[2] *Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA), -Universidad Autónoma del Estado de México, e-mail: lacastillos_s@uamex.mx, mmirandav@uaemex.mx*

[3] *Cátedras COMECYT. Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología COMECYT; Paseo Colón núm.: 112-A, col. Ciprés, C.P. 50120, Toluca, Estado de México.*

Línea de investigación: Ambiente

Resumen

La reciente actualización de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que regula las características del agua residual que retorna al ambiente ha sido propuesta. El objetivo de esta investigación fue evaluar una serie de datos históricos (2018-2021) provenientes de una PTAR municipal ubicada al norte del estado de México en función de la reciente actualización de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y el papel de las especies químicas en el impacto ambiental, así como realizar un análisis elemental de los lodos del canal por donde circula el agua residual tratada a su sitio de deposición final. Los parámetros determinados fueron en base a lo establecido en la normativa vigente durante el periodo monitoreo. La especiación química fue realizada con el software MEDUSA y el análisis fundamental de los lodos fue determinado por EDS. Los resultados indican que los parámetros solidos suspendidos totales, fosforo total y plomo total son un reto a corto plazo a resolver en la PTAR, debido al ajuste de los límites máximos. Se encontró que la reciente actualización aun presenta valores máximos en nitrógeno total y fosforo total superiores a regulaciones internacionales. Es detectada la presencia de Al en los canales que salen de la PTAR, por lo tanto, son requeridos mayores estudios para determinar la concentración de los elementos en los canales, además de un monitoreo continuo del pH en toda la ruta, para prevenir que los metales ya presentes no sean liberados al ambiente, así como determinar si el origen corresponde al agua de la PTAR o si es de origen geológico.

Palabras clave: Aguas residuales, Especiación química, Normatividad, Sistemas de tratamiento.

Abstract

The recent update of NOM-001-SEMARNAT-1996 that regulates the characteristics of wastewater that returns to the environment has been proposed. The objective of this research was to evaluate a series of historical data (2018-2021) from a municipal WWTP located in the north of Mexico state based on the recent update of NOM-001-SEMARNAT-1996 and the role of chemical species in environmental impact, as well as conducting an elemental analysis of the channel sludge through the treated wastewater circulates to its final deposition site. The parameters determined were based on the provisions of the regulations in force during the monitoring period. Chemical speciation was performed with the MEDUSA software and the fundamental analysis of the sludge was determined by EDS. The results indicate that the total suspended solid parameters, total phosphorus and total lead are a short-term challenge to be solved in the WWTP, due to the adjustment of the maximum limits. It was found that the recent update still presents maximum values in total nitrogen and total phosphorus higher than international regulations. The presence of Al is detected in the channels leaving the WWTP, therefore, further studies are required to determine the concentration of the elements in channels, in addition to continuous monitoring of the pH throughout the route, to prevent the metals already present are not released into the environment, as well as determining if the origin corresponds to the water from the WWTP or if it is geological origin.

Keywords: Chemical speciation, Regulations, Treatment systems, Wastewater.

INTRODUCCIÓN

Las principales fuentes de contaminación del agua son los efluentes generados por las actividades industriales y domésticas. Las aguas residuales se refieren a cualquier agua cuya calidad se haya visto comprometida por las actividades humanas (Carraro, Bonetta, & Bonetta, 2018). En muchos países en desarrollo, el uso de aguas residuales municipales e industriales se destina para la agricultura. El uso de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento deteriora la calidad de las aguas subterráneas y afecta a la salud humana (Ilyas et al., 2019). La correcta ejecución de la legislación de aguas residuales mitiga el impacto ambiental en las zonas de descarga y contribuye a mejorar el desarrollo económico al incrementar la salud de los habitantes (Edokpayi et al., 2020).

La gestión de las aguas residuales es uno de los factores más olvidados en la política ambiental. Esta negligencia ha provocado un aumento de la pobreza y se ha convertido en un impedimento para el desarrollo económico. En México únicamente, el 58.3% de las aguas residuales recogidas (domésticas e industriales) por los sistemas de alcantarillado son tratadas (Valdivia Alvarado, Gámez, Beltrán Morales, & Ortega-Rubio, 2021). Y actualmente se estima que un 70% de las aguas superficiales en el país están contaminadas o fuertemente contaminadas (SEMARNAT, 2021a).

Un compromiso importante adquirido por México en la agenda 2030 y su objetivo de desarrollo sostenible (ODS) en materia de recursos, fue mejorar la calidad del agua eliminando los vertidos y reduciendo al mínimo la liberación de productos químicos y materiales peligrosos, así como disminuir a la mitad la proporción de aguas residuales no tratadas con un aumento sustancial del reciclaje (Valdivia Alvarado et al., 2021).

En México los municipios están obligados a disponer de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) deben ser monitoreadas y supervisadas para poder determinar en qué condiciones retorna el agua al medio ambiente de acuerdo con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Con 22 años de operación la PTAR de Jocotitlán, Estado de México trata aguas municipales, con las nuevas actividades económicas generadas en el municipio y junto con un incremento de población, se generan nuevos retos para el tratamiento del agua residual.

La NOM-001-SEMARNAT-2021 de reciente actualización, surge con la necesidad de renovar la legislación aplicable a medida que la población mexicana aumenta y las nuevas actividades industriales son incorporadas.

En la Tabla 1 se muestra la comparación de los límites máximos permisibles para descargas de aguas residuales tratadas a embalses de formación natural y artificial propiedad de la nación. La selección del cuerpo receptor describe al embalse de formación natural donde las aguas residuales tratadas de la PTAR de Jocotitlán son descargadas, identificado como la presa del Toril.

Los aspectos destacables de la actualización empiezan con la regulación de las descargas en ambientes kársticos y una disminución de los valores máximos en los contaminantes básicos, metales y cianuros de hasta un 80% (Tabla 1). Nuevos parámetros han sido introducidos, como Toxicidad Aguda (UT) y color verdadero. La contaminación básica del agua, cuantificada en la NOM-001-SEMARNAT-1996 por la Demanda Bioquímica de Oxigeno de 5 días (DBO_5) ha sido sustituida por la Demanda Química de Oxigeno (DQO) y el Carbono Orgánico Total (SEMARNAT, 2021b). La medición de la contaminación por patógenos ha cambiado de coliformes fecales en la NOM-001-SEMARNAT-1996 a *Escherichia coli* y enterococos fecales en NOM-001-SEMARNAT-2021.

La especiación de los metales pesados y otros contaminantes sigue siendo un reto analítico, los procesos o factores que controlan la especiación siguen siendo poco estudiados, estos pueden ser evaluados mediante una modelación y posterior determinación (Huang, 2021), por lo que sus efectos en el ambiente deben ser claramente demostrados y las legislaciones deberían en un futuro considerar el papel que las especies químicas en el control de la contaminación, para impulsar estrategias de mitigación o contención.

La legislación mexicana en temas de aguas residuales atraviesa un proceso de renovación, esto significa nuevos retos e incertidumbres acerca de la factibilidad para dar cumplimiento a los requerimientos y un reto para los estándares que no consideran el efecto de las especies químicas.

Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo realizar un análisis sobre la actualización de la NOM 001-SEMARNAT-1996 en el contexto de la PTAR Jocotitlán, Estado de México, evaluando el papel de las especies químicas a través de una simulación y determinación por análisis EDS.

METODOLOGÍA

Sitio de muestreo y evaluación de contaminantes

El objeto de estudios fue la PTAR de Jocotitlán Estado de México, la cual es monitoreada trimestralmente por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); Con apoyo del Organismo público descentralizado para la prestación de los servicios de agua potable, drenaje y tratamiento de aguas residuales del municipio de Jocotitlán (OPDAP).

Se evaluaron 12 periodos de muestreo entre los años 2018-2021, determinando los contaminantes en la entrada y salida de la PTAR de acuerdo a los métodos y especificaciones técnicas indicadas en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y con base en los métodos NMX oficiales.

La PTAR está localizada en las coordenadas 19º 41’ 57.9999’’ de latitud norte y 99º 47’ 34.9999’’ de longitud oeste, fue inaugurada en 1999 con una capacidad de diseño de 30 L/s y remodelada en 2016. La PTAR recibe actualmente el agua residual que generan los 7965 habitantes de la cabecera municipal de Jocotitlán (INEGI, 2020) y opera a través de un tratamiento biológico primario con lodos activados y sedimentación primaria/secundaria para tratar en promedio 26.46 L/s.

Tabla 1 Comparación entre los límites máximos permisibles entre la NOM-001- SEMARNAT-1996 y su actualización a NOM-001- SEMARNAT-2021.

Parámetros	Límite máximo permisible			
	NOM-001-SEMARNAT-1996	NOM-001-SEMARNAT-2021	Variación puntual	Variación porcentual
Temperatura (°C)	40	35	-5	-12.5%
Grasas y aceites (mg/L)	25	18	-7	-28.0%
Materia flotante	Ausente	N/A	-	-
Solidos Sedimentables (ml/L)	2	N/A	-	-
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	125	24	-101	-80.8%
DBO_5 (mg/L)	150	N/A	-	-
DQO (mg/L)	N/A	120	-	-
Carbono Orgánico Total (mg/L)	N/A	30	-	-
Nitrógeno Total (mg/L)	60	25	-35	-58.3%
Fosforo Total (mg/L)	30	10	-20	-66.7%
Huevos de Helmintos (Huevos/litro)	1	N/A	-	-
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	1000	N/A	-	-
***Escherichia coli* (NMP/100 mL)**	N/A	500	-	-
Enterococos fecales (NMP/100 mL)	N/A	400	-	-
pH (UpH)	5 a 10	6 a 9	-	-
Toxicidad aguda (UT)	N/A	2 a 15 min exposición	-	-
Arsénico (mg/L)	0.4	0.15	-0.25	-62.5%
Cadmio (mg/L)	0.4	0.15	-0.25	-62.5%
Cianuro (mg/L)	3	1.5	-1.5	-50.0%
Cobre (mg/L)	6	5	-1	-16.7%
Cromo (mg/L)	1.5	0.75	-0.75	-50.0%
Mercurio (mg/L)	0.02	0.008	-0.012	-60.0%
Níquel (mg/L)	4	3	-1	-25.0%
Plomo (mg/L)	1	0.3	-0.7	-70.0%
Zinc (mg/L)	20	15	-5	-25.0%
Color verdadero	Determinación en base a NMX-AA-017-1980		-	-
	Longitud de onda	Coeficiente de absorción espectral máximo	-	-
	436 nm	7.0 m-1	-	-
	525 nm	5.0 m-1	-	-
	620 nm	3.0 m-1	-	-

N/A: No aplica
NMP: Numero más probable
UpH: Unidades de pH
UT: Unidades de toxicidad

Determinación de las especies químicas

El Software MEDUSA fue empleado para realizar la modelación de la especiación química. Fueron seleccionadas las concentraciones totales de los metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) del primer trimestre de 2021 en la descarga de la PTAR, cuyos valores son mostrados en la Tabla 2. Los iones ingresados al Software MEDUSA:

AsO_4^{3-}, Cd^{2+}, Cu^{2+}, Hg^{2+}, Ni^{2+}, Pb^{2+}, Zn^{2+}, CrO_4^{2-} representan aquellos con mayor estabilidad en el ambiente y más probables en condiciones oxidantes (Dehdashti, Amin, & Chavoshani, 2020; Heena & Malik, 2020).

Tabla 2 Concentraciones molares y pH de la descarga de la PTAR, primer trimestre de 2021.

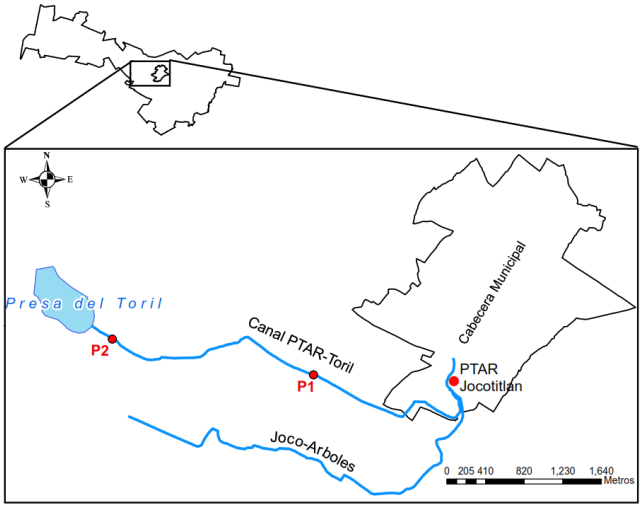
pH	[As]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Hg]	[Ni]	[Pb]	[Zn]
7.25	0.0142	0.0423	0.216	0.201	0.0023	0.2	0.2048	0.202

Análisis EDS

Se realizaron dos muestreos compuestos de cinco puntos superficiales en los sitios nombrados P1 y P2 de la (Figura 1) que corresponde al canal por donde las descargas de la PTAR son conducidas a la presa del Toril. La selección de los puntos P1y P2 corresponde a sitios donde el ultimo desazolve fue realizado hace 8 años.

Fueron evaluadas las características de los lodos por microscopia electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia de rayos X de energía dispersiva (EDS) empleando el microscopio electrónico de barrido (JSM-IT100LV). Con las siguientes condiciones: HV: 20 KV, WD: 10 mm, P.C.: 50, el análisis elemental se realizó por triplicado con un promedio de 1200 cps para cada análisis.

Figura 1 Ubicación espacial de los sitios de muestreo y zona de estudio.

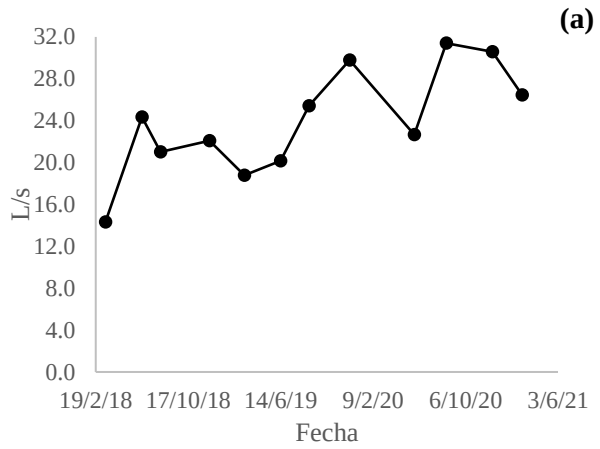


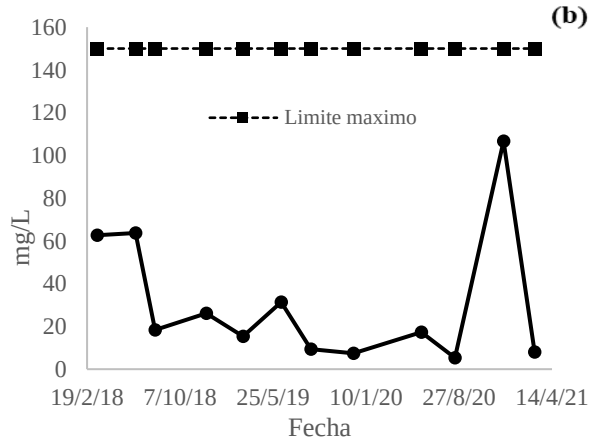
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento del caudal

El aumento de la población en el municipio de Jocotitlán Estado de México ha sido progresivo (INEGI, 2010, 2020) y se relaciona con el aumento del caudal descargado en la PTAR (Figura 2a), el cual ha incrementado de 14.3 a 21.6 L/s durante el periodo de estudio. Sin embargo, se observan oscilaciones significativas que corresponden a la temporada de lluvias de la región, que comúnmente inicia durante el segundo trimestre y se extiende hasta el tercer trimestre de manera anual. Durante los últimos meses del 2020 la capacidad de diseño de la PTAR (30 L/s) es ligeramente sobrepasada con un caudal de 31.8 L/s, si la tendencia se mantiene probablemente la planta deberá ser adaptada a nuevas condiciones de flujo

Figura 2 Variación histórica de los valores de descarga de la PTAR; (a) Caudal, (b) DBO_5





Evaluación de los parámetros

Los valores del pH de la descarga oscilan entre 6.62 y 7.85 entre el periodo analizado (2018-2021). Aun así, los valores se mantienen dentro de los límites, como puede observarse en la (Figura 3a). Valores atípicos ligeramente alcalinos medidos en el primer trimestre de 2019 con 7.85 y el segundo trimestre de 2020 con 7.83 coinciden con las temporadas de estiaje en la cabecera municipal. Con la modificación de los límites mínimos y máximos permisibles con respecto a la actualización de la NOM-001-SEMARNAT-2021 no se observa un incumplimiento a mediano plazo en la operación de la PTAR de Jocotitlán.

La DBO_5 en la descarga de la PTAR ha mostrado una disminución durante los tres años de estudio, en contraste con el dato atípico del último trimestre del 2020 (Figura 2b) donde alcanza un valor de 106.67 mg/L. Con la reciente derogación de la DBO_5 en la NOM-001-SEMARNAT-2021 como parámetro básico de la contaminación del agua, no es posible realizar la comparación con una nueva legislación. Sin embargo, se observa que las condiciones de operación de la PTAR mantenían el valor de la DBO_5, por lo cual el proceso tiene aún la capacidad de mantener las condiciones de descarga y cumplimiento con la normativa aún vigente.

Con una disminución del 80% (Tabla 1) en los valores máximos permisibles de solidos suspendidos totales (SST) en la NOM-001-SEMARNAT-2021 para embalses de formación natural o artificial, se encuentra un reto para la optimización de la PTAR de Jocotitlán en los actuales valores. Como se observa en la (Figura 3b), el margen entre los resultados actuales de los SST de la PTAR en comparación con los límites máximos de la NOM-001-SEMARNAT-2021 para embalses de formación natural o artificial es del 50%. La concentración de los SST en la PTAR de Jocotitlán frente a los límites máximos permisibles ha sido rebasada en dos ocasiones durante los 3 años de estudio. En consecuencia, las pequeñas variaciones futuras de este parámetro en la descarga propiciarían incumplimiento de la norma recién aprobada.

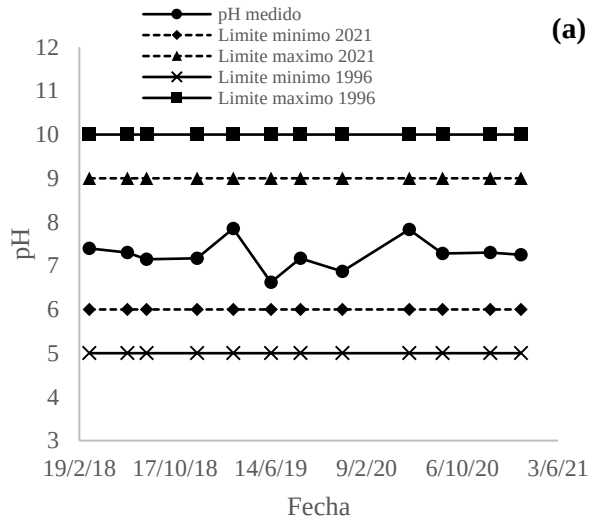
Los valores actuales de nitrógeno total de la PTAR no infieren algún inconveniente en el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Como se observa en la (Figura 3c), el nitrógeno total, con valores de entre 8 mg/L y 9 mg/L se encuentra por debajo del límite máximo de 24 mg/L.

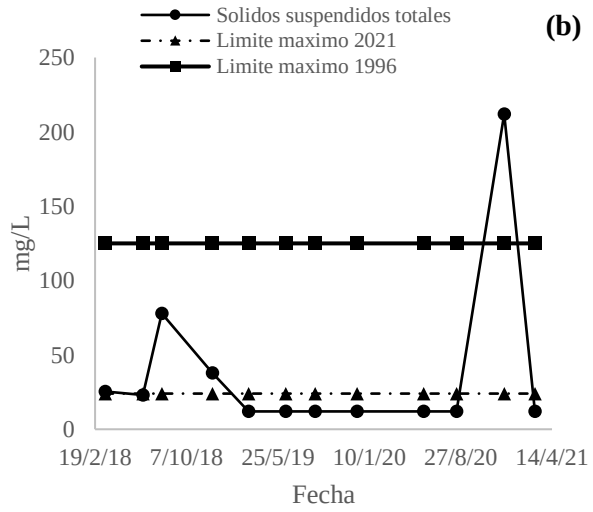
Al comparar las regulaciones nacionales de países como Dinamarca o instituciones como la comisión de Helsinski (HELCOM) en donde la cantidad de Nitrógeno Total descargada por las PTAR´s municipales al ambiente disminuye en función del equivalente de población (Preisner, Neverova-Dziopak, & Kowalewski, 2020), observamos una NOM-001-SEMARNAT-2021 en donde no se realiza la ponderación de los valores máximos permisibles en función del número de habitantes que generan la carga contaminante. El actual valor máximo de 24 mg/L de la NOM-001-SEMARNAT-2021 para descargas de aguas residuales tratadas en embalses no discrimina si la fuente generadora es municipal o industrial, así como la población que genera la carga contaminante.

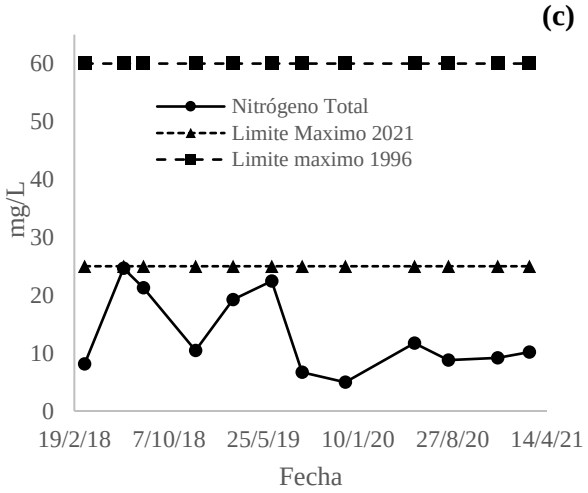
Los valores del fosforo total en la descarga de la PTAR de Jocotitlán (Figura 3d) siguen una tendencia al alza desde 2.89 mg/L en 2018 hasta 4.41 mg/L en 2021. Al comparar el contenido máximo de fosforo que puede ser descargado a los embalses naturales y artificiales de la nación, con las regulaciones internacionales, es de notar, que a pesar de que en la actualización del 2021 el límite máximo del fosforo para embalses es reducido en 66.7% en comparación con 1996 (Tabla 1). Esta concentración máxima de fosforo total en aguas residuales tratadas es de 5 a 10 veces mayor que en Estados Unidos con 1-2 mg/L de fosforo total y hasta veinte veces mayor que los parámetros admisibles de Suecia con 0.4 a 0.5 mg/L (Preisner et al., 2020). Los valores máximos adoptados por otras naciones se presentan para la protección de las aguas naturales frente a eutrofización, esto indica que aún con la actualización, la normativa nacional sigue presentando diferencias significativas con las normativas internacionales, lo que limita el alcance en los beneficios ambientales y de salud.

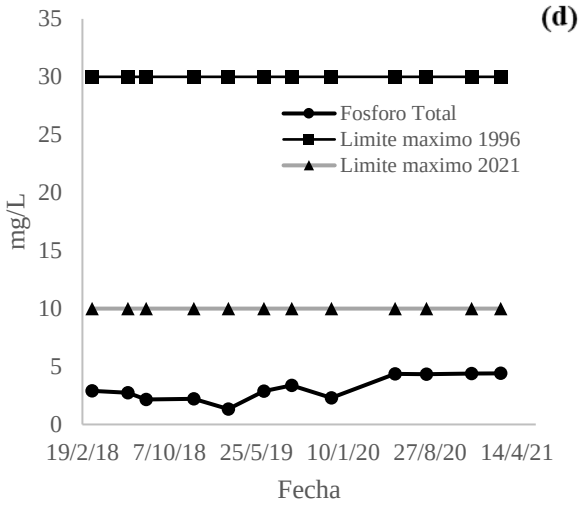
La tendencia al alza del fosforo total en conjunción con la reducción de los parámetros máximos en la NOM-001-SEMARNAT-2021, plantea un riesgo a mediano y largo plazo en no solo sobrepasar los límites máximos de Fosforo total en la descarga de la PTAR, sino también riesgo de eutrofización en los ríos, drenes y embalse en donde el agua residual tratada encuentra su destino final.

Figura 3 Gráficos de control de los límites mínimos y máximos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-001-SEMARNAT-2021 (a) pH, (b) Solidos suspendidos totales, (c) Nitrógeno Total, (d) Fosforo total.


(a)
pH medido
Limite minimo 2021
Limite maximo 2021
Limite minimo 1996
Limite maximo 1996
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
pH
19/2/18
17/10/18
14/6/19
9/2/20
6/10/20
3/6/21
Fecha


(b)
Solidos suspendidos totales
Limite maximo 2021
Limite maximo 1996
250
200
150
100
50
0
mg/L
19/2/18
7/10/18
25/5/19
10/1/20
27/8/20
14/4/21
Fecha





Metales, As y Cianuros

Al analizar los valores totales de los metales y cianuros se observa que salvo el Arsénico todas las concentraciones permanecen constantes a un valor mínimo a lo largo del tiempo, esto puede ser atribuido al límite de detección de la técnica propuesta para la cuantificación de metales pesados en la NOM-001-SEMARNAT-1996, que es la espectrometría de absorción atómica. Estudios recientes indican que el límite de detección y cuantificación de la técnica antes nombrada es limitado, para muestras no concentradas en metales pesados, como lo son las aguas residuales municipales (Gonçalves, Dressler, Assmann, Morsch, & Schetinger, 2021).

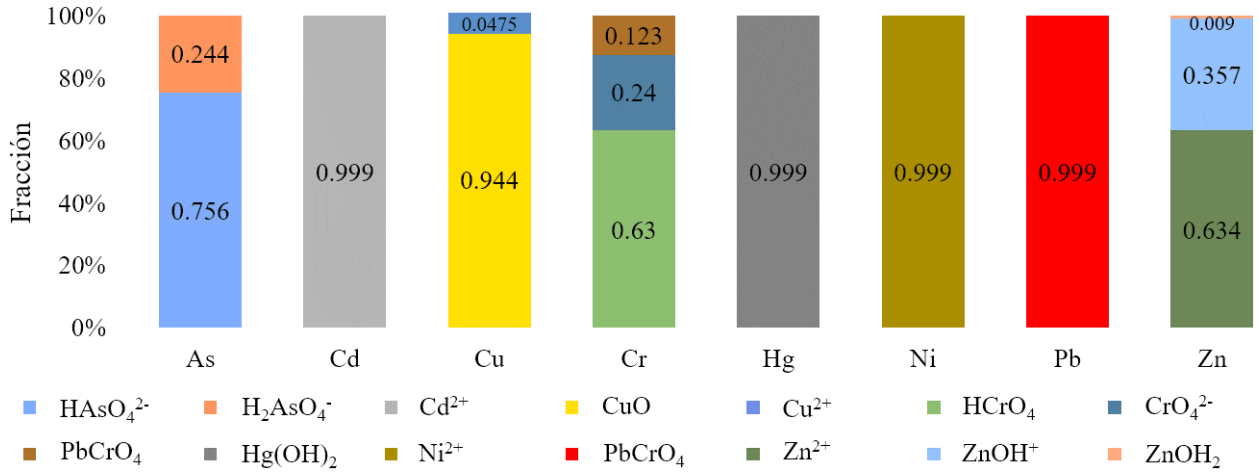
La reciente actualización de la NOM-001-SEMARNAT-1996 no representa inconvenientes para la operación de la PTAR de Jocotitlán en la mayoría de los parámetros de metales y cianuros. El plomo total que se encuentra muy cerca del límite máximo de la NOM-001-SEMARNAT-2021 con 0.1938 mg/L frente a los 0.3 mg/L que marca la norma vigente (Tabla 1).

Especies químicas de metales pesados presentes en el agua residual tratada

Los metales pesados como plomo, cadmio, cromo, zinc, mercurio entre otros, son liberados hacia los ecosistemas acuáticos, así como a los suelos, principalmente por actividades antropogénicas. Estos presentan una seria amenaza para las plantas, animales y seres humanos debido a su persistencia, bioacumulación, propiedad no biodegradable y toxicidad incluso a bajas concentraciones (Pabón, Benítez, Sarria, & Gallo, 2020), es por tales motivos que se evaluó la concentración de los metales presentes en el agua que descarga la PTAR de Jocotitlán, cuyo destino final es el embalse llamado El Toril, parte de esta agua residual tratada es empleada en la agricultura. Se realizó el

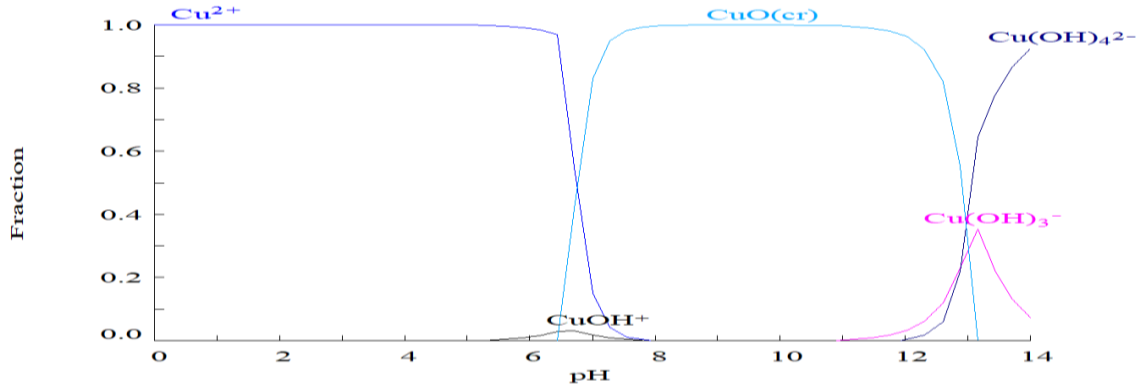
análisis de distribución de especies, el cual determina la forma del metal predominante según el pH del medio en el que se encuentra, esto permitió identificar a partir de qué pH el metal comienza a precipitar y además predecir en qué momento se inicia la formación de especies sólidas (s) o cristalinas (cr) (Figura 4).

Figura 4 Distribución de las especies de metales en fracciones.



Para el caso del metal Cu, se observa que a pH 7.25 se tiene el 94 % de formación de CuO (Figura 5), si se tiene presente que durante los años de análisis de la planta se ha obtenido pH de 6.62-7.85, por lo tanto, se predice la formación de CuO (cr) el cual probablemente se sedimenta, este al ser insoluble en agua (Richardson, 2012), presenta mayor posibilidad de deposición en los canales de la PTAR, generando efectos para la salud que van desde la irritación de ojos, piel y tracto digestivo hasta daño en hígado o riñones (ROTH, 2019), se ha determinado el límite de exposición de 0.2 mg/m^3.

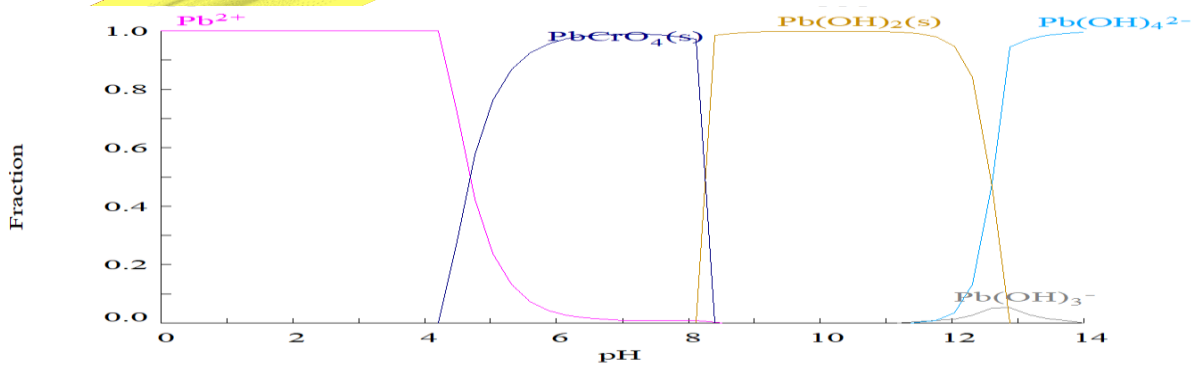
Figura 5 Variación de fracciones en función de pH para cobre.



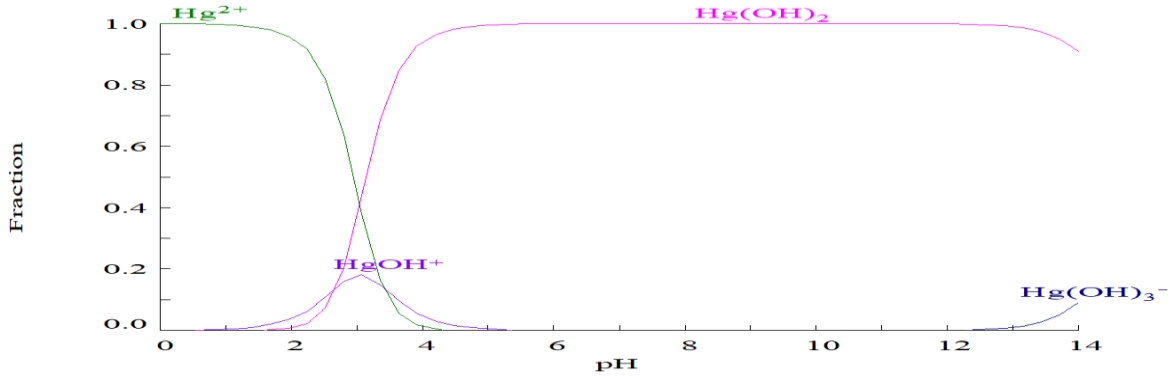
Para la especiación de los metales Pb y Hg (Figuras 6a y 6b respectivamente), se observa la formación de dos especies en estado sólido $PbCrO_4$ y $Hg(OH)_2$ la primera es considerada ser carcinogénica en seres humanos, según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por su siglas en inglés), teniendo presente el pH que ha mantenido la PTAR durante estos últimos años, por lo tanto, se predice la formación de estos dos compuestos, sin embargo, también es necesario modelar los diagramas de especiación cuando aumentan las concentraciones de otros metales pesados, con el objetivo de evaluar si hay formación de más subproductos tóxicos, considerando que los metales tienden a acumularse.

Figura 6 Variación de fracciones en función de pH, (a) Plomo, (b) Mercurio

(a)



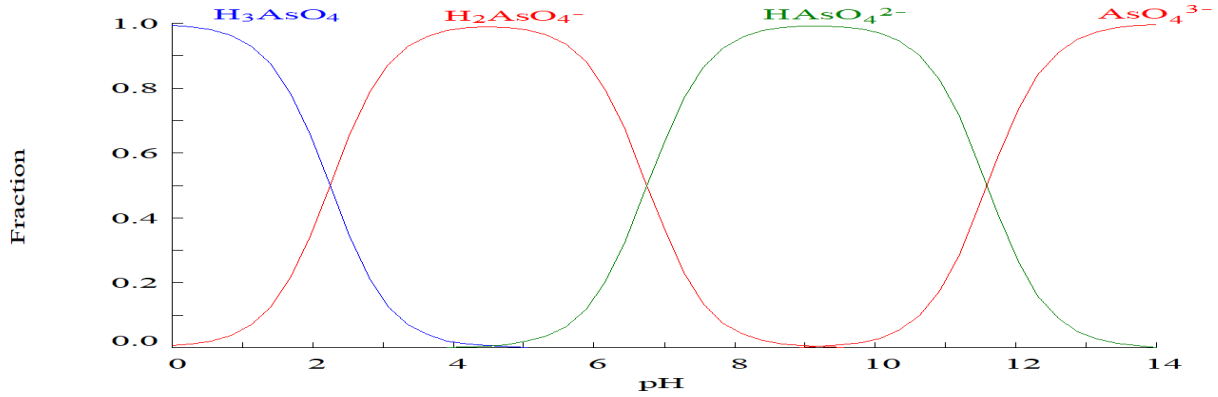
(b)



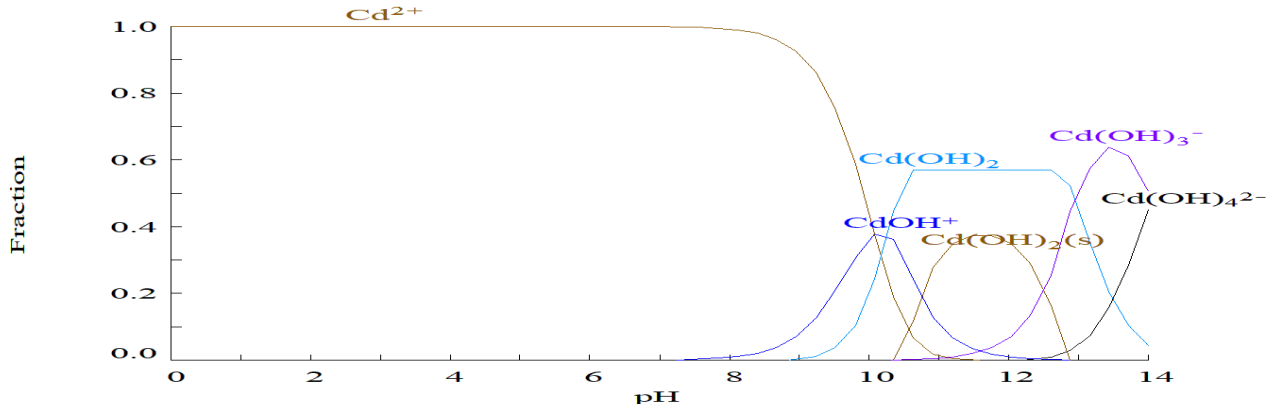
La relación de las fracciones del Arsénico a un pH cercano a 7 corresponde en un 75% de arsenato de hidrogeno ($HAsO_4^{2-}$) y 25% de arsenato de dihidrógeno ($H_2AsO_4^-$) (Figura 7a), en similitud a resultados reportados por Moreira, Lebron, Santos, Coutinho de Paula, & Amaral, (2021) para las aguas naturales y residuales. El arsenato es un compuesto toxico (LD_{50} 100 mg/kg en ratas) (Kurt, Graz, & Chemie, 1992) que se mantiene disuelto al pH al que opera la PTAR y por esta razón es probable que no se encuentre depositado en el suelo de la presa o en los lodos generados por la PTAR.

Figura 7 Variación de fracciones en función de pH (a) Arsénico, (b) Cadmio.

(a)



(b)



El Cd^{2+} se encuentra en una fracción del 99% (Figura 7b) en las aguas descargadas al ambiente. La similitud del Cadmio con el Zn^{2+} y Ca^{2+} ocasiona que haya competencia entre estos elementos en los tejidos de los seres vivos, de ahí su toxicidad (Gonçalves et al., 2021). En la naturaleza esta más relacionada a las raíces de las pantas en donde ya se ha reportado bioacumulación (Shanmugaraj, Malla, & Ramalingam, 2018). Se ha detectado que su configuración S2 de naturaleza débil, permite la unión del Cadmio al grupo tiol (-SH) característico de proteínas, de esta forma se disrumpe su función (Ghosh & Roy, 2019).

Análisis EDS

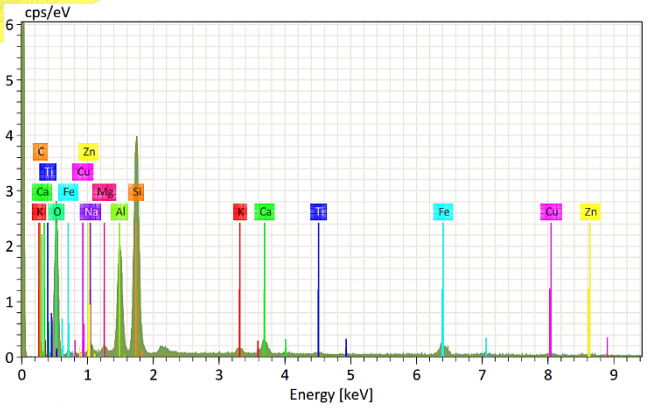
Los resultados del análisis EDS (Figura 8) se detecta la presencia de Aluminio en los lodos del canal que conducen a la Presa del Toril, también se detectan trazas menores de cobre, zinc, cromo y níquel. No se detecta la presencia de Arsénico, Cadmio, Plomo y Mercurio.

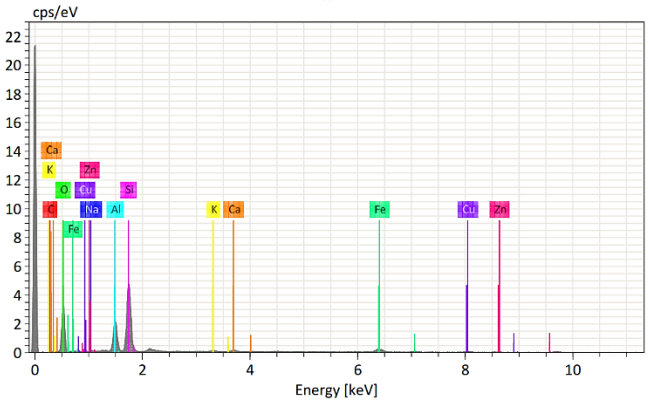
El riesgo del aluminio se relaciona con su solubilidad, la cual aumenta significativamente en condiciones ácidas pH < 6.0 y alcalinos pH > 8.0. A valores de pH por debajo de 4.5 la solubilidad del aluminio puede alcanzar hasta 5 mg/L, mientras que a pH neutro la solubilidad de aluminio suele ser inferior a 1.0 mg/L. En sedimentos el aluminio está asociado con compuestos orgánicos, fluoruro y sulfato, debido a que es fácilmente absorbido y puede activarse a medida que aumenta la acidez del agua. El aluminio se bioacumula en los tejidos duros de peses y moluscos, y entra al cuerpo humano a través de la cadena alimenticia, el aluminio en exceso se asocia a causar diferentes sindromas (Oberholster, Myburgh, Ashton, Coetzee, & Botha, 2012; Senze, Kowalska-Góralska, & Czyż, 2021). Por tanto, monitorear la variación del pH en los canales que conducen a la presa del Toril es imprescindible para que el aluminio ya presente no sea disuelto y genere daños a la salud de los habitantes cercanos al canal. La presa del Toril, sirvió hasta hace unos años como criadero de pescado, los niveles aun desconocidos de metales pesados en los lodos de la presa del Toril pudieron ya haber sido absorbidos por las especies acuáticas presentes, lo por cual estudios más detallados acerca de la concentración de estos metales deben ser realizados en un futuro, así como establecer estrategias de mitigación, ya sea para remover el metal o contenerlo en especies químicas menos nocivas.

Figura 8 Análisis EDS de los lodos de los sitios de muestreo, (a) Sitio P1, (b) Sitio P2

(a)

(b)





CONCLUSIÓN

La recién actualización de la NOM-001-SEMARNAT-2021 llega después de 25 años de inactividad en la regulación de las descargas de aguas residuales en México, con su actualización se han introducido y derogado parámetros para medir la calidad de agua devuelta al ambiente y los valores máximos permisibles se han reducido hasta un 80% según el cuerpo receptor. Sin embargo, se encuentra que incluso con las disminuciones de los parámetros máximos, estos aún se encuentran por encima de valores internacionales para la protección de los cuerpos de agua.

Los retos para el cumplimiento a mediano y largo plazo de la PTAR municipal frente a la nueva legislación se relacionan con los sólidos suspendidos totales, Plomo total y fosforo total, parámetros que con la actualización ya se encuentran cercanos a los valores máximos permisibles, por lo que a mediano plazo la planta enfrentará una actualización en los procesos que la integran. Además de la optimización del proceso de la PTAR se sugiere la implementación de un tratamiento terciario capaz de retener a los metales pesados que no sean mitigados por el tratamiento biológico.

En el análisis elemental realizado a los canales que conducen al punto de descarga de la PTAR de Jocotitlán se detecta la presencia de aluminio, con lo debería ser considerada la necesidad de regular a más elementos metálicos en la NOM-001-SEMARNAT-2021, actualmente solo 8 elementos metálicos están considerados para su control. Adicionalmente, mas estudios son necesarios para determinar el origen del Al en los lodos.

Un mayor control del pH o estrategias de mitigación deberán ser aplicadas en los cuerpos receptores de aguas residuales tratadas es requerido para garantizar que los elementos presentes en el canal que va desde la PTAR al Toril no se incorporen a la flora, fauna y seres humanos en contacto con las aguas residuales tratadas. Por tanto, nuevos estudios para determinar la concentración de estos metales, su origen y las medidas de mitigación son necesarios.

BIBLIOGRAFÍA

Carraro, E., Bonetta, S., & Bonetta, S. (2018). Hospital wastewater: Existing regulations and current trends in management. In *Handbook of Environmental Chemistry* (Vol. 60, pp. 1–16). https://doi.org/10.1007/698_2017_10

Dehdashti, B., Amin, M. M., & Chavoshani, A. (2020). Other trace elements (heavy metals) and chemicals in aquatic environments. In *Micropollutants and Challenges* (pp. 215–247). INC. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818612-1.00006-4

Edokpayi, J. N., Enitan-Folami, A. M., Adeeyo, A. O., Durowoju, O. S., Jegede, A. O., & Odiyo, J. O. (2020). Recent trends and national policies for water provision and wastewater treatment in South Africa. In *Water Conservation and Wastewater Treatment in BRICS Nations*. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818339-7.00009-6

Ghosh, R., & Roy, S. (2019). Cadmium toxicity in plants: Unveiling the physicochemical and molecular aspects. In *Cadmium Tolerance in Plants: Agronomic, Molecular, Signaling, and Omic Approaches* (pp. 223–246). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815794-7.00008-4

Gonçalves, J. F., Dressler, V. L., Assmann, C. E., Morsch, V. M. M., & Schetinger, M. R. C. (2021). *Cadmium neurotoxicity: From its analytical aspects to neuronal impairment*. https://doi.org/10.1016/bs.ant.2021.03.001

Heena, & Malik, A. K. (2020). Review on metal speciation and their applications since 2010. In *Chemical Analysis of Food* (Second Edi, pp. 813–868). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813266-1.00020-6

Huang, R. (2021). What controls the chemical speciation of abundant heavy metals during wastewater treatment: insights from combined spectroscopic and modeling analyses. *Environmental Science: Water Research & Technology*. https://doi.org/10.1039/D1EW00497B

Ilyas, M., Ahmad, W., Khan, H., Yousaf, S., Yasir, M., & Khan, A. (2019). Environmental and health impacts of industrial wastewater effluents in Pakistan: A review. *Reviews on Environmental Health*, Vol. 34, pp. 171–186. https://doi.org/10.1515/reveh-2018-0078

INEGI. (2010). Principales resultados por localidad (ITER) del censo de Poblacion y Vivienda 2010. Retrieved from Censo de Población y Vivienda 2010 website: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2010/microdatos/iter/15_mexico_2010_iter_xls.zip

INEGI. (2020). Principales resultados por localidad (ITER) del Censo de Población y Vivienda 2020. Retrieved from Censo de Poblacion Y Vivienda website: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/microdatos/iter/iter_15_2020_xlsx.zip

Kurt, J., Graz, K., & Chemie, A. (1992). Arsenic. In *Hazardous Metals in the Environment* (pp. 287–350). Elsevier Science Publishers B. V.

Moreira, V. R., Lebron, Y. A. R., Santos, L. V. S., Coutinho de Paula, E., & Amaral, M. C. S. (2021). Arsenic contamination, effects and remediation techniques: A special look onto membrane separation processes. *Process Safety and Environmental Protection*, *148*, 604–623. https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.11.033

Oberholster, P. J., Myburgh, J. G., Ashton, P. J., Coetzee, J. J., & Botha, A. M. (2012). Bioaccumulation of aluminium and iron in the food chain of Lake Loskop, South Africa. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *75*(1), 134–141. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.08.018

Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Entre Ciencia e Ingeniería*, *14*(27), 9–18. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Preisner, M., Neverova-Dziopak, E., & Kowalewski, Z. (2020). An Analytical Review of Different Approaches to Wastewater Discharge Standards with Particular Emphasis on Nutrients. *Environmental Management*, *66*(4), 694–708. https://doi.org/10.1007/s00267-020-01344-y

Richardson, H. W. (2012). Copper Compounds. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (pp. 273–301). https://doi.org/10.1002/14356007.a07

ROTH. (2019). Ficha de datos de seguridad Oxido de Cobre II. *Roth*, *2006*(1907), 1–18. Retrieved from https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/0/SDB_0183_ES_ES.pdf

SEMARNAT. (2021a). Semarnat actualiza NOM 001 sobre descargas de aguas residuales, tras 25 años de parálisis.

SEMARNAT, S. de M. A. y R. N. (2021b). NOM-001-SEMARNAT-2021 Límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos recptores propiedad de la nacion.

Senze, M., Kowalska-Góralska, M., & Czyż, K. (2021). Availability of aluminum in river water supplying dam reservoirs in Lower Silesia considering the hydrochemical conditions. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, *16*. https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100535

Shanmugaraj, B. M., Malla, A., & Ramalingam, S. (2018). Cadmium Stress and Toxicity in Plants: An Overview. In *Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants: From Physiology to Remediation*. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814864-8.00001-2

Valdivia Alvarado, A. T., Gámez, A. E., Beltrán Morales, L. F., & Ortega-Rubio, A. (2021). Mexico's Legal

Framework Regarding Wastewater Management: A Case Study of Baja California Sur. *Mexican Law Review*, *13*(2), 115. https://doi.org/10.22201/iij.24485306e.2021.2.15337

Gestión de los residuos y aguas residuales de rastros municipales y su potencial aprovechamiento

Laura, Garduño Pineda[1,2], José Juan, García Sánchez[1],Verónica, Martínez Miranda[3], Elía Alejandra, Teutli Sequiera[3,4], Ivonne, Linares Hernández[3]

[1]*Tecnologico de Estudios Superiores de Jocotitlan.* laura.garduno@tesjo.edu.mx, jose.garcia@tesjo.edu.mx

[2] *Cátedras COMECYT*

[3] *Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias Agua IITCA.* mmirandav@uaemex.mx, ilinaresh@uaemex.mc, aleteutlis@gmail.com

[4] *Cátedras CONACYT.*

Línea de investigación: Ingeniería ambiental, innovación y emprendimiento.

Resumen

La descarga indebida de agua residual y residuos provenientes de rastros municipales, han generado múltiples enfermedades y ha ocasionado graves daños al medio ambiente, sin embargo, la gestión correcta de estas aguas residuales y residuos brinda la posibilidad de sintetizar y producir nuevos productos a los cuales se les puede dar un valor agregado y con ello mejorar la calidad de vida de los seres humanos y reducir la contaminación ambiental, además de generar nuevas fuentes de empleo. La presente investigación da a conocer las múltiples enfermedades y problemáticas que ha ocasionado la descarga indebida de aguas y residuos provenientes de la industria cárnica, así como los principales tipos de tratamientos que han sido empleados en el tratamiento de estos residuos, y finalmente indica cuales son los productos posibles para sintetizar y obtener un valor agregado. En conclusión, es de gran importancia llevar a cabo la recolección y disposición adecuada de estos residuos con la finalidad de disminuir la contaminación ambiental, enfermedades y obtener un valor agregado de estos residuos, además de que evitará que las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se vean afectadas con la descarga de este tipo de aguas residuales.

Palabras clave: Aguas residuales, enfermedades, residuos, valor agregado.

Abstract

The improper discharge of wastewater and waste from municipal wastewater has generated multiple diseases and has caused serious damage to the environment, however, the correct management of these wastewater and waste offers the possibility of synthesizing and producing new products to which they can be given added value and thereby improve the quality of life of human beings and reduce environmental pollution, in addition to generating new sources of employment. This research reveals the multiple diseases and problems that have caused the improper discharge of water and waste from the meat industry, as well as the main types of treatments that have been used in the treatment of these waste, and finally indicates which are possible products to synthesize and obtain added value. In conclusion, it is of great importance to carry out the proper collection and disposal of these wastes in order to reduce environmental pollution, diseases and obtain added value from these wastes, in addition to preventing wastewater treatment plants (WWTP), are affected by the discharge of this type of wastewater.

Keywords: wastewater, diseases, waste, added value.

INTRODUCCIÓN

En México los rastros municipales están dedicados a la matanza de ganado bovino, porcino, caprino y ovino, los cuales son dirigidos por los gobierno de los estados en coordinación con los municipios (INEGI, 2020). En México existe una gran cantidad de rastros municipales que carecen de las principales medidas de seguridad e higiene requeridas para desarrollar sus actividades con la finalidad de evitar focos de infección, alteraciones a la salud de la población y contaminación al ambiente. Estas áreas son las siguientes: zona de evisceración, área de baño antemortem, incinerador para calcinar la carne y vísceras decomisadas o descompuestas, depósito de esquilmos que es el lugar donde se depositan el estiércol extraído de las vísceras, pelajes, pezuñas y cuernos. Lo más grave de estos establecimientos es que la gran mayoría de ellos no tratan sus aguas residuales (Borowski & Kubacki, 2015a).

Por lo tanto, estas instituciones descargan agua residual y/o desechos sin un tratamiento previo, los cuales son vertidos directamente en cuerpos naturales como lagos, ríos o bien en el drenaje público (Adou et al., 2020)(Bingo, Njoya, Basitere, Ntwampe, & Kaskote, 2021)(Kundu, Debsarkar, & Mukherjee, 2013), en consecuencia este tipo de aguas residuales o desechos tienen un alto contenido de materia orgánica, constituida por sangre, grasas, proteínas, nitrógeno, excremento, orina, iones inorgánicos como sulfatos y fosfatos, pedazos de carne, huesos, vísceras, pelo, detergentes, metales pesados y medicamentos (Agabo-García, Solera, & Pérez, 2020)(Alfonso-Muniozguren, Gomes, Saroj, Vilar, & Lee, 2021)(Silveira, Oliveira, Damianovic, & Foresti, 2021)(Emerick, Vieira, Silveira, & Joaõ, 2020).

Estudios recientes indican que aproximadamente el 25% del peso total del animal sacrificado es desechado sin que sea utilizado para el consumo de alimentos (Borowski & Kubacki, 2015a); en consecuencia, estos desechos son los responsables de generar enfermedades como encefalopatía espongiforme bovina, cólera, brucelosis, hepatitis E, salmonelosis, *Escherichia coli*, Creutzfeld-Jacob y metahemoglobinemia (síndrome del niño azul)(Boxman et al., 2017) (Corbellini et al., 2016)(Sudarwanto et al., 2016)(Ortner, Leitzinger, Skupien, Bochmann, & Fuchs, 2014). Además, causan eutrofización de los cuerpos de agua, emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y clorofluorocarbonos (CFC) causantes principales del calentamiento global además de generar malos olores (Adou et al., 2020)(Zhou et al., 2017).

OBJETO DE ESTUDIO

En particular el rastro municipal de Jocotitlán en el Estado de México, descarga agua residual hacia la planta de tratamiento ubicada en la cabecera municipal de Jocotitlán, esto ha traído como consecuencia una baja eficiencia en la PTAR, ya que esta fue diseñada solo para tratar aguas residuales municipales en una proporción de 30 L/s (H. Ayuntamiento de Jocotitlán), en consecuencia el hecho de que el rastro vierta sus residuos a la PTAR ha sido una limitante para que la PTAR se desarrolle correctamente, por tales motivos la presente investigación tiene como objetivo dar a conocer de que formas se puede hacer una gestión de los residuos y aguas residuales del rastro municipal para su potencial aprovechamiento, con la finalidad de obtener beneficios de los residuos y aguas residuales que genera el rastro municipal de Jocotitlán Estado de México.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los diferentes tratamientos que han sido investigados en torno al tratamiento de aguas residuales y residuos provenientes de los rastros municipales, así como las enfermedades y problemáticas que han generado este tipo de descargas al medio ambiente, y finalmente se describe como estos residuos y aguas residuales han sido empleados en la síntesis de nuevos productos, los cuales han permitido obtener un valor agregado. La tabla 1 muestra las enfermedades y daños ocasionados por la descarga indebida de agua residual de rastros municipales.

Tabla 1 Enfermedades y problemáticas causadas por la descarga de agua residual sin previo tratamiento

Enfermedad y/o problemática	Causas y/o efectos
Hepatitis E	Debido a que la industria alimenticia emplea sangre porcina como aglutinante, colorantes naturales y emulsificantes, por tales motivos estos productos cárnicos son el vehículo principal de contaminación de hepatitis E, debido a que estos alimentos se consumen comúnmente fríos, al no ser calentados representan una forma fácil de transmisión del virus de la hepatitis E (Boxman et al., 2017).
Salmonella* y *Escherichia coli	Las principales fuentes de contaminación de carne se generan en los sitios de matanza, debido a que la carne tiene contacto con material fecal de cerdos infectados, agua y utensilios sucios (Corbellini et al., 2016)(Zeng et al., 2021). La prevalencia de *E. coli* O157:H7 en los últimos diez años tiene una tendencia creciente en el ganado, debido a que una gran cantidad de praderas están contaminadas, lo que genera una contaminación cruzada durante la matanza y transporte de la carne, por lo tanto, es indispensable tener buenas prácticas de higiene en el rastro para comercializar carne de calidad (Li et al., 2016)(Ayaz, Gencay, & Erol, 2014).
Eutrofización, metahemoglobinemia, malos olores, problemas gastrointestinales y generación de sustancias carcinogénicas.	Las aguas residuales de rastro contienen materia nitrogenada y fosfatada poco biodegradable; que ocasiona eutrofización. Los nitratos en el agua potable causa metahemoglobinemia (síndrome del niño azul), la formación de nitrosaminas es consideradas carcinogénicas, mientras que el exceso de fosfatos puede conducir a problemas gastrointestinales y renales (Kundu et al., 2013)(Kundu, Debsarkar, & Mukherjee, 2016)
Brucelosis	Este tipo de bacterias tiene una seroprevalencia del 58.6% (por el método ELISA). La seroprevalencia de la brucelosis en países arábigos se encuentra entre un 20-35% determinada en los rastros; los principales síntomas son los siguientes: fiebre intermitente, dolor en las articulaciones y debilidad. Los trabajadores de rastros tienen un alto riesgo de infección por brucelosis (Khalili, Sami, Aflatoonian, & Shahabi-Nejad, 2012).
Brucelosis y fiebre Q	La seroprevalencia de brucelosis y fiebre Q es mayor en trabajadores de rastros municipales que en la población en general (43,7% y 29,8%) comparada con (20% y 17,2%), esto significa que los trabajadores de rastros son más vulnerables a enfermarse y por lo tanto es necesario que utilicen protección personal y equipo de seguridad. Además de sugiere que se identifique el ganado que está enfermo y este se trate y vacune previamente (Esmaeili et al., 2019)(Cook et al., 2021).
Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas	Los trastornos respiratorios en personas que laboran en los rastros son mayores que los trabajadores de oficina, debido a que hay una reducción significativa en el funcionamiento pulmonar asociados con la exposición a bioaerosoles los cuales se producen durante el proceso de sacrificio, en la eliminación del vello de la cabeza, la

	limpieza del rumen y en la limpieza del colon (Kasaeinasab, Jahangiri, Karimi, Tabatabaei, & Safari, 2017).
Tuberculosis zoonótica *Mycobacterium (M. bovis*)	Este estudio confirma que los trabajadores de los rastros municipales están altamente expuestos a la infección por tuberculosis zoonótica, además de que los utensilios, así como el aire y agua están contaminados por la presencia se esta bacteria. Las pruebas realizadas por PCR indicaron que el ADN de la bacteria se encuentra en la carne en un 66%, en el aire en un 69% y en el agua en un 50% (Ciambrone et al., 2020).

El INEGI reportó que en julio de 2020 se sacrificaron 413,536 cabezas de ganado porcino (INEGI, 2020). Y se considera que se requieren de aproximadamente 450 L de agua por cada cerdo sacrificado en consecuencia, se generan 186,091.2 m^3 de agua residual (Paramo-Vargas, Camargo, Gutierrez-Granados, Godinez, & Peralta-Hernandez, 2015).

El incremento de las enfermedades y daños que causan este tipo de aguas residuales y residuos, demandan darle el tratamiento adecuado, que sea eficiente y económico. La tabla 2 resume los principales tratamientos: biológicos, fisicoquímicos y de oxidación avanzada empleados en el tratamiento de aguas residuales provenientes de rastros municipales.

Tabla 2 Tratamientos de aguas residuales provenientes de rastros municipales

Tratamiento	Conclusiones
Tratamientos biológicos	
Celda de combustible microbiana, biorreactor aeróbico y biorreactor anóxico	La investigación evaluó un sistema integrado por una celda de combustible microbiana, un biorreactor aeróbico y un biorreactor anóxico, el sistema se inoculó con lodos activados recién recogidos provenientes de un rastro municipal. El proceso duro 163 días, este generó 165.22 mW/m^2 de energía sostenible y llevó a cabo la recuperación de nutrientes nitrogenados hasta en un 100%, se alcanzó una oxidación máxima de amonio del 99.96%, una reducción de nitratos del 100% y una máxima eficiencia de eliminación de DQO del 98% (Mohammed & Ismail, 2018).
Nitrificación parcial Anammox en dos etapas	Esta investigación evaluó la tasa de carga de nitrógeno, en la remoción del nitrógeno total presente en agua residual de un rastro municipal, los resultados mostraron que la tasa de carga de nitrógeno vario de 1.3 a 6.3 gN/Ld, con una relación constante DQO/N de 0.5 ± 0,1 mg DQO/mgN. Se alcanzó una eficiencia de remoción del 84.2± 9.8% de nitrógeno total en 440 días de operación (Silveira et al., 2021).
Digestión anaeróbia	El estudio se realizó en un reactor discontinuo de 5 L en condiciones mesofílicas (32 ± 3 °C), el reactor se mantuvo en agitación constante de 300 rpm, en un tiempo de tratamiento de

	60 días, a un pH entre 6.5-8.2. El sistema eliminó el 49.93% de DQO total, DQO soluble en un 65.85% y 82.22% de DBO_5, adicionalmente el tratamiento generó un volumen total de biogás de 20.870 mL (Adou et al., 2020).
Tratamientos por coagulación-floculación y precipitación	
Coagulación química	El tratamiento se llevó a cabo empleando alumbre, un polímero orgánico. Las dosis utilizadas para el alumbre oscilaron entre 0 y 1000 mg/L, mientras que las dosis de polímero variaron entre 0 y 90 mg/L. La mayor eficiencia en la eliminación de sólidos en suspensión se obtuvo empleando 400 mg/L de alumbre generando una eliminación del 99%, y al emplear 30 mg/L del polímero se alcanzó una eliminación del 96% de sólidos suspendidos. Sin embargo, el uso del alumbre produjo un lodo más compacto. La eliminación de la DQO soluble fue baja en ambos casos esto debido a que los productos químicos utilizados se dirigen a la parte coloidal y suspendida de la DQO en lugar de la parte soluble (filtrable) de la DQO (Al-Mutairi, Hamoda, & Al-Ghusain, 2004).
Electrocoagulación	Se llevó a cabo la electrocoagulación de agua residual de rastro, empleando electrodos de Fe y Al, utilizando Na2SO4 como electrolito soporte y cloruro de polialuminio (PAC) como coadyuvante de coagulación. Las eficiencias más altas se obtuvieron con los electrodos de Al y la adición de 0.75 g/L de PAC a pH 7.8, 20 mA/cm2 en un tiempo de 60 min, se alcanzó una remoción del 94.4% de DQO. Se determino que a mayor concentración de Na2SO4 se tiene una disminución en las eficiencias (Tezcan Ün, Koparal, & Bakir Öğütveren, 2009)**.**
electrocoagulación-flotación (ECF) y electrocoagulación-flotación asistida por ultrasonido (ECF / US) utilizando Al y electrodos de Al / Fe.	Las mejores condiciones experimentales para el proceso de tratamiento de aguas residuales de rastro municipal fueron: corriente de 5 A, potencial de 6 V, distancia entre electrodos de 10 mm y tiempo de 60 min, usando electrodos de aluminio. Las eficiencias más altas se observaron en la remoción de color en un 97%, turbidez 97.4%, DBO 93% y aceite y grasa 90%. Mientras que al utilizar electrodos de Al/ Fe, los mejores resultados de remoción fueron: color 95.5%, turbidez 96.2%, nitrógeno 93.4 % y DBO 90.7% (Emerick et al., 2020)**.**
Precipitación ácida	Se llevó a cabo el tratamiento de residuos por precipitación ácida con H2SO4 a pH de 4, durante este procedimiento se eliminó el 80% de la DQO total, posteriormente se realizó un tratamiento utilizando microalgas (Chlorella vulgaris) en un fotobiorreactor de 4.5L, en donde se obtuvo una eliminación del 83% de DQO. Después de 89 h, el valor de DQO resultó menor a 200 mg/L y 1.2 g/L de microalgas en el línea de salida (Terán Hilares, Garcia Bustos, Sanchez Vera, Colina Andrade, & Pacheco Tanaka, 2021).
Tratamientos de Oxidación avanzada	
Electro-Fenton	El tratamiento electro-Fenton removió el 92.37% de DQO a un pH de 4.38, con una densidad de corriente de 74.07 mA/cm^2

	durante 55.60 min, relación molar H_2O_2/Fe^{2+} de 3.73 y 1.63 mL de H_2O_2 /L (Davarnejad & Nasiri, 2017).
Foto-Fenton solar	Se empleó un fotoreactor parabólico, para inactivar *Escherichia coli* y coliformes totales a pH neutro. La mayor eficiencia en la eliminación de coliformes se observó al usar UVA solar, 20 mg/L de Fe^{2+} y 50 mg/L de H_2O_2, con estas condiciones se desinfecta completamente el agua en 60 min, a una temperatura de 28 ± 1 ˚C y 30 ± 2W/m^2 de radiación UVA. El agua tratada se pudo reutilizar de acuerdo con la legislación española (Ortega-Gómez, Ballesteros Martín, Esteban García, Sánchez Pérez, & Fernández Ibáñez, 2014).
Tratamientos combinados	
Sistema combinado anaerobio y UV/H_2O_2	Los procesos combinados obtienen una mayor eficiencia que los tratamientos por separados. Las eficiencias máximas de eliminación de COT, DQO y DBO_5 fueron del 89.9%, 97.7% y 966%, respectivamente, en un TRH de 3.8 días en el reactor biológico y 3.6 h en el foto-reactor. Se encontró que una dosis óptima de H_2O_2 fue de 3.5 mgH_2O_2/mgCOT h para el proceso UV/H_2O_2. Se utilizó una lampara UV con potencia de salida de 6W, longitud de onda de 254 nm y diámetro de 2.5 cm, el pH de trabajo oscilo entre 6.4-7.5, sin embargo, este aumento después del tratamiento biológico debido a la formación de ácidos grasos volátiles (Cao & Mehrvar, 2011).
Tratamiento de agua sintética, empleando UV-C / H_2O_2 y VUV / H_2O_2.	La dosis óptima de H_2O_2 fue de 1000 mg/L para el proceso UV-C H_2O_2 y 600 mg/L para el proceso VUV/H_2O_2 durante 2.5 h de tiempo de exposición a la radiación solar. La relación molar de [H_2O_2]/[COT] fue de 2.5 y 1.5 para los procesos UV-C/H_2O_2 y VUV/H_2O_2. El tratamiento con el UV-C/H_2O_2 y VUV/H_2O_2 en modo continuo duplicó las tasas de eliminación de COT en un 10.8 y 12.2% respectivamente. Se observó que todos los procesos fotoquímicos fueron capaces de inactivar totalmente diferentes cepas de bacterias con concentraciones de hasta 10_5 CFU/mL en 27.6 s (Barrera et al., 2012).
Tratamiento de agua residual real O_3/UVC / H_2O_2	El tratamiento más eficiente se obtuvo al utilizar de forma simultánea O_3/UVC/H_2O_2 con una sola adición de H_2O_2 de 490 mg/L durante un tiempo de 3h, se inyecto 1.7mg O_3/min con un pH por debajo de los 8.5, la combinación de este tratamiento atribuye su potencial de eficiencia a la formación de HO• , con este tratamiento se alcanzaron eficiencias de remoción del 62 mg O_2/L de DQO, 9 mg/L de SST y 20 mg Pt-Co/L de color (Alfonso-Muniozguren et al., 2021).
(*) Unidad Formadora de Colonias (CFU), Carbono Orgánico Total (COT), Tiempo de Retención Hidráulico (TRH).	

De los métodos de tratamiento antes mencionados, los Procesos de Oxidación Avanzada (POA) han demostrado ser una opción prometedora para el proceso de desinfección y degradación de los contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales de los rastros. Estos métodos se caracterizan por presentar las siguientes ventajas:

gran cantidad de eliminación de contaminantes, poca producción de lodo, tiempo de reacción corto, fácil operación, bajo consumo de energía y compatible con el medio ambiente.

Los residuos de rastro municipal se pueden tratar de diferentes formas, sin embargo, se debe considerar que estos residuos también pueden ser utilizados como materia prima en la síntesis de nuevos productos los cuales tendrán un valor agregado, si se considera que la población mundial ha aumentado de manera constante de 5.3 mil millones en 1992 a 7 800 millones en 2020, en consecuencias el rápido crecimiento poblacional así como la industrialización, demandan de energía y por tanto, se ve incrementado el consumo excesivo de combustibles fósiles, lo que ha dado lugar a graves amenazas para el medio ambiente y para la salud de los seres humanos, sin embargo el crecimiento de la población es inevitable; y por tanto, el desarrollo de energías limpias y renovables es esencial para resolver la crisis energética global y medioambiental que se vive actualmente con el objetivo de no generar nuevas formas de contaminación en un futuro (Pirmoradi, Ghaneian, Ehrampoush, Salmani, & Hatami, 2021).

Estudios recientes han obtenido subproductos como: metano, biogás, suplementos alimenticios para animales de engorda, colorantes, energía eléctrica, antioxidantes, inhibidores de la hipertensión y reguladores de glucosa a partir de residuos y aguas residuales provenientes de rastros municipales. La tabla 3 muestra los subproductos que se pueden extraer de este tipo de residuos y aguas residuales.

Tabla 3 Subproductos derivados de residuos cárnicos

Subproductos	Rendimientos
Metano, biogás y energía eléctrica	Un promedio del 40-50% de un animal se convierte en residuos, estos residuos pueden ser utilizados en la generación de metano, biogás y energía eléctrica. Los mayores rendimientos de metano (826 y 976 dm3/kg*SV) se lograron a partir de desechos intestinales y tejido de carne, mientras que con un 28.4% de grasa se obtiene un rendimiento del 641.55 mL CH_4 g/SV (Santagata, Ripa, & Ulgiati, 2016)(Borowski & Kubacki, 2015b)(Ware & Power, 2016).
Biogás, electricidad y biofertilizantes	El modelo Symnergy permitió llevar a cabo la producción de biogás utilizando una planta piloto en condiciones mesofílicas a temperatura de 30 a 38°C con una fase de acidogénesis y metanogénesis con capacidad de 2 m^3/día de materia orgánica y de aguas residuales. Se obtuvo una producción de biogás de 1.3 m^3/día el cual reemplazó al GLP y promovió un ahorro de alrededor de USD 90,78 / año. Alternativamente, los pobladores pueden obtener un ingreso adicional de alrededor de USD 130,08 / año a partir de la producción de bioelectricidad y una ganancia de USD 400 a 500 por año con la venta de chile, mediante la aplicación de fertilizantes biológicos (Sinsuw, Wuisang, & Chu, 2021).
Biogás	Para la producción de biogás se manejó estiércol de cerdo, lodos provenientes de la una PTAR, sangre en diferentes concentraciones, grasa proveniente del tracto digestivo, órganos internos y grasa abdominal, se excluyó huesos, pezuñas o pelo de cerdo debido a su baja biodegradabilidad. El estudio permitió determinar que las pruebas realizadas con mayor cantidad de grasas tienen un impacto negativo en las tasas de producción de metano. Las pruebas que se realizaron con mayor cantidad de sangre presentaron un contenido de grasa más bajo y en consecuencia la proteína más alta. Los rendimientos del metano fueron del 275-348 NLCH4 kg/DQO (Otero, Mendoza, Carreras, & Fernández, 2021).
Suplementos, colorantes, antioxidantes,	La proteína más abundante en los residuos de rastro es la hemoglobina, que representa del 12 al 18% de la composición total de la sangre, la síntesis y reutilización de estos péptidos al ser hidrolizados se pueden aplicar en

inhibidores de la hipertensión y reguladores de glucosa	diversos subproductos otorgando de estos residuos un valor agregado en múltiples aplicaciones (Fonseca-Montes de Oca et al., 2019) (Álvarez, Tiwari, Rendueles, & Díaz, 2016).
Biometano y suplementos alimenticios para animales de engorda	La digestión anaerobia genera una energía del 22.7×10^{9} kWh/año de biometano, en consecuencia, se estima que se generará una energía neta de 17,009-85,278 kWh/d Adicionalmente estos desechos pueden ser utilizados debido a que poseen un alto contenido de proteínas las cuales se pueden ocupar sin mayor problema en la producción de alimentos para mascotas e incluso para engorda de animales de consumo humano (Mullen et al., 2017).
Biofertilizantes	Se obtuvo un biofertilizante que aporta una relación C/N del 13.92%, tiene un pH alcalino de 7.7 y un alto nivel de nutrientes. Los índices de germinación alcanzados fueron del 91% lo cual indica que el biofertilizante no es fitotóxico para el crecimiento de maíz (Asses, Farhat, Hamdi, & Bouallagui, 2019).
Producción de electricidad	Este estudio permitió generar bioelectricidad a partir de estiércol, sangre, plumas, tejido de carne, lodos y agua residual de rastros, se utilizó un reactor anaerobio para generar biogás y posteriormente este biogás se transformó en electricidad. Con esta tecnología se produjo $62.808\text{x}10^{6}$ kWh/año de electricidad, con esta cantidad generada se aportó el 27% de la energía requerida por Irán, lo cual permitió disminuir la emisión de gases de efecto invernadero y CO_2 (Loganath & Senophiyah-Mary, 2020).
Producción de biodiesel	El biodiesel se produjo a partir de lodos provenientes de una PTAR que trata agua residual de rastro, el biodiesel se sintetizo por transesterificación in situ asistida por ultrasonido. Se empleo una red neuronal y un diseño de superficie de respuesta para optimizar el proceso. El rendimiento máximo de biodiésel fue de 21.45% p/p, con un tiempo de reacción de 39.69 min, una concentración de H_2SO_4 de 3.34% v/v, con un contenido de metanol de 14.91: 1 ml/g, utilizando una potencia de ultrasonido de 104.87 W (Pirmoradi et al., 2021).
SV= Sólidos Volátiles	

Como se puede observar la industria cárnica siempre estará presente en todo el mundo, por tal razón es de gran importancia dar solución al tratamiento de aguas y residuos que esta genera, con el objetivo de disminuir o eliminar los daños al medio ambiente y detener la proliferación de diversas enfermedades causadas por la descarga a cuerpos naturales y drenajes sin un tratamiento previo.

CONCLUSIÓN

El correcto funcionamiento de los sitios de matanza y la reutilización de residuos disminuirá la contaminación de la carne, reducirá la afectación al medio ambiente, y evitará la proliferación de enfermedades, así como promoverá la reutilización de residuos cárnicos con la posibilidad de obtener subproductos con un valor agregado. La importancia de hacer una recolección adecuada de sangre descenderá el grado de toxicidad del agua residual, reducirá la contaminación cruzada entre el rastro, transporte y puntos de venta, y esta podrá ser empleada como subproducto en la síntesis de colorantes naturales, aglutinantes, electricidad, biogás y fertilizantes generando nuevas fuentes de empleo. Por tales motivos se recomienda a todos los rastros municipales, lleven a cabo una recolección adecuada de sangre y residuos, con el objetivo de utilizarlos en nuevas e innovadoras fuentes de energía, alimentos y subproductos los cuales generen nuevas formas de obtener un valor agregado de estos residuos y por lo tanto puedan contribuir en la calidad de vida de los seres humanos y en la mejora continua del medio ambiente, así como en la disminución de enfermedades.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por el apoyo económico brindado CAT2021-0111.

BIBLIOGRAFÍA

Adou, K. E., Alle, O. A., Kouakou, A. R., Adouby, K., Drogui, P., & Tyagi, R. D. (2020). Anaerobic mono-digestion of wastewater from the main slaughterhouse in Yamoussoukro (Côte d'Ivoire): Evaluation of biogas potential and removal of organic pollution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *8*(3), 103770. https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103770

Agabo-García, C., Solera, R., & Pérez, M. (2020). First approaches to valorizate fat, oil and grease (FOG) as anaerobic co-substrate with slaughterhouse wastewater: Biomethane potential, settling capacity and microbial dynamics. *Chemosphere*, *259*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127474

Al-Mutairi, N. Z., Hamoda, M. F., & Al-Ghusain, I. (2004). Coagulant selection and sludge conditioning in a slaughterhouse wastewater treatment plant. *Bioresource Technology*, *95*(2), 115–119. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.017

Alfonso-Muniozguren, P., Gomes, A. I., Saroj, D., Vilar, V. J. P., & Lee, J. (2021). The role of ozone combined with UVC/H2O2 process for the tertiary treatment of a real slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Management*, *289*(November 2020), 112480. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112480

Álvarez, C., Tiwari, B. K., Rendueles, M., & Díaz, M. (2016). Use of response surface methodology to describe the effect of time and temperature on the production of decoloured, antioxidant and functional peptides from porcine haemoglobin by sub-critical water hydrolysis. *LWT - Food Science and Technology*, *73*, 280–289. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.024

Asses, N., Farhat, W., Hamdi, M., & Bouallagui, H. (2019). Large scale composting of poultry slaughterhouse processing waste: Microbial removal and agricultural biofertilizer application. *Process Safety and Environmental Protection*, *124*, 128–136. https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.02.004

Ayaz, N. D., Gencay, Y. E., & Erol, I. (2014). Prevalence and molecular characterization of sorbitol fermenting and non-fermenting Escherichia coli O157:H7+/H7- isolated from cattle at slaughterhouse and slaughterhouse wastewater. *International Journal of Food Microbiology*, *174*, 31–38. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.01.002

Barrera, M., Mehrvar, M., Gilbride, K. A., McCarthy, L. H., Laursen, A. E., Bostan, V., & Pushchak, R. (2012). Photolytic treatment of organic constituents and bacterial pathogens in secondary effluent of synthetic slaughterhouse wastewater. *Chemical Engineering Research and Design*, *90*(9), 1335–1350. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2011.11.018

Bingo, M. N., Njoya, M., Basitere, M., Ntwampe, S. K. O., & Kaskote, E. (2021). Performance evaluation of an integrated multi-stage poultry slaughterhouse wastewater treatment system. *Journal of Water Process Engineering*, *43*(June), 102309. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102309

Borowski, S., & Kubacki, P. (2015a). Co-digestion of pig slaughterhouse waste with sewage sludge. *Waste Management*, *40*, 119–126. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.021

Borowski, S., & Kubacki, P. (2015b). Co-digestion of pig slaughterhouse waste with sewage sludge. *Waste Management*, *40*, 119–126. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.021

Boxman, I. L. A., Jansen, C. C. C., Hägele, G., Zwartkruis-Nahuis, A., Cremer, J., Vennema, H., & Tijsma, A. S. L. (2017). Porcine blood used as ingredient in meat productions may serve as a vehicle for hepatitis E virus transmission. *International Journal of Food Microbiology*, *257*, 225–231. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.06.029

Cao, W., & Mehrvar, M. (2011). Slaughterhouse wastewater treatment by combined anaerobic baffled reactor and UV/H2O2 processes. *Chemical Engineering Research and Design*, *89*(7), 1136–1143. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.12.001

Ciambrone, L., Gioffrè, A., Musarella, R., Samele, P., Visaggio, D., Pirolo, M., … Casalinuovo, F. (2020). Presence of Mycobacterium bovis in slaughterhouses and risks for workers. *Preventive Veterinary Medicine*, *181*(May), 0–4. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105072

Cook, E. A. J., de Glanville, W. A., Thomas, L. F., Kiyong'a, A., Kivali, V., Kariuki, S., … Fèvre, E. M. (2021). Evidence of exposure to C. burnetii among slaughterhouse workers in western Kenya. *One Health*, *13*(May). https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2021.100305

Corbellini, L. G., J??nior, A. B., de Freitas Costa, E., Duarte, A. S. R., Albuquerque, E. R., Kich, J. D., … Nauta, M. (2016). Effect of slaughterhouse and day of sample on the probability of a pig carcass being Salmonella-positive according to the Enterobacteriaceae count in the largest Brazilian pork production region. *International Journal of Food Microbiology*, *228*, 58–66. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.03.030

Davarnejad, R., & Nasiri, S. (2017). Slaughterhouse wastewater treatment using an advanced oxidation process: Optimization study. *Environmental Pollution*, *223*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.008

Emerick, T., Vieira, J. L., Silveira, M. H. L., & Joaõ, J. J. (2020). Ultrasound-assisted electrocoagulation process applied to the treatment and reuse of swine slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *8*(6), 104308. https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104308

Esmaeili, S., Bagheri Amiri, F., Mokhayeri, H., Kayedi, M. H., Maurin, M., Rohani, M., & Mostafavi, E. (2019). Seroepidemiological study of Q fever, brucellosis and tularemia in butchers and slaughterhouses workers in Lorestan, western of Iran. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, *66*(April), 101322. https://doi.org/10.1016/j.cimid.2019.06.003

Fonseca-Montes de Oca, R. M. G., Martínez-Miranda, V., Solache-Ríos, M. J., Ramos-Leal, J. A., Álvarez-Bastida, C., & Fuentes-Rivas, R. M. (2019). Chemical activity relation of phosphorus and nitrogen presence in trace elements incorporation into underground water. *Environmental Monitoring and Assessment*, *191*(2). https://doi.org/10.1007/s10661-018-7170-9

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2020), Estadística de Sacrificio de Ganado en Rastros Municipales 2020, Datos al mes de diciembre, MEX-INEGI.EEC6.03-ESGRM-2020. https://www.inegi.org.mx/programas/sacrificioganado/default.html#Microdatos

Kasaeinasab, A., Jahangiri, M., Karimi, A., Tabatabaei, H. R., & Safari, S. (2017). Respiratory Disorders Among Workers in Slaughterhouses. *Safety and Health at Work*, *8*(1), 84–88. https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.04.002

Khalili, M., Sami, M., Aflatoonian, M. R., & Shahabi-Nejad, N. (2012). Seroprevalence of brucellosis in slaughterhouse workers in Kerman city, Iran. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, *2*(6), 448–450. https://doi.org/10.1016/S2222-1808(12)60098-X

Kundu, P., Debsarkar, A., & Mukherjee, S. (2013). Treatment of slaughter house wastewater in a sequencing batch reactor: Performance evaluation and biodegradation kinetics. *BioMed Research International*, *2013*. https://doi.org/10.1155/2013/134872

Kundu, P., Debsarkar, A., & Mukherjee, S. (2016). Anoxic-oxic treatment of abattoir wastewater for simultaneous removal of carbon, nitrogen and phosphorous in a sequential batch reactor (SBR). *Materials Today: Proceedings*, *3*(10), 3296–3309. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.10.011

Li, Y., Cai, Y., Tao, J., Kang, X., Jiao, Y., Guo, R., … Jiao, X. (2016). Salmonella isolated from the slaughterhouses and correlation with pork contamination in free market. *Food Control*, *59*, 591–600. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.040

Loganath, R., & Senophiyah-Mary, J. (2020). Critical review on the necessity of bioelectricity generation from slaughterhouse industry waste and wastewater using different anaerobic digestion reactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *134*(August 2019), 110360. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110360

Mohammed, A. J., & Ismail, Z. Z. (2018). Slaughterhouse wastewater biotreatment associated with bioelectricity generation and nitrogen recovery in hybrid system of microbial fuel cell with aerobic and anoxic bioreactors. *Ecological Engineering*, *125*(October), 119–130.

https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.10.010

Mullen, A. M., Álvarez, C., Zeugolis, D. I., Henchion, M., O'Neill, E., & Drummond, L. (2017). Alternative uses for co-products: Harnessing the potential of valuable compounds from meat processing chains. *Meat Science*, *132*, 90–98. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.243

Ortega-Gómez, E., Ballesteros Martín, M. M., Esteban García, B., Sánchez Pérez, J. A., & Fernández Ibáñez, P. (2014). Solar photo-Fenton for water disinfection: An investigation of the competitive role of model organic matter for oxidative species. *Applied Catalysis B: Environmental*, *148–149*, 484–489. https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.09.051

Ortner, M., Leitzinger, K., Skupien, S., Bochmann, G., & Fuchs, W. (2014). Efficient anaerobic mono-digestion of N-rich slaughterhouse waste: Influence of ammonia, temperature and trace elements. *Bioresource Technology*, *174*, 222–232. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.023

Otero, A., Mendoza, M., Carreras, R., & Fernández, B. (2021). Biogas production from slaughterhouse waste: Effect of blood content and fat saponification. *Waste Management*, *133*(April), 119–126. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.035

Paramo-Vargas, J., Camargo, A. M. E., Gutierrez-Granados, S., Godinez, L. A., & Peralta-Hernandez, J. M. (2015). Applying electro-Fenton process as an alternative to a slaughterhouse effluent treatment. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, *754*, 80–86. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2015.07.002

Pirmoradi, N., Ghaneian, M. T., Ehrampoush, M. H., Salmani, M. H., & Hatami, B. (2021). The conversion of poultry slaughterhouse wastewater sludge into biodiesel: Process modeling and optimization. *Renewable Energy*, *178*, 1236–1249. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.016

Santagata, R., Ripa, M., & Ulgiati, S. (2016). An environmental assessment of electricity production from slaughterhouse residues . Linking urban , industrial and waste management systems. *Applied Energy*, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.073

Silveira, N. C., Oliveira, G. H. D., Damianovic, M. H. R. Z., & Foresti, E. (2021). Two-stage partial nitrification-Anammox process for nitrogen removal from slaughterhouse wastewater: Evaluation of the nitrogen loading rate and microbial community analysis. *Journal of Environmental Management*, *296*(June), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113214

Sinsuw, A. A. E., Wuisang, C. E., & Chu, C. Y. (2021). Assessment of environmental and social impacts on rural community by two-stage biogas production pilot plant from slaughterhouse wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, *40*(November 2020), 101796. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101796

Sudarwanto, M. B., Lukman, D. W., Latif, H., Pisestyani, H., Sukmawinata, E., Akineden, ??mer, & Usleber, E. (2016). CTX-M producing Escherichia coli isolated from cattle feces in Bogor slaughterhouse, Indonesia. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *6*(7), 605–608. https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2016.05.001

Terán Hilares, R., Garcia Bustos, K. A., Sanchez Vera, F. P., Colina Andrade, G. J., & Pacheco Tanaka, D. A. (2021). Acid precipitation followed by microalgae (Chlorella vulgaris) cultivation as a new approach for poultry slaughterhouse wastewater treatment. *Bioresource Technology*, *335*(March). https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125284

Tezcan Ün, Ü., Koparal, A. S., & Bakir Öğütveren, Ü. (2009). Hybrid processes for the treatment of cattle-slaughterhouse wastewater using aluminum and iron electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, *164*(2–3), 580–586. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.045

Ware, A., & Power, N. (2016). What is the effect of mandatory pasteurisation on the biogas transformation of solid slaughterhouse wastes? *Waste Management*, *48*, 503–512. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.013

Zeng, H., De Reu, K., Gabriël, S., Mattheus, W., De Zutter, L., & Rasschaert, G. (2021). Salmonella prevalence and persistence in industrialized poultry slaughterhouses. *Poultry Science*, *100*(4). https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.01.014

Zhou, K., Wu, B., Su, L., Gao, X., Chai, X., & Dai, X. (2017). Development of nano-CaO2-coated clinoptilolite

for enhanced phosphorus adsorption and simultaneous removal of COD and nitrogen from sewage. *Chemical Engineering Journal*, *328*, 35–43. https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.059

Evaluación de las emisiones de las partículas atmosféricas PM_{10} de la termoeléctrica Lerma, Campeche y en el centro histórico de San Francisco de Campeche

María de Guadalupe Vargas Canto[a], Alberto Antonio Espinosa Guzmán[b], Deiby Jovany Escofie Pérez[c], Darwin Osiel Jiménez Ordoñez[c].

[a]*Instituto Tecnológico de Campeche, Carretera Campeche-Escárcega km 9, Lerma, Campeche C.P. 24500. Apartado Postal 347, maria.vc@campeche.tecnm.mx*

[b]*CONACyT-UAC. Centro de Investigación en Corrosión. San Francisco de Campeche, Campeche. C.P. 24070*

[c]*Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Campeche. C.P.24085. San Francisco de Campeche*

Línea de investigación: Ambiente

Resumen

Se midieron los niveles de partículas atmosféricas PM_{10} en dos sitios en el estado de Campeche. Se presentan los resultados preliminares de las concentraciones de partículas suspendidas PM_{10}, recolectadas en la ciudad de San Francisco de Campeche (SFC) y en el poblado de Lerma (donde se encuentra la Central "Termoeléctrica Lerma"). El monitoreo se realizó considerando los periodos de seca (marzo a mayo) y de lluvia (septiembre a noviembre) durante 2019. Las concentraciones promedio fueron: 33.81 $\mu g \cdot m^{-3}$, para la temporada seca y de 49.17 $\mu g \cdot m^{-3}$ en la temporada de lluvias en SFC; las concentraciones promedio en Lerma fueron: 21.84 $\mu g \cdot m^{-3}$, y 32.42 $\mu g \cdot m^{-3}$, en temporada seca y de lluvia, respectivamente. Los niveles de partículas excedieron la norma mexicana durante el periodo de estiaje (seca) y lluvia, que contribuye a incrementar los niveles de partículas. Lo que indica tendencias críticas a los límites permisibles y que puede ser un riesgo para la población. Sin embargo, SFC fue el sitio con mayores niveles de PM_{10}.

Palabras clave: Calidad del aire, PM_{10}, San Francisco de Campeche, Termoeléctrica-Lerma.

Abstract

PM_{10} atmospheric particulate matter levels were measured at two sites in the state of Campeche, Mexico. Preliminary results are presented for PM_{10} suspended particulate concentrations, the samples was carried out in San Francisco de Campeche (SFC) City and in Lerma Village (where the "Termoeléctrica Lerma" power plant is located). The sampling was realized considering the dry (March to May) and rainy (September to November) season during 2019. The average concentrations were 33.81 $\mu g \cdot m^{-3}$for the dry season and 49.17 $\mu g \cdot m^{-3}$in the rainy season in SFC; the average concentrations in Lerma were 21.84 $\mu g \cdot m^{-3}$and 32.42 $\mu g \cdot m^{-3}$in the dry and rainy seasons, respectively. Particulate matter levels exceeded the Mexican standard during the dry and rainy season, which contributes to increased particulate matter levels.This indicates critical trends to permissible maximum and may be a risk to the population. However, SFC was the site with the highest PM_{10} levels.

Key words: Air Quality, Power Plant-Lerma, PM_{10}, San Francisco de Campeche

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es un tema que en la actualidad que tiene una alta relevancia y los estudios de monitoreo de contaminantes en el aire son de suma importancia en lugares específicos para determinar los niveles de contaminantes atmosféricos, debido que la información será útil para identificar fuentes de origen y evaluar riesgos en la salud. (WHO. 2003, Gurjar y col. 2008 Dzul B. 2010). Por otra parte, partículas atmosféricas menores que 10 (PM_{10}) y 2.5 µm ($PM_{2.5}$) tienen un especial interés, debido a los problemas que causa en la salud de la población (Pope III. y col.2002).

Las partículas tienen notable interés debido a los efectos adversos que genera en la salud humana, principalmente aquellas fracciones menores que 10 µm (PM_{10}) y menores que 2.5 µm ($PM_{2.5}$). Tanto la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América (US-EPA, por sus siglas en inglés), como la Organización Mundial de la Salud (WHO), advierten la importancia de la medición de este contaminante en el aire, debido a sus efectos adversos en la salud de la población, pues se ha observado que el incremento de problemas respiratorios en zonas urbanas altamente contaminadas se asocia a mayores tasas de morbilidad y mortalidad (Pope III. y col. 2002. Samoli y col, 2008, Zeng y col.2015).

A partir del interés en la contaminación atmosférica, en los últimos años se desarrollaron estudios con el fin de conocer, medir, evaluar, minimizar y controlar la emisión de los contaminantes (Dzul B, 2010), especialmente en las grandes ciudades, como Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey por mencionar algunas, esto debido a los problemas que originan en la salud de la población. En sitios donde no existen monitoreo de contaminantes atmosféricos o estudios en calidad de aire, es de suma importancia realizar de forma sistemática para evaluar los niveles de partículas suspendidas, debido que son las que afectan la salud de la población (INE. 2011). Tal motivo, se consideró realizar un monitoreo de partículas PM_{10} en dos sitios de Campeche, el primero en el Instituto Nacional de Antropología e Historia que se encuentra en el centro histórico de San Francisco de Campeche, donde se realizan actividades turísticas y comerciales; el segundo sitio fue el Instituto Tecnológico de Campeche, que como principal característica es la central termoeléctrica de Lerma, con el fin de evaluar los niveles de partículas suspendidas y determinar si las concentraciones sobrepasan los parámetros de la NOM-025 (NOM-025, 2014) y OMS (OMS, 2005).

Conocer la composición química de las partículas suspendidas que se encuentra en el ambiente, tiene relevancia no solo desde el punto de vista de la química de la atmósfera, sino también sobre la calidad del aire que se respira en las ciudades. Las partículas en suspensión son una compleja mezcla compuestos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos (Rojas y col., 2003, WHO. 2003, Wichmann y col. 2000).

Las partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, tales como el hollín de Diésel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos industriales. Las partículas suspendidas tienen un tamaño particular que va de 0.005 µm hasta 100 µm, el tamaño es el parámetro más importante de las partículas en términos del comportamiento y de su distribución en la atmósfera, como también se definen como agrupaciones de líquidos finos y solidos suspendidos en un medio gaseoso (Spurny y col. 1999). Si este es el aire o atmosfera, serán conocidos como aerosoles atmosféricos. El término de aerosoles se utiliza para partículas con dimensiones inferiores a 50 µg·m-3 (Rojas y col. 2003). En este trabajo, es de interés estudiar las partículas PM_{10} por los efectos adversos que causa en la población.

Las partículas son precursoras de enfermedades respiratorias o en su caso las agrava tal como el asma y bronquitis e incluso pueden desarrollarse nuevas enfermedades como bronquitis crónica y envejecimiento prematuro de los pulmones tomando en cuenta los límites que marca la NOM-025-SSA-2014 de 75 µg·m-3 en 24 horas y 40 µg·m-3 promedio anual (NOM-025, 2014) y la OMS que indica que 50 µg·m-3 en 24 horas y 20 µg·m-3 promedio anual (OMS, 2005), valores de referencia para los estudios de calidad de aire.

En el sureste del país se han realizado pocos estudios sobre contaminación atmosférica, en particular en el estado de Campeche. Algunos de estos trabajos fueron realizados por Muriel y Romero (1990), que realizaron un monitoreo de contaminantes atmosféricos en los alrededores de la Termoeléctrica ubicada en Lerma. En este estudio el SO_2 y partículas suspendidas totales (PST) fueron monitoreados por un corto período de tiempo. En 1998, se realizó un estudio sobre partículas suspendidas, y recolectaron muestras con depósito de partículas con un tamaño menor que 10 µm (PM_{10}), donde se encontraron niveles promedio de 40 µg·m-3 lo cual se consideró por debajo de los niveles de riesgo de salud para los habitantes (Reyes y col., 2011).

Otro estudio fue realizado por Miss y col. (2008), sobre partículas suspendidas totales (PST) por medio de muestreadores tipo de alto volumen (Hi-Vol) en la ciudad de San Francisco de Campeche, también analizó la parte alifática de los compuestos orgánicos de PST. En 2010 Dzul y col. (2010), llevó a cabo un muestreo de partículas suspendidas PM_{10} empleando muestreadores tipo de bajo volumen (Mini-Vol) y analizó la composición elemental de estas partículas (Si, P, S, Cl, K y Ca) por medio de espectroscopia de Emisión de Rayos X Inducido por

Partículas (PIXE). Los sitios de monitoreo se localizaban en el campus principal de la Universidad Autónoma de Campeche y el segundo sitio se localizaba en el centro histórico de la ciudad. En conjunto los resultados realizados acerca de partículas suspendidas en épocas pasadas y los obtenidos por éste trabajo servirán para observar tendencias y cómo ha evolucionado las concentraciones de partículas a través de los años y brindar información que sirva a las autoridades para monitorear y dar seguimiento a éste contaminante en el aire ambiente.

El presente trabajo tiene por objeto conocer los niveles de PM_{10} en aire ambiente en el centro histórico de San Francisco de Campeche, y en la Central Termoeléctrica Lerma, Campeche y conocer si los niveles de las concentraciones de PM_{10} pueden ser un riesgo a la salud de la población en los sitios de estudio.

OBJETO DE ESTUDIO

Evaluar la calidad del aire en el poblado de Lerma y del centro histórico de la ciudad de San Francisco de Campeche mediante un análisis de las concentraciones de partículas suspendidas PM_{10}, durante el periodo de 2019.

FUNDAMENTO

La Ciudad y Estado de Campeche, se caracterizan por ser poco industrializados, la actividad económica primordial son la pescadería y la agricultura de algunos productos de importancia alimenticia, por lo que el impacto de la contaminación atmosférica, ha sido considerada sin importancia para la población y los gobiernos, sin embargo, en los últimos años esta Ciudad ha tenido un crecimiento positivo, lo que ha generado un incremento de empresas y servicios, así como de nuevos centros habitacionales, toda esta actividad ha propiciado nuevas fuentes de contaminación tanto en el agua como en la atmósfera. Por otra parte, debido al poco interés que los gobiernos y la misma población ha demostrado por las fuentes de contaminación atmosféricas, existe poca o casi nula información sobre este tema, por lo que hoy se requiere de ir generando la misma e ir creando un sistema de monitoreo que permita conocer y comparar el status en el que se encuentra la Ciudad.

METODOLOGÍA

Sitio de Monitoreo

Se seleccionaron en Campeche dos zonas de monitoreo, las cuales son las oficinas del Instituto Nacional de Antropología e Historia (edificio del Teniente Rey, calle 59), el cual fue seleccionado por las diversas actividades en el centro de la ciudad, el segundo sitio fue el Instituto tecnológico de Campeche (ITC), ya que se encuentra a un costado de la central termoeléctrica Lerma.

El muestreo de partículas (PM_{10}) se realizó en la azotea del edificio del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH, 19.843044 N, -90.536749 W) en el centro histórico de SFC. El segundo sitio se instaló en la azotea del edificio R del Instituto Tecnológico de Campeche (19°47'37.02" N Y 90°36'56.63" W).

Muestreo

Las muestras se recolectaron sobre filtros de fibra de cuarzo (Whatman©), empleando un muestreador tipo minivol (Airmetrics®). El muestreo considero el periodo de seca (mar-may) y lluvia (ago-oct), tomando muestras cada 3 días por 24 h, iniciando a las 8:00 am, hasta el día siguiente en 2019. La calibraron del equipo y el procedimiento de recolección se realizó conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993 (SEMARENAT-1993).

Figura.1. Ubicación del Instituto Nacional de Antropología e Historia, en el centro histórico de SFC.

Figura.2. Ubicación del Edificio R del Instituto Tecnológico de Campeche, en el poblado de Lerma, Campeche.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las concentraciones promedio de partículas PM_{10} en el sitio de Lerma (ver tabla 1) durante la temporada seca (mar-abr-may) fue de 21.84 µg·m-3 y coincide con el periodo de estiaje de la región, una temperatura de 19.32 °C, y velocidad de viento de 4.51 m·s-1. Para el periodo de lluvia (sept-oct-nov) la concentración promedio de PM_{10} fue 32.42 µg·m-3, con una temperatura de 27.98 °C, y velocidad de viento de 110.33 m·s-1.

En la tabla 2, se observa la estadística descriptiva del sitio en el Centro Histórico de Campeche, la concentración promedio de partículas PM_{10} en el sitio durante la temporada seca (mar-abr-may) fue de 33.81 µg·m-3 y una temperatura de 28.36 °C, y velocidad de viento de 0.59 m·s -1. Para el periodo de lluvia (sept- oct-nov) la concentración promedio de PM_{10} fue 49.17 µg·m-3, con una temperatura de 26.83°C, y velocidad de viento de 0.44 m·s-1.

Tabla 1. Variables Meteorológicas en la temporada Seca y Lluvias en el ITC.

Datos	T	P	ws	wd	PM_{10}
Promedio	19.32	1010.47	4.51	102.24	21.84
Max	42.40	1020.87	12.93	348.06	48.01
Min	9.18	1000.38	0.32	11.83	12.32
Lluvias					
Promedio	27.98	1010.59	110.33	32.42	32.42
Max	37.10	1017.73	18.47	358.30	61.95
Min	22.60	1001.60	0.28	1.50	15.33

Tabla 2. Variables Meteorológicas en la temporada Seca y Lluvias en el INAH.

Datos	T	P	ws	wd	PM_{10}
Promedio	28.36	1012.74	0.59	165.96	33.81
Max	41.30	1023.20	5.80	337.50	199.93
MIN	19.10	10022.20	0.00	0.00	0.00
Lluvias					
Promedio	26.83	1013.86	0.44	191.86	49.17
Max	37.10	1028.10	6.70	337.50	231.04
MIN	17.70	1006.70	0.00	0.00	0.00

En la figura 3a y 3b, se observa el comportamiento de las concentraciones de partículas PM_{10} durante los periodos de seca y lluvia con respecto las variables meteorológicas como; temperatura, y dirección de viento en los ITC e INAH, respectivamente. Las concentraciones de partículas durante los meses de marzo y abril presentaron episodios que excedieron el máximo permisible, durante este periodo se realiza la quema de campos de cultivo en la región y que puede estar contribuyendo a incrementar los niveles de partículas en la zona, este comportamiento es similar en ambos sitios, sin embargo, en el sitio de INAH fue donde se observaron los niveles más altos de

partículas (Figura 3b). Las concentraciones de partículas presentaron episodios en ambos periodos, y se observó tendencias críticas de emisión indicando que se encuentran en valores críticos de concentración cercanos a los máximos permisibles con respecto a la norma mexicana NOM-025-SSA1-2014.

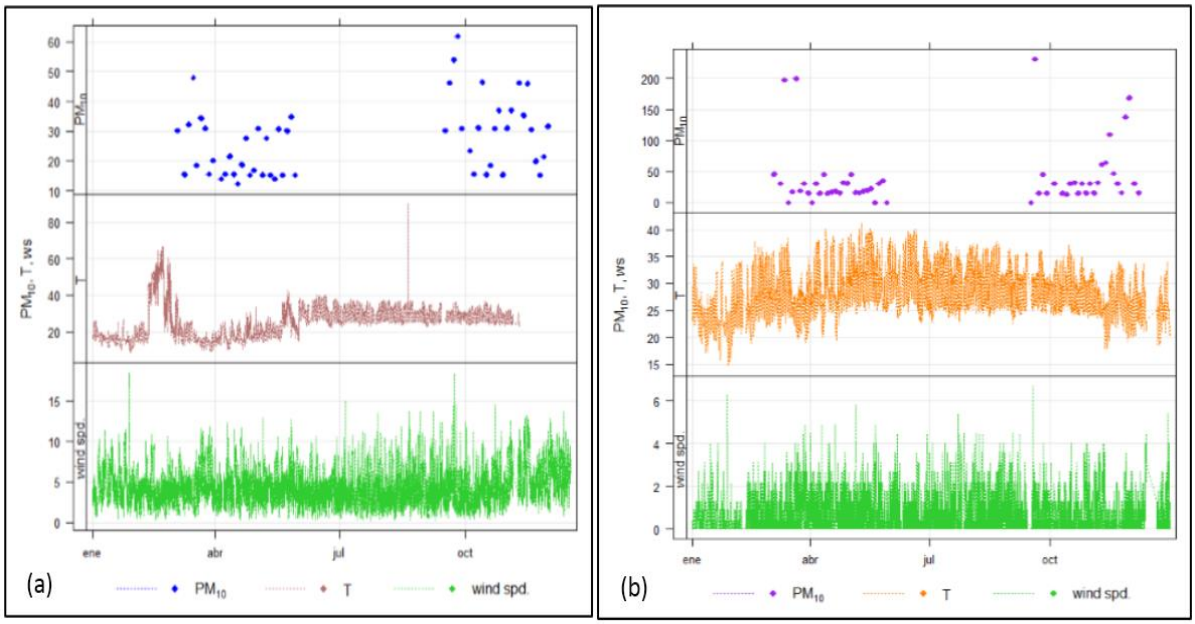


Figura 3a-b. Tendencias de partículas PM_{10} y variables meteorológicas (T, ws) en los sitios ITC e INAH.

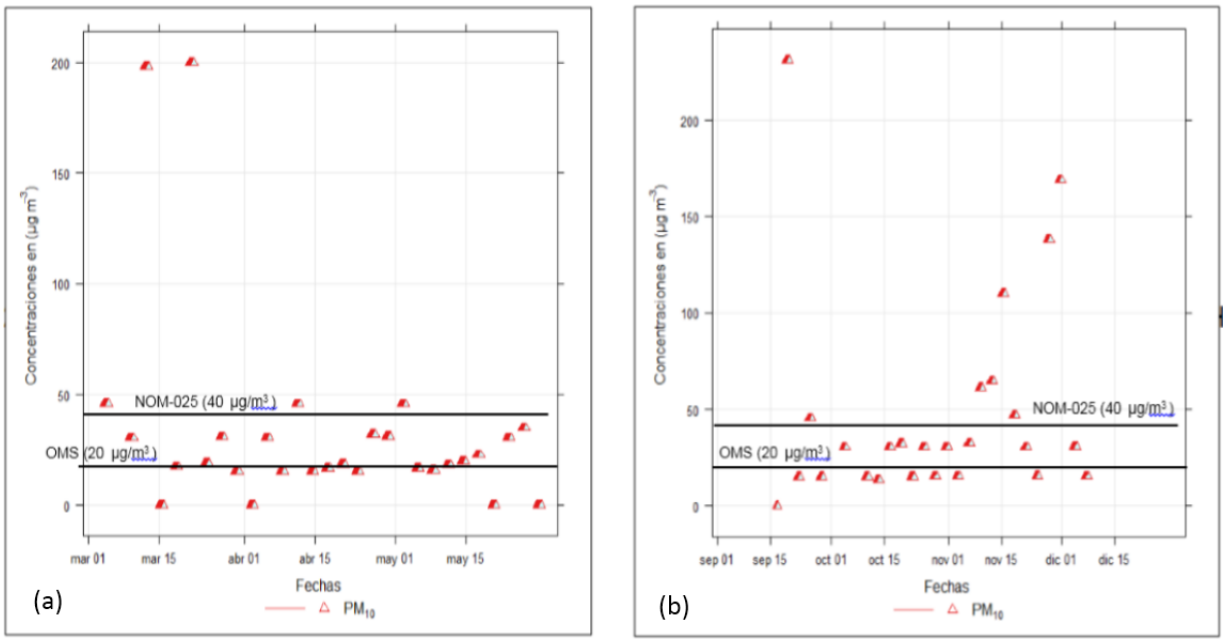


Figura 4a-b. Serie de tiempo de la concentración de PM_{10} en el sitio INAH (Seca y Lluvia).

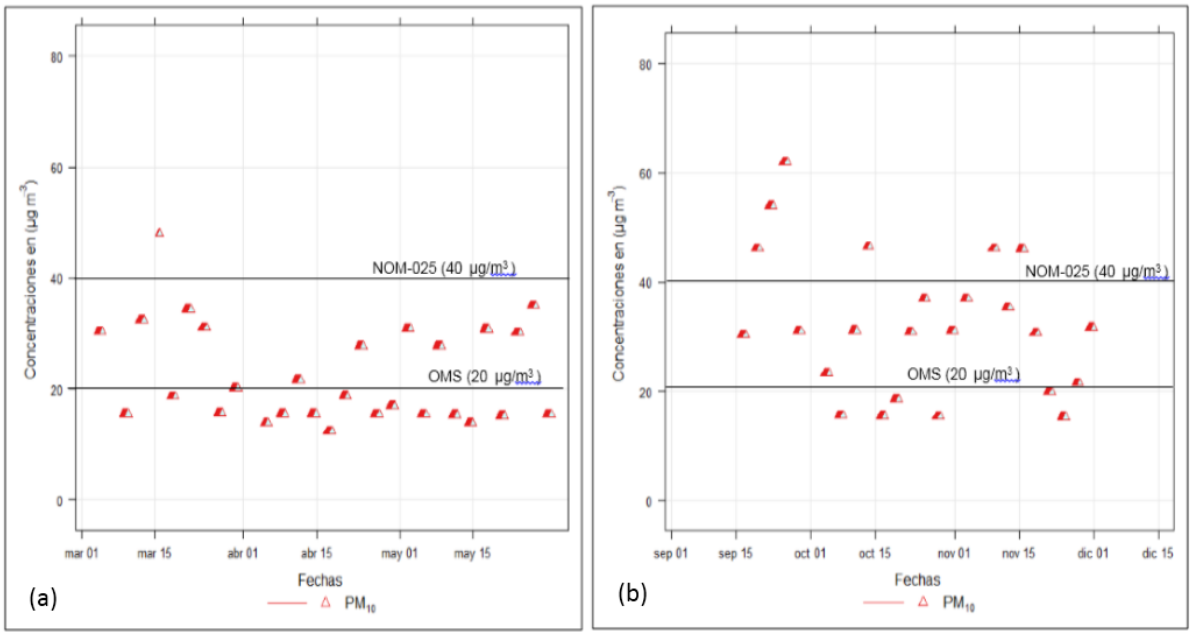


Figura 5a-b. Serie de tiempo de la concentración de PM_{10} en el sitio ITC (Seca y Lluvia).

En la figura 5a, se observa la serie de tiempo de la PM_{10} de sitio del INAH, cuatro eventos alcanzaron niveles por encima de 100 µg·m-3 durante la temporada de lluvia y solo dos eventos en la temporada seca que sobrepasaron este valor, sin embargo, en la temporada seca las concentraciones de PM_{10} se mantienen cercanas al límite de 40 µg·m-3, que es el valor de referencia de la norma mexicana. La figura 5b muestra el comportamiento de partículas PM_{10} en el sitio del tecnológico de Lerma, donde se observa un comportamiento similar que el sitio INAH, debido que la temporada de lluvia se presentó los más altos niveles de partículas alcanzando máximos de 70 µg·m-3 y en la temporada seca se registró valores de hasta 50 µg·m-3. También para este sitio el promedio de PM_{10} no excedió los máximos permisibles de la norma mexicana, sin embargo, se encuentran en valores cercanos al límite. Resaltar que los niveles más elevados en las concentraciones se registraron en la zona centro de la ciudad, que en distintas ocasiones excedieron dos a tres veces los valores de referencia de la norma mexicana y de la OMS, y que fueron las más altas registradas en este estudio.

El límite máximo permisible para PM_{10} fue excedido en diversas ocasiones para ambos sitios de muestreo (Figuras 5a-b). Aunque son pocos los episodios en que las concentraciones rebasaron los valores máximos establecidos, se observan altas concentraciones cercanas al límite, lo que indica tendencias críticas de emisión de partículas en el sitio, que debido a las características socioeconómicas (alto tráfico vehicular, zona comercial y turística, etc.) en SFC, por su parte el poblado de Lerma cuenta con la Central Termoeléctrica Lerma que posiblemente este propiciando un incremento en los niveles de partículas en el sitio, así como por obras de infraestructura que se desarrollan y se sugiere dar seguimiento a la emisión de las partículas debido que son consideras un riesgo a la población.

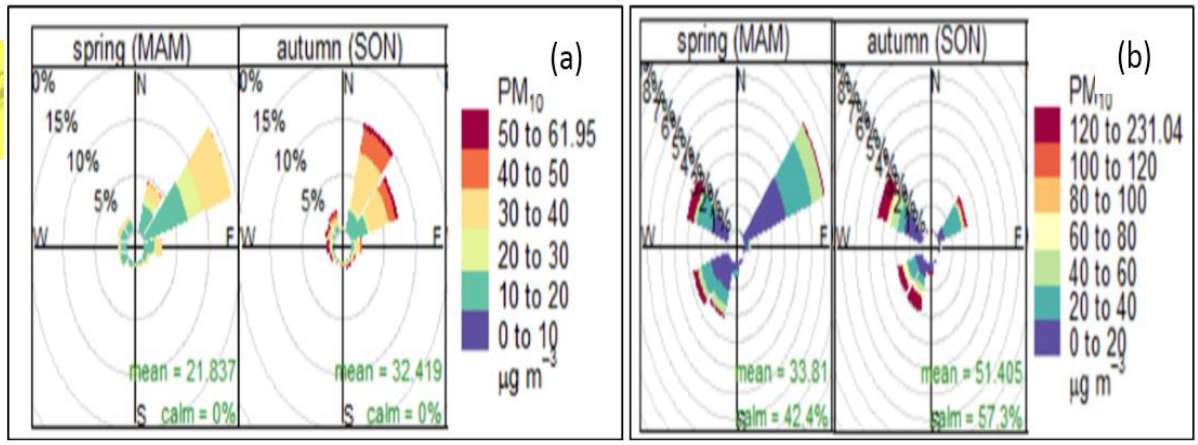


Figura 6. Rosa de Vientos de los sitios ITC (a) e INAH (b)

Se realizó un análisis sobre la dirección del viento, con la finalidad de identificar la procedencia de las emisiones de PM_{10} con respecto al sitio de muestreo. En la figura 6a, se observa la rosa de vientos del sitio ITC y que en promedio las trayectorias de los vientos predominan del noreste lo que sugiere que pueden estar influenciadas por las actividades de la termoeléctrica de Lerma, para confirmar esta situación se sugiere hacer un análisis de trayectorias mediante el software Hysplit, para identificar la dirección de viento durante ambos periodos de estudio en el sitio. En la figura 6b, se analiza la dirección del viento del sitio INAH y se observa que durante el periodo de seca la procedencia en promedio es de noreste y que puede estar influenciado por las actividades de los campos de cultivo y por las quemas de campos de cultivo que se presentan de manera característico en este periodo, con respecto a la temporada de lluvia, la dirección de viento que predomina es del noroeste que proviene del mar hacia tierra adentro en la ciudad.

CONCLUSIONES

Los resultados que se presentan en este trabajo son preliminares y se contempla realizar un análisis químico en las muestras de partículas, para proporcionar mayor información de niveles y tendencias de partículas PM_{10} en los sitios de estudio. Por otro lado, los niveles de partículas suspendidas muestran que la concentración de partículas PM_{10} en los sitios de muestreo excedieron en pocas ocasiones en promedio la norma vigente del país, sin embargo, las concentraciones registradas se encuentran cercanos a los máximos permisibles, mismas que puede generar problemas en el futuro. Las concentraciones más elevadas se registraron durante el periodo de lluvia (sept-nov) en ambos sitios, y el periodo de seca (mar-may) los niveles más bajos. Destacar que no se detectó que las emisiones de la termoeléctrica Lerma, no influyen en los niveles detectados en el sitio, sin embargo, se requiere realizar un análisis de trayectoria para determinar procedencia.

Lo anterior requiere realizar un análisis de caracterización química para conocer la composición de partículas y determinar si a estos niveles, las emisiones de partículas menores que 10 µm en san Francisco de Campeche y Lerma representan un riesgo a la población, además que servirá como antecedente a los problemas de calidad de aire en el estado de Campeche.

BIBLIOGRAFÍA

Dzul Karina. (2010). Tesis Licenciatura. “Análisis elemental de partículas atmosféricas fracción PM_{10} en la ciudad de San Francisco de Campeche. Mediante Espectroscopia Pixe”.

Gurjar, B., Butler, T., Lawrence, M., Lelieveld, J. (2008). Evaluation of emissions and air quality in Megacities. Atmos. Environ. 42(7), 1593-1606.

INE, SEMARNAT. (2011). Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009). México.

Muriel-García, M. M.; Céron-Bretón, R. M. and Bretón-Cerón, J. G. (2016). Air Pollution in the Gulf of Mexico. Scientific Research Publishing. Pp. 33-44.

Miss M. (2008). "Caracterización de hidrocarburos alifáticos y análisis de la variación espacio-temporal de partículas atmosféricas en la ciudad de San Francisco de Campeche. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Campeche. San Francisco de Campeche, México.

NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación. SEGOB 2014.

OMS, (2005). Organización Mundial de la Salud. Calidad de aire y Salud. Consultado el 22/10/2021. Disponible en: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1993). Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993. Métodos de Medición para Determinar la Concentración de Partículas Suspendidas Totales en el Aire Ambiente y los Procedimientos para la Calibración de los Equipos de Medición.

Pope III, C. A., et al. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fineparticulate air pollution. JAMA, 287(9), 1132-1141.

Roja Leonora y Garibay Verónica. (2003). Las partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles: ¿hacen daño a la salud?; ¿podemos hacer algo?, pág. 30 y 31.

Reyes, J.; Corvo, F.; Espinosa-Morales, Y.; Pérez, T.; Valdés, C.; Aguilar, D. y Quintana, P. (2011). Influence of Air Pollution on Degradation of Historic Buildings at the Urban Tropical Atmosphere of San Francisco de Campeche City, México. InTech, Chapters published. pp. 209-2011.

Samoli, E., Peng, R., Ramsay, T., Pipikou, M., Touloumi, G., Dominici, F., Burnett, R., Cohen, A., Krewski, D., Samet, J., Katsouyanni, K. (2008). Acute effects of ambient particulate matter on mortality in europe and north america: Results from the aphena study. Environ. Health Perspect. 116(11), 1480–1486.

Spurny, K. R. (1999). Analytical Chemistry of Aerosols: Science and Technology. Boca Raton, Florida. USA. Lewis Publishers.

WHO. (2003). Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Ginebra: World Health Organization.

Wichmann, E. y A. Peters. (2000). «Epidemiological Evidence on the Effects of Ultrafine Particle Exposure», en Phil. T. Roy. Soc., (358): pp. 2751-2769.

Zeng Q.,G. Li., L. Zhao., G. Jiang., & X. Pan. (2015). Characteristics of the Exposure-Response Relationship of Particulate Matter and Mortality. A time series analysis of 7 cities in China. J. Occup. Environ. Med. Vol. 57. 10. 90-100.

Diseño y construcción un sistema de recirculación acuapónico para casa-habitación "Water Fish"

MaríaElenaAlvarado Diaz[1],Beatriz González Gutiérrez[2] y Jacobo MarcosAllende Peña[3]

[1]Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, *e-mail*: alvaradodiazelena@gmail.com
[2]Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, *e-mail*:beatriz.gonzalez@test.edu.mx
[3]Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, *e-mail*:jacobmarcoap@gmail.com

Palabras clave: acuaponía, construcción, diseño, hidroponía, producción limpia

Línea de investigación: Ingeniería Ambiental

Resumen

La acuaponía es la combinación de la hidroponía y de la acuicultura. La producción limpia permite que los desechos de organismos acuáticos (peces, tortugas, anfibios, etc.) se utilicen como fertilizantes naturales,donde las bacterias realizan una transformación de amoniaco (tóxico para la mayoría de los organismos) a nitratos, que son absorbidos por las plantas para su crecimiento. De esta forma el sistema de recirculación permite que el agua se ocupe de forma óptima y favorece un sistema de producción libre de contaminantes.

Se diseño y construyo un sistema de recirculación acuapónico que permita ahorrar agua, producir alimentos y plantas a través de fertilizantes naturales, teniendo así la obtención de productos orgánicos (albahaca, fresa y perejil), además del cuidado y la reproducción del pez tilapia adaptado a casa habitación.

Abstract

Aquaponics is the combination of hydroponics and aquaculture.Clean production allows waste from aquatic organisms (fish, turtles, amphibians, etc.) to be used as natural fertilizers, where bacteria carry out a transformation from ammonia (toxic to most organisms) to nitrates which are absorbed by plants for their growth.In this way, the recirculation system allows the water to be used optimally and favors a production system free of contaminants.

An aquaponic recirculation system was designed and built that allows to save water, produce food and plants through natural fertilizers, thus obtaining organic products (basil, strawberry and parsley), in addition to the care and reproduction of tilapia fish adapted to house room.

INTRODUCCIÓN

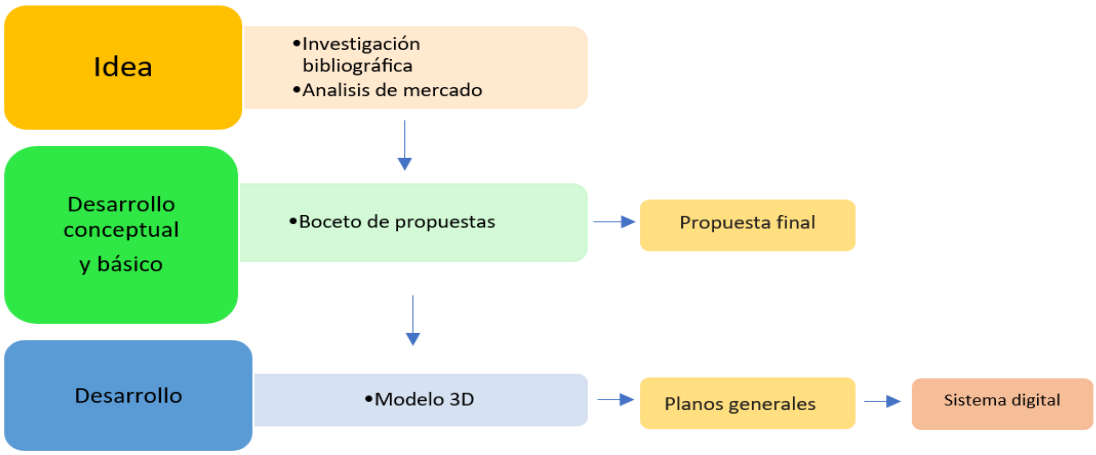
La generación constante de alimento debido al incremento poblacional mundial (FAO, 2015) presenta a la acuicultura como la fuente de alimento con mayor incremento en los últimos años, sin embargo, a medida que pasa el tiempo son cada vez más escasos los recursos físicos como agua, tierra y energía para la producción de alimento, por tal razón los sistemas de producción de alimentos sostenibles están tomando cada vez más importancia a nivel mundial.
La acuaponía constituye una integración entre un cultivo de peces y de plantas. Estos se unen en un único sistema de recirculación, en el cual se juntan, el componente acuícola y el componente hidropónico. En este sistema, los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimento, son utilizados por los vegetales y transformados en materia orgánica vegetal. De esta forma se genera un producto de valor a través de un subproducto desechable, con la ventaja de que, el agua libre ya de nutrientes, queda disponible para ser reutilizada. Gracias a esto, los sistemas acuapónicos trabajan sobre dos puntos de gran interés en producción, rentabilidad y tratamiento de desechos Estos sistemas ofrecen una serie de ventajas sobre aquellos sistemas de recirculación en los que solo se producen peces. Los desechos metabólicos disueltos en el agua son absorbidos por las plantas, reduciendo así la tasa de recambio de agua diario y su descarte hacia el ambiente; mientras que en el sistema de recirculación tradicional se trabaja con un recambio de agua del 5 al 10 % diario para evitar la acumulación de desechos metabólicos. En el acuapónico, por el contrario, la mayoría trabaja solo con un 1,5 % de recambio de agua diario o menos (Rakocy, J. E. et.al., 2006).

Uno de los sistemas que cumplen estas premisas son los sistemas acuapónicos, los cuales son la integración multigráfica de tres biosistemas “peces, plantas y bacterias” que se encuentran en beneficio mutuo a través de un sistema de recirculación de agua (Diver y Rinehart, 2010).Esto se traduce en menores costos operativos del sistema y sumado a ello, los sistemas acuapónicos tienen una segunda producción de plantas, aumentando así, la rentabilidad productiva (LozanoeIsrael2015).
La utilización de un sistema acuapónico de manera casera o doméstica, es una excelente opción cuando se pretende tener un aporte de alimento auto-producido. En Australia, los sistemas acuapónicos domésticos de baja escala son muy utilizados (Diver, 2010) y es común encontrar sistemas configurados para funcionar en espacios reducidos de aproximadamente dos metros cuadrados. Estos sistemas domésticos en general, son diseñados para no utilizar gran mano de obra, no requiriendo entonces, de mucho tiempo para su manejo. Otra posibilidad que presentan estos sistemas domésticos, es su uso con fines ornamentales, ya que un simple acuario, puede sencillamente utilizarse para crear un sistema acuapónico, mediante la adición de un componentehidropónico.

DESARROLLO

Para el desarrollo del proyecto se empleó la metodología integradora utilizada por Martínez (2019), esta permite la participación de distintos enfoques sobre el producto (entorno de mercado, usuarios, diseñador, dicha metodología se ajustó como se muestra en la figura 1 y se aplicó dibujo asistido por computadora(CAD) y SolidWorks.

Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología adaptada al caso de estudio.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Primero se genera una idea del sistema de acuapónico en base a la investigación bibliográfica y al análisis de mercado, después se hace el boceto del sistema, una vez terminado se hace la propuesta final y es modelado en 3D y se realiza los planos y el sistema de recirculación acuapónico digital.

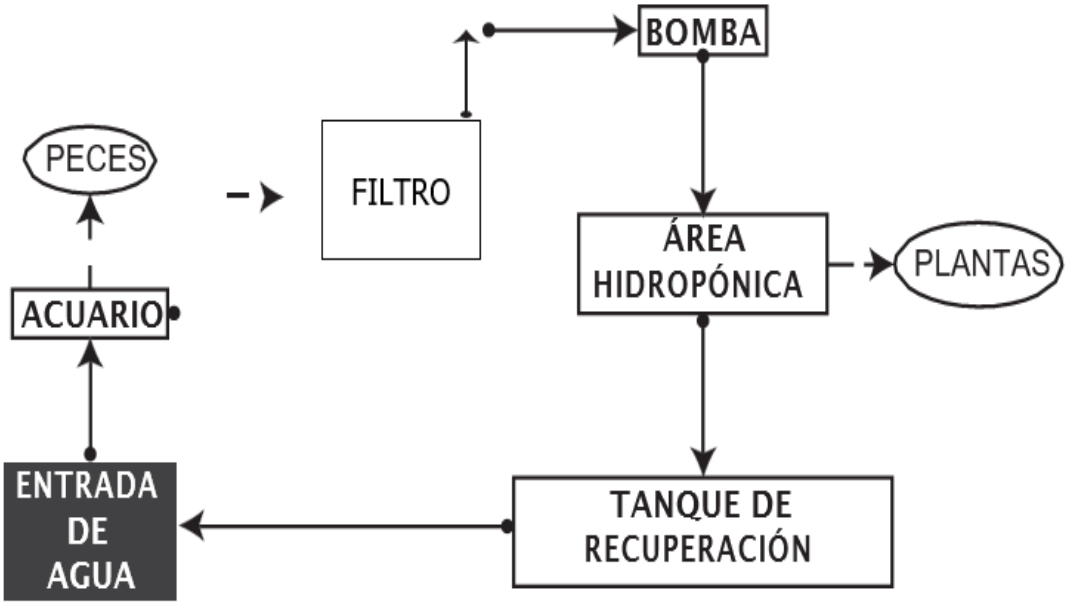
OBJETO DE ESTUDIO

Diseñar y construir un sistema de recirculación acuapónico

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño del Sistema de recirculación acuapónico adaptado a una casa-habitación "WATHER FISH" se realizó teniendo en cuenta los elementosdelfuncionamientodeunsistemaacuapónico según Martínez (2019): tiene un acuario donde viven los peces, un el tanque de recuperación, un área de acuaponía donde están las plantas, una bomba y un filtro siguiendo el patrón general (figura 2), esto permite su correcto funcionamiento.

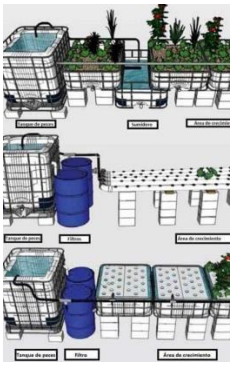
***Figura 2** Elementosdelfuncionamientodeunsistemaacuapónico*



Fuente:Martínez (2019)

También se realizó un análisis de las características de otros sistemas acuapónicos como se muestra en la Tabla1, donde se observan 5 productos acuapónicos con cinco diseños acuapónicos donde se compara el tipo de sistema (jardines, sistemas y ecosistemas), la técnica utilizada para el cultivo (sustrato y raíz flotante), la capacidad de los tanques para los peces (40 a1000 litros), la irrigación (manual o TIMER) y la iluminación (si tiene y no tiene).

Tabla 1. Análisis de productos acuapónicos

Marca	Producto	Tipodesistema	Técnicade Cultivo	Capacidad	Irrigación	Luzartificial
Paivert		Jardínacuapónico	Sustratoypanel vertical	1.0 m^2vegetal y 90lts. de aguas	Activación manual	No
FAO		Sistemaacuapónico	Sustratoyraízflotante	1.5kgdepescado y 1000lts.deagua	Mediante TIMER	No
Grove		Sistemaacuapónico	Sustrato		Mediante TIMER	Si
Malthus		Sistemaacuapónico	Sustrato	2kgdepescado y 40lts.deagua	Mediante TIMER	Si
RiverPlantAquarium		Ecosistema	Sustrato	300lts de aguas	Activación manual	Si

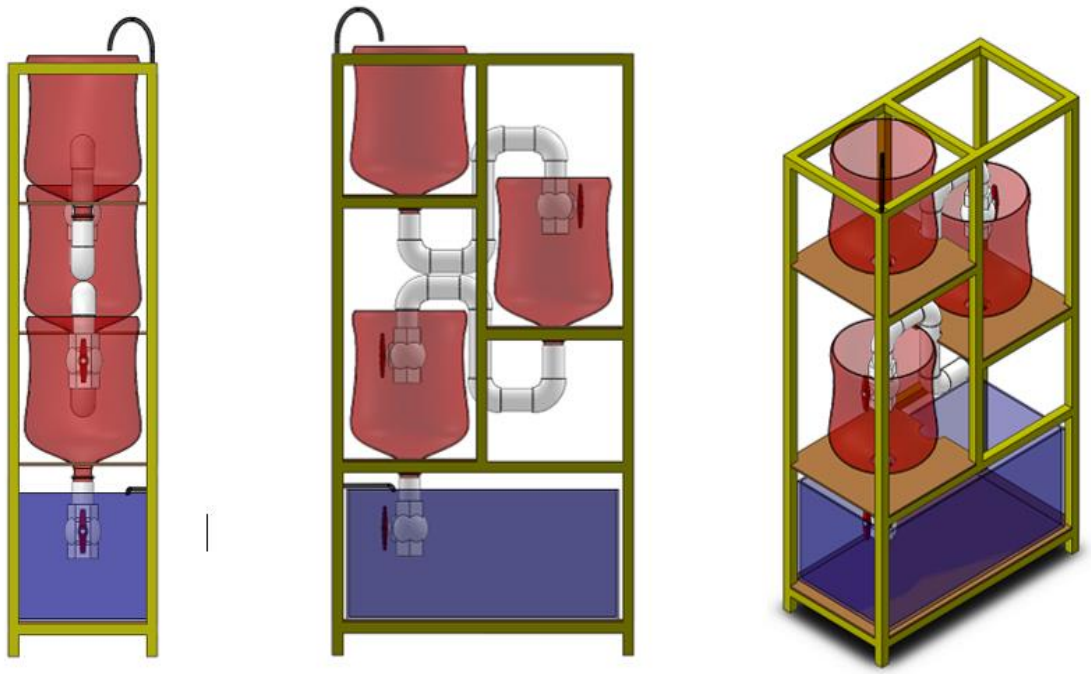
Fuente: Gómez (2019)

Una vez realizado el análisis de los sistemas y la investigación bibliográfica se establecieron los siguientes parámetros para la construcción del sistema recirculación acuapónico

- Tamaño (compacto)
- Estética
- Espacio para producción de plantas
- Espacio para producción de peces
- Sea amigable con el medio ambiente (uso de material reciclable)

En la Figura 3, se muestra la vista lateral, frontal y diagonal del diseño del prototipo del sistema recirculación acuapónico (SRA) en versión 3D realizado en SolidWorks, el SRA, está divido en cuatro niveles soportada por una estructura de herrería: en el primer nivel está ubicada la pecera donde se alojarán los peces y en los niveles restantes se acomodaron tres garrafones que sirven como recipientes para los sustratosde siembra de las plantas con las conexiones y tuberías correspondientes.

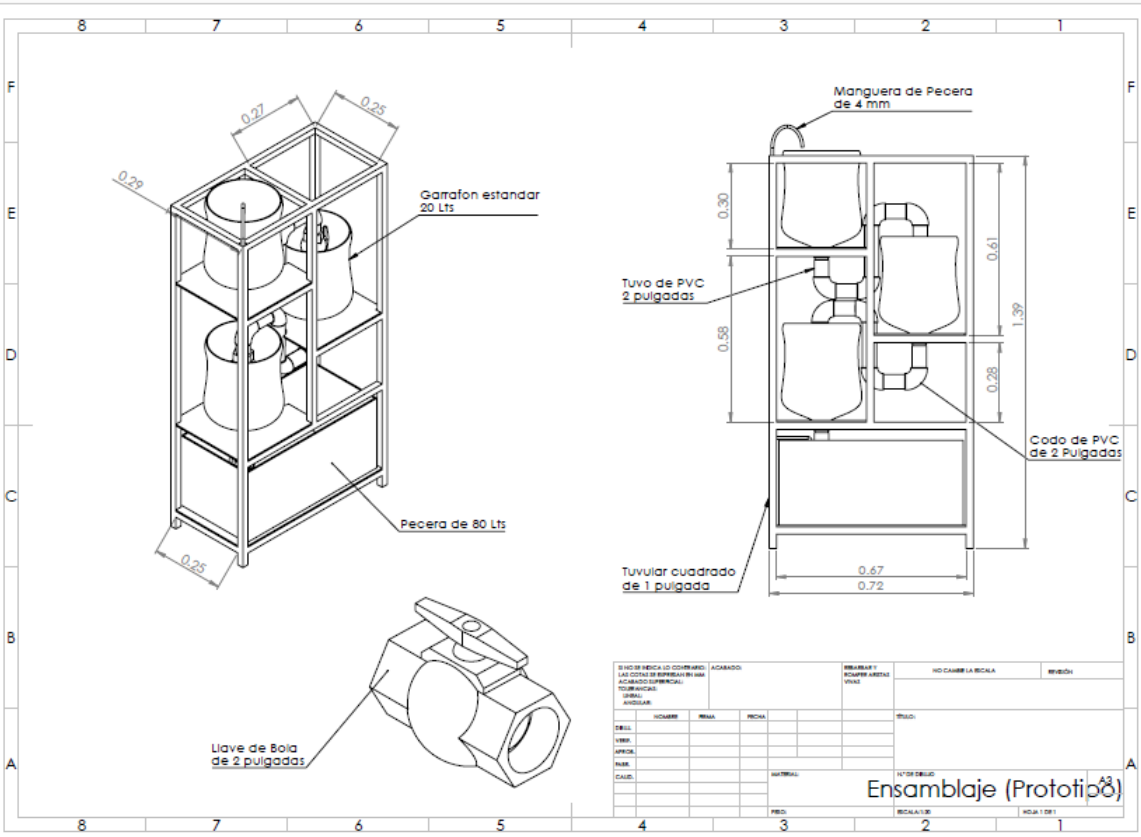
Figura 3. Modelo 3D, Vista lateral, frontal y diagonal en SolidWorks



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4, se muestra el diseño con dimensiones elaborado en CAT, tiene de largo de 72cm con ancho de 25 cm altura de 140 cm, tiene tres recipientes con una capacidad de 20 litros para sustrato donde se colocarán las plantas con un flujo descendente que llega a una pecera de 80 litros que en este caso fungirá como tanquede recuperación y acuario para los peces.

Figura 4: Planos del sistema de recirculación acuapónico



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5 se muestran los trasplantes de albahaca, fresa y perejil al sistema de recirculación acuapónico en los recipientes de 20 litros con el sustrato y en la figura 6 se muestra el sistema de recirculación acuapónico completo.

Figura 5: Trasplante de albahaca, fresa y perejil

Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Sistema de Recirculación Acuapónico final, incluye plantas y peces.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Al final de esta investigación, se cumplió con el objetivo general diseñar, construir un sistema de recirculación acuapónico adaptado a espacios domésticos, modelo compacto para la producción orgánica de plantas y peces de bajo costo, de fácil mantenimiento y amigable con el ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Diver, S., Rinehart, L. (2010). Integration of Hydroponics with Aquaculture, ATTRA National sustainable agriculture information service butte,Montana. . Elsaiver, 1,30–37.

- FAO. (2015). El estadomundial de la agricultura y la alimentación. ISSN 0251-1371 Rakocy, J., Ba.
- Gutierrez Muñoz Mario Estaban. (2012). Sistemas de recirculaciónacuapónicos. Informe Técnico (Colombia) Edición 76, Enero - Diciembre 2012, 123 – 129.
- Lozano, C., Israel, A., (2015). Estudio de factibilidad para elmontaje de un sistema de cultivosacuapónicosen la isla de providencia y sta. Catalina – san Andrés Colombia. Universidad de Cartagena.
- Martínez Cruz Noemi. (2019). “Diseño de sistema acuapónico prefabricado, combinando áreas de cultivo vertical y horizontal”, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapan de León, Oaxaca.
- Rakocy, J. E., Losordo, T. M., &Masser, M. P. (2006). Recirculatingaquaculturetankproductionsystems: integratingfish and plant culture. SRAC publication, 454, 1-16.

Plataforma Web para la Administración de los Sistemas de Gestión Integral de Educación Superior

Chávez Cruz Adrián [1], Cristales Bonilla Saulo Gregorio [2], Reyes López Rubén Omar [3], Ramírez Sabino Ana Isabel [4],

[1] *Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, e-mail: achavez@iteshu.edu.mx*
[2] *Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, e-mail: sgcristales@iteshu.edu.mx*
[3] *Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, e-mail:roreyes@iteshu.edu.mx*
[4] *Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, e-mail: airamirez@iteshu.edu.mx*

Línea de investigación: Software.

Resumen

El tener implementadas normas y estándares que permitan a las instituciones ofrecer la mayor calidad posible es casi indispensable en estas, sin embargo, la gestión de estas puede llegar a complicarse, es ahí donde entran los sistemas de gestión integrados los cuales pueden ser administrados de manera mucho más sencilla gracias a las herramientas digitales.

La calidad puede definirse como el conjunto de características que posee un producto o servicio, así como su capacidad de satisfacción de los requerimientos del usuario. Ahora bien, la correcta gestión de todos los aspectos relacionados con la calidad supone la planificación, diseño y desarrollo de productos y procesos en el marco de una organización y gestión de los recursos humanos para la calidad, así como la adecuada implantación y control de calidad y su certificación final [1].

La gestión integral permite que todas las piezas del engranaje de una empresa funcionen bien coordinadas entre sí. En este sentido, es importante tener en cuenta que las compañías manejan cada día mucha información relativa tanto a los procesos internos de negocio como a las tendencias del mercado y al comportamiento de los consumidores [3].

Es por eso que el presente proyecto estuvo enfocado en el desarrollo de una plataforma web que permita la administración del Sistema de gestión integral de instituciones de educación superior para poder administrar los SGI que estas instituciones tienen, y así lograr mayor eficacia en los procesos de la gestión y administración de los recursos y documentación, y después de algunos meses de trabajo es grato hacer mención que la plataforma ha sido desarrollada de manera exitosa que actualmente esta disponible para implementarse y que ya se encuentra en uso en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, y aunque aún es pronto para ver resultados de dicha implementación se espera que el personal administrativo y de otras áreas que hacen uso de este sistema noten una mejoría en la eficiencia de sus actividades. .

Palabras clave: gestión integral, plataforma, sistema

.

Abstract

Having implemented norms and standards that allow institutions to offer the highest possible quality is almost indispensable in these, however, the management of these can become complicated, that is where integrated management systems come in which can be managed much more easily thanks to digital tools.

Quality can be defined as the set of characteristics that a product or service has, as well as its ability to satisfy the user's requirements. However, the correct management of all aspects related to quality involves the planning, design and development of products and processes within the framework of an organization and management of human resources for quality, as well as the adequate implementation and quality control and its final certification.

Comprehensive management allows all the pieces of a company's gear to work well coordinated with each other. In this sense, it is important to bear in mind that companies handle a lot of information every day related to both internal business processes and market trends and consumer behavior.
That is why this project was focused on the development of a web platform that allows the administration of the comprehensive management system of higher education institutions to be able to manage the SGI that these institutions have, and thus achieve greater efficiency in the processes of the management and administration of resources and documentation, and after a few months of work it is gratifying to mention that the platform has been successfully developed and is currently available for implementation and is already in use at the “Instituto Tecnológico Superior de Huichapan”, and although it is still too early to see results of said implementation, it is expected that the administrative staff and other areas that make use of this system will notice an improvement in the efficiency of their activities.

Keywords: integral management, platform, system

INTRODUCCIÓN

Para empezar, es importante definir que es un sistema de gestión, básicamente consiste en un conjunto integrado de procesos y herramientas que utiliza una organización. Para desarrollar su estrategia, traducirla en acciones operacionales, monitoreando y mejorando la eficacia [18].

Ahora bien, no existe empresa o institución pública que no esté involucrada directa o indirectamente con las normas ISO, de hecho, la gran mayoría de instituciones de educación superior se comprometen a proporcionar un servicio educativo de calidad que satisfaga a sus partes interesadas, con responsabilidad social, salud y seguridad en el trabajo, en armonía con el medio ambiente con enfoque en la mejora continua. Lo anterior con base en el marco de referencia de las normas ISO, requisitos legales y normativos aplicables [2]. Cabe mencionar que el establecimiento de las Normas de Calidad, Normas ambiental y de Seguridad en una organización puede contribuir a que una empresa u organización funcione de una manera más eficiente y eficaz, puesto que la información y documentación se facilita a todos los integrantes de la entidad, haciendo que la empresa camine en la busca del cumplimento de sus objetivos.

Sin embargo, aun con las mejores intenciones la proliferación de estos modelos de gestión puede conducir a que las entidades malgasten recursos y esfuerzos encaminados hacia cada modelo en particular y a que cierta falta de orden en las ideas se apodere de la organización, en cuanto no se homologuen los términos y definiciones que cada modelo utiliza, no siempre en la misma vía [4]. Por esta razón y para facilitar la gestión por un solo equipo es que un buen sistema de gestión integral (SGI) es imprescindible para abordar todas las exigencias normativas llevadas a cabo dentro de cada institución dedicada a impartir servicios educativos de nivel superior.

Dichas normas antes mencionadas están estrechamente relacionadas con un SGI, puesto que se puede definir como el conjunto de actividades que interrelacionadas y a través de acciones específicas, permiten definir e implementar los lineamientos generales y de operación de la Institución, con el fin de alcanzar los objetivos de acuerdo a estándares adoptados. El conjunto de actividades que se interrelacionan es lo que se conoce como la gestión por procesos, los lineamientos generales están constituidos por la políticas y directrices que gobiernan esta gestión [6]. Un sistema de gestión integrado trata de ver a la organización como un solo sistema, representado en el modelo de procesos, asegurando que en cada proceso se dé una respuesta eficaz a los requisitos aplicables de cada uno de los modelos de gestión [4].

Para proponer un sistema de gestión integral es necesario reconocer primero que la gestión de la organización es una sola pues obedece a una sola unidad de propósito que es la visión de la institución (en este caso las instituciones de educación de nivel superior), así mismo debe de obedecer una sola naturaleza, la misión de la institución. La adopción de un SGI suele traer consigo un buen número de beneficios por ejemplo para una institución educativa, los estudiantes pueden tener la seguridad de que dicha institución cuenta con una infraestructura física dispuesta para experimentar y aprender, tecnologías que posibiliten su proceso formativo, así como una comunidad educativa saludable y segura. Por otro lado, el personal de dicha institución puede estar seguro de que contará con las condiciones de trabajo saludables y seguras, las herramientas que faciliten la gestión del día a día y coherencia en las cargas laborales y el perfil del cargo que ocupa [4].

El proyecto elaborado permitirá al publico en general que entre en la plataforma visualizar las normas ISO y estándares seguidos por la institución, así como consultar a detalle dichas normas, por otro lado para el personal de la institución (tendrá que iniciar sesión previamente), podrá tener a disposición todos esta documentación, pero tendrá más formas de acceso, demás de poder realizar modificaciones de estos o bien usar formularios para llenarlos de manera automática, así como la posibilidad de revisar las distintas versiones de formatos, protocolos y normas de la institución, al ser una plataforma en línea

el personal podrá trabajar desde cualquier equipo, cualquier lugar y cualquier hora pues estará disponible en todo momento, con la automatización de estos procesos se espera un mejor rendimiento en el personal del ITESHU y un aumento de calidad en algunos sectores de dicha institución.

OBJETO DE ESTUDIO

Con el desarrollo de la plataforma de administración del sistema gestor integral, la instituciones se verán beneficiadas puesto que la calidad de los procesos también debe mejorar, a su vez que los errores y fallos que surjan dentro de los procesos ser mínimos, por consiguiente, permite, brindar un mejor servicio educativo y continuar con el cumplimiento de los estándares de calidad aplicados en la institución, no sólo en el ámbito educativo, también en el social, salud y ambiental, pues las distintas normas ISO de la institución cubren todos estos ámbitos.

METODOLOGÍA

Se planea desarrollar el proyecto con la metodología Scrumban, la cual se describe de manera breve a continuación. Scrumban es una metodología de gestión Ágil, que es un híbrido entre Scrum y Kanban. El nombre Scrumban viene como una combinación de [Scrum + (Kan) ban]. Scrumban fue desarrollado para facilitar a los equipos existentes de Scrum la transición a Kanban y explorar metodologías Lean que buscan optimizar recursos para crear valor para el cliente. Scrumban combina la estructura de Scrum con los métodos basados en flujo y la visualización de Kanban. Permite a los equipos tener la agilidad de Scrum y la simplicidad de Kanban sin requerir actualizaciones de roles y es fácil de adoptar.

En Scrumban, el trabajo en equipo se organiza en pequeñas iteraciones y se monitorea con la ayuda de un tablero visual. Las reuniones de Planificación bajo demanda se llevan a cabo cuando es necesario determinar qué Historias de usuarios y tareas se completarán en la próxima iteración. Para mantener las iteraciones cortas, se utiliza el límite de trabajo en progreso (WIP/ Work in Progress for sus siglas en inglés). Cuando WIP cae por debajo de un nivel predeterminado, se establece un activador de planificación bajo demanda para que el equipo sepa cuándo planificar a continuación.

Iteración: Las iteraciones de trabajo en Scrumban se mantienen cortas. Esto garantiza que un equipo pueda adaptarse a un entorno que cambia rápidamente. La duración de las iteraciones se mide en semanas y la duración ideal de una iteración depende del proceso de trabajo y de la industria. Como regla general, se recomienda no tener iteraciones que excedan las dos semanas.

Planificación del trabajo bajo demanda: La planificación en Scrumban se basa en la demanda y se produce sólo cuando se activa el activador de planificación. El desencadenante de planificación está asociado con la cantidad de tareas que quedan en la sección "Tareas pendientes" del tablero. Cuando cae por debajo de cierto número, se realiza el evento de planificación. Las tareas planificadas para la próxima iteración se agregan a la sección "Tareas pendientes" del tablero.

Priorización: Se recomienda priorizar las tareas durante el evento de planificación. La priorización se puede hacer agregando números a las tareas u ordenando tareas por prioridad en la columna, donde las tareas más importantes se colocan en la parte superior, y las tareas menos importantes a continuación.

La planificación por segmentos de tiempo ofrece la posibilidad de una planificación a largo plazo para Scrumban. Se basa en el sistema de tres segmentos de tiempo por los que deben pasar los elementos de trabajo antes de llegar al tablero Scrumban. Los tres grupos representan tres etapas diferentes del plan y generalmente se denominan grupo de 1 año, grupo de 6 meses y grupo de 3 meses.

El tablero: El tablero básico de Scrumban se compone de tres columnas: Tareas pendientes, En Proceso y Listo. Después de la Reunión de Planificación, las tareas se agregan a la columna Tareas pendientes, cuando un miembro del equipo está listo para trabajar en una tarea, la mueve a la columna En Proceso y cuando la completa, la mueve a la columna Listo.

El equipo: Scrumban no requiere ningún número específico de miembros del equipo o roles de equipo. Los roles que tiene un equipo antes de adoptar Scrumban se mantienen cuando se utiliza Scrumban. Las tareas no están asignadas. Los miembros del equipo eligen las tareas para completar desde el tablero Scrumban.

El principio de elección: En Scrumban, las tareas no son asignadas a los miembros del equipo por un líder de equipo o Gerente de Proyecto. Cada miembro del equipo elige solo qué tarea de la sección “Tareas Pendientes” va a completar a continuación.

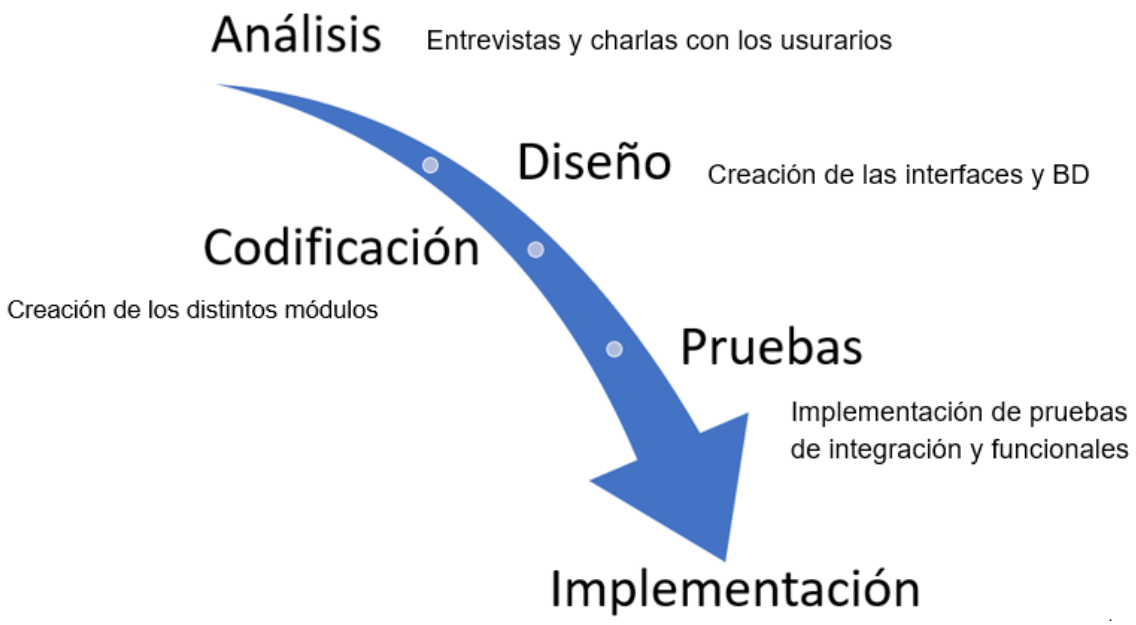
Congelación de funciones: La congelación de funciones se utiliza en Scrumban cuando se acerca la fecha límite del proyecto. Significa que solo se pueden trabajar en las características que el equipo ya ha programado para el desarrollo y no se pueden agregar características adicionales.

Triaje: El triaje generalmente ocurre justo después de la congelación de características con una fecha límite de proyecto próxima. El gerente del proyecto decide cuáles de las características en desarrollo se completarán y cuáles quedarán sin terminar [17].

FASES DEL DESARROLLO

En la figura 5 se hace mención de las fases de desarrollo, las cuales son incluidas en la mayoría de metodologías para el desarrollo usadas en la actualidad.

Figura 1.



Fases de desarrollo; elaboración propia

Como se puede ver en la figura el desarrollo del proyecto se realizaron 5 fases, a continuación se describen dichas fases: primeramente se realizó el análisis de requerimientos, donde se recabaron requisitos haciendo uso de distintas técnicas como lo son charlas y entrevistas con los usuarios del sistema de gestión dentro de la institución (desde algunos docentes, hasta personal de administración), posteriormente se comenzó con el diseño del software, entre los elementos elaborados en esta fase se encuentran las Interfaces gráficas y la base de datos, la parte más ardua posiblemente fue la codificación, donde el equipo se encargó de elaborar el código de los diversos módulos y construir el software como tal, casi a la par se realizaron las pruebas con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del software finalmente se llevó a cabo la implementación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

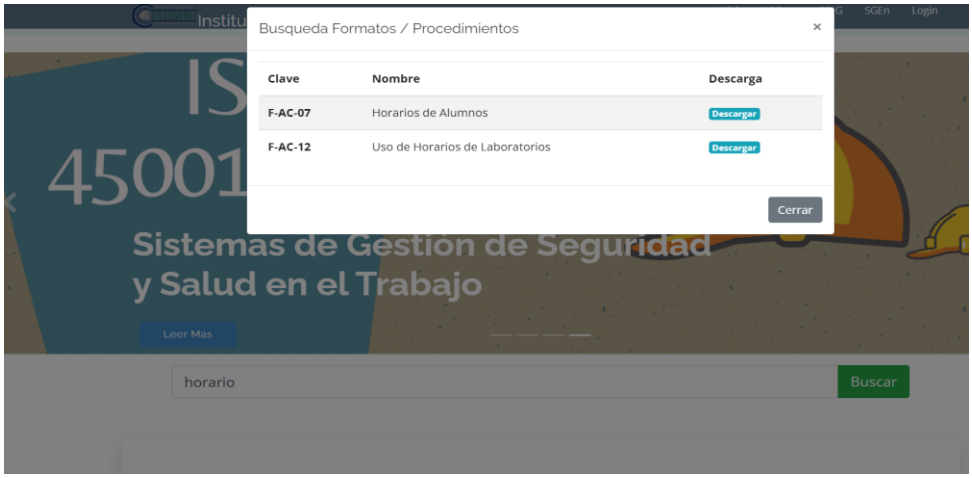
Después de algunos meses el proceso de desarrollo con todas sus fases se concluyó de manera satisfactoria, y el software fue implementado en la universidad donde fue desarrollado (Instituto tecnológico Superior de Huichapan), la plataforma actualmente se encuentra en funcionamiento, aunque solo han pasado algunos meses, se espera que a final el semestre el personal ya trabaje con este sistema de manera más nativa por decirlo de alguna manera y en el próximo semestre (enero-julio 2022) se vean resultados en la calidad y eficiencia de los servicios prestados por el ITESHU.

Sin embargo, la implementación de este software claramente es algo que ayuda a la institución, pues el contar con este sistema que ayude en el proceso de la gestión integral con las funciones presentadas (como lo son la integración con Google Docs), lo cual permite que varios usuarios trabajen online en un mismo formato o protocolo, el hecho de que no se tenga que descargar este tipo de archivos si no que se trabaje en la nube junto con otras funcionalidades mejoran la eficiencia en las instituciones, y esta mejora permite que la institución brinde mejores servicios, educativos al estar comprometida con los distintos sectores como sociales, médicos, sociales o ambientales lo que a su vez permite que miles de alumnos puedan gozar de una educación de calidad

Otra parte de resultados (puesto que la primera son los alumnos y personal docente del ITESHU), y que es mucho más comprobable es el software desarrollado, por lo cual a continuación, se muestran algunas de las principales pantallas del sistema desarrollado, ya implementado y en funcionamiento.
Figura 2.

Pantalla de inicio del SGI

Desde dicha pantalla (figura 2) se puede acceder de manera directa a algunos de las principales ISO manejadas en la institución, así como realizar la búsqueda por nombre o clave de cualquier procedimiento o formato que se maneje dentro de la institución.
Figura 3.



Pantalla de búsqueda del SGI

Al realizar la búsqueda se muestran todos los formatos que coincidan con el parámetro introducido (nombre o clave) y dando acceso a su descarga.
Figura 4.

Pantalla de login del SGI

Se muestra la pantalla para ingresar como administrador (usuarios previamente registrados), al ser administrador se tienen permisos y funciones especiales.
Figura 5.

Tabla académica de página ISO 9001:2015

Se muestran los archivos correspondientes a la tabla de académico los cuales cuentan con una opción para descargar (se descargan en formato PDF).
Figura 6.

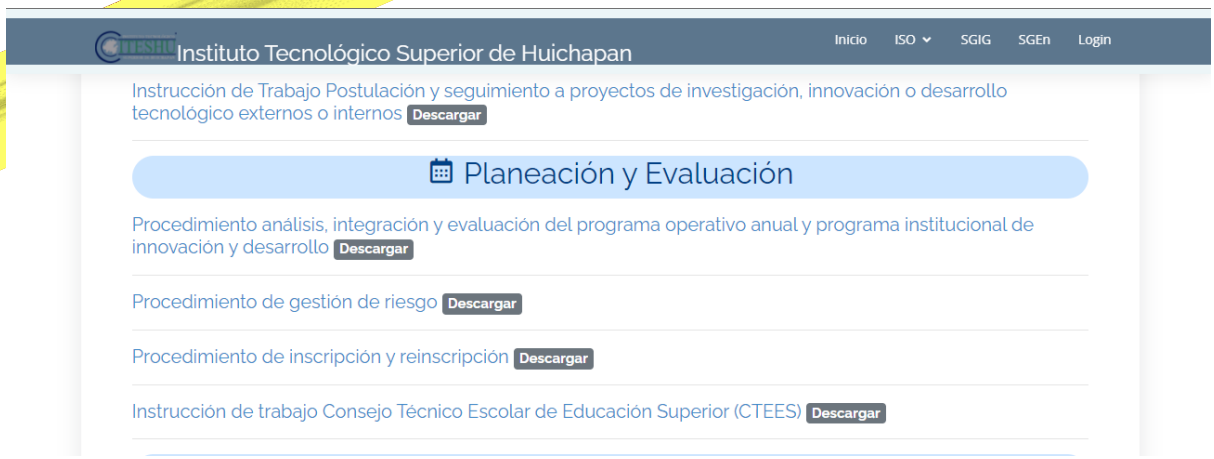


Tabla Planeación y evaluación de página ISO 9001:2015

Se muestran los archivos correspondientes a la tabla Planeación y evaluación los cuales cuentan con una opción para descargar (se descargan en formato PDF).

Figura 7.

Tabla Administración y Finanzas de página ISO 9001:2015

Se muestran los archivos correspondientes a la tabla Administración y Finanzas los cuales cuentan con una opción para descargar (se descargan en formato PDF).

Figura 8.

Tabla Vinculación y Extensión de página ISO 9001:2015

Se muestran los archivos correspondientes a la tabla Vinculación y Extensión los cuales cuentan con una opción para descargar (se descargan en formato PDF)

Figura 9.

Tabla Calidad de página ISO 9001:2015

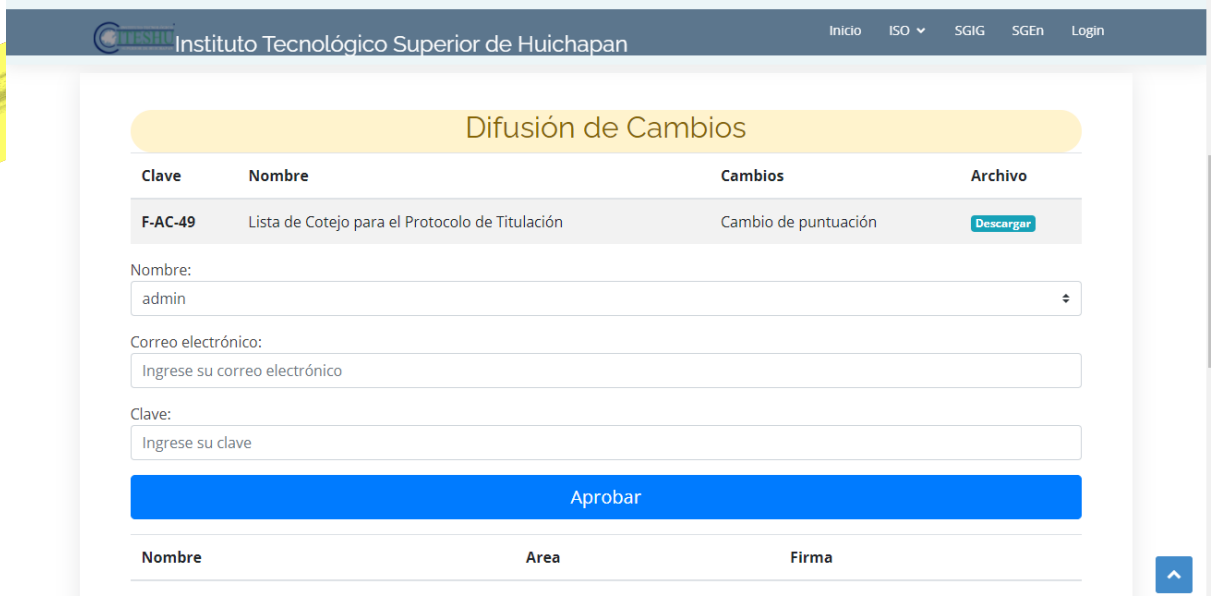
Se muestran los archivos correspondientes a la tabla Calidad los cuales cuentan con una opción para descargar (se descargan en formato PDF).
Figura 10.

Sección de selección de normas ISO

Se muestran las secciones de ISO disponibles con los que cuenta el instituto, al dar clic se mostrará la página correspondiente las cuales nos mostraran los archivos disponibles.
Figura 11.

Pantalla de registros de cambios y URL de difusión

Se muestran todos los registros de cambios que existen hasta el momento con su respectiva clave, nombre, descripción del cambio, URL, estatus, observaciones y la opción de eliminar. Así mismo se muestra el URL de la difusión posteriormente creada. Cuanta con tres opciones, la primera es crear una nueva difusión, la segunda es registrar un cambio y la última es enviar a revisión.
Figura 12.



Pantalla de difusión de cambios

En esta sección se entrará con el link de la difusión y se aprobará los cambios realizados a cada uno de los documentos a los cuales se les solicito un cambio, se agregará el nombre de la persona que lo aprobará, su correo y su clave.

CONCLUSIÓN

Ahora bien, como resultado la plataforma permitirá administrar y continuar con la implementación de distintos estándares y normativas como fue planteado de un inicio, además de permitir al personal de la institución realizar diversas tareas de manera más sencilla y rápida, añadir diversos documentos, formatos y procedimientos sin la necesidad de usar herramientas ajenas a la plataforma y consultar diversos manuales de gestión. Presentadas todas estás mejoras es claro que el ITESHU verá mejoras en cuanto las actividades de control, monitoreo de la eficiencia, así como en las relacionadas con la mejora continua.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Arbós, L. C., & Babón, J. G. (2017). Gestión integral de la calidad: implantación, control y certificación. Profit editorial.
[2] Barley, S., & Kunda, G. (1992). Estructura y diseño Vs. lealtad y sentimiento: oleadas de ideologías racionales y normativas de control en el discurso gerencial. Tecnología administrativa, 9(20), 135-192.
[3] Campillo Torres, I. (2010). Sistema de gestión integral de documentos de archivo para empresas de la construcción del territorio de Camagüey.
[4] Civit, R. A., & Sieber, S. (1999). La gestión integral del conocimiento y del aprendizaje. Economía industrial, (326), 63-72
[5] Escobar-Rivera, D., Moreno-Pino, M. R., & Cuevas-Rodríguez, L. (2016). La calidad de la auditoría en Sistemas de Gestión. Software AUDIT_INTEGRATED. Ciencias Holguín, 22(2), 1-18.
[6] García Pantigozo, Manuel; Quispe Atúncar, Carlos; Ráez Guevara, Luis (1999). «Sistemas integrados de gestión (SIG)». Industrial Data 2 (2): 52-58.
[7] Gareth Morgan, Imágenes de la organización, México, Alfaomega, 1996, p. 8
[8] Hurtado, F. A. A., Velez, R. E. B., & de los Rios, J. A. V. (2008). Sistema de gestión integral. Una sola gestión, un solo equipo. Universidad de Antioquia.
[9] ISO, consultado el día 13 de enero de 2021 del sitio: https://www.iso.org/about-us.html
[10] ISOTools Excellence consultado el dia 12 de enero de 2021 del sitio: https://www.isotools.org/normas/sistemas-integrados/
[11] ITESHU consultado el día 11 de enero de 2021 del sitio: https://iteshu.edu.mx/iteshu/content/identidad/identidad.php
[12] Joseph O'Connor. Introducción al pensamiento sistemático, Madrid, Urano, 1998 p. 27

[13] Katan Software, consultado el día 17 de enero de 2021 del sitio: https://www.kantansoftware.com/blog/que-debo-buscar-en-una-plataforma-software-de-gestion-de-calidad/
[14] Ludwing con Bertalanfyy, Teoría general de los sistemas, México, Fondo de cultura económica 1995, p. 32
[15] Miranda Beltrán, S. (2016). La gestión directiva: un concepto construido desde las comprensiones de los directivos docentes de las escuelas públicas bogotanas. RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, 7(13), 562-589.
[16] Oscar Johansen Bertoglio. Introducción a la teoría general de sistemas Mexico, Limusa, 2005, p. 54.
[17] Salvay, J. (2017). Kanban y Scrumban orientados a Proyectos de Tecnología de la Información
[18] SI, S. (2008). Sistema de Gestión. Harvard Business Review
[19] Sotomayor, R. (2017). Implementación de un sistema web para mejorar el proceso de gestión académica en las escuelas de la PNP.
[20] Universidad Surcolombiana Norma técnica de calidad en la gestión pública NTCGP 1000:2004 consultado el día 15 de enero de 2021 del sitio: https://www.usco.edu.co/contenido/ruta-calidad/documentos/anexos/66-Norma%20tecnica%20de%20calidad%20en%20la%20gestion%20publica%20NTCGP%201000%20de%202004.pdf

Desarrollo de aplicación móvil para estudiantes con Trastorno de Ansiedad Generalizada

Angélica, Millán Díaz[1], Sodel, Vázquez Reyes[2], Diana, Pulido Hernández[3]

[1]*Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco/Personal,e-mail: angelica_millan@test.edu.mx*
[2] *Universidad Autónoma de Zacatecas/Personal,e-mail: vazquezs@uaz.edu.mx*
[3] *Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco/Personal,e-mail: diana_201723015@test.edu.mx*

Línea de investigación: Sistemas Computacionales

Resumen

El presente proyecto explica el desarrollo y diseño de una aplicación móvil nativa Android, hacia la implementación de un programa (plan terapéutico) de atención psicológica a distancia para los y las estudiantes del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguisteco, donde se ofrece un seguimiento de las actividades (cotidianas y escolares) y estados de ánimo; proporcionando información al área de Psicología, así mismo a las y los tutores encargados asignados a cada grupo de estudiantes, sin dejar de lado el contacto presencial o a distancia que se considere llevar a cabo. Con la finalidad de generar perfiles de estudiantes, acorde a sus necesidades situacionales, se propone emplear métodos de Análisis de Datos para el procesamiento, clasificación y almacenamiento de la información; priorizando el empleo de tecnologías OpenSource para el diseño de aplicaciones móviles, en conjunto con infraestructura de almacenamiento en la nube.

Palabras clave: Aplicación Móvil, Escala Hamilton, Terapia Cognitivo-Conductual, Trastorno de Ansiedad Generalizada.

Abstract

This project explains the development and design of a native Android mobile application, towards the implementation of a program (therapeutic plan) of remote psychological care, for the students of the Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguisteco, which have a monitoring of activities (daily and school) and moods; providing information to the Psychology area, likewise to the tutors assigned to each group of students, without neglecting the face-to-face or distance contact that is considered to be carried out. In order to generate profiles of students, according to their situational needs, it is proposed to use Data Analysis methods for the processing, classification and storage of information, prioritizing the use of OpenSource Technologies for the design of mobile applications, in conjunction with cloud storage infrastructure.

Keywords: *Mobile App, Hamilton Scale, Cognitive-Behavioral Therapy, Generalized Anxiety Disorder.*

INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de propiciar a la formación integral y contribuir al mejoramiento de la calidad educativa en el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco (TEST), se lleva a cabo la atención tutorial personalizada a los estudiantes, el cual consiste en un proceso de acompañamiento grupal o individual durante su estancia en la Institución; donde el personal docente designado a labor tutorial tiene a cargo un grupo de estudiantes a los cuales debe dar seguimiento oportuno en: 1. Orientación académica 2. Promover sus capacidades 3. Apoyar asertivamente en la toma de decisiones académicas 4. Establecer junto con la Coordinación de Tutorías las estrategias de apoyo a los y las estudiantes con problemas de reprobación y rezago 5. Identificar a estudiantes con riesgo por medio de herramientas disponibles 6. Ejecutar el Programa de Acción Tutorial (PAT) con lo anterior, se propone que, una vez que el tutor o tutora identifique estudiantes con riesgo para canalizarlos a las áreas de apoyo, es indispensable proporcionar una herramienta adicional que de un seguimiento puntual a las actividades que les encomienden a las y los estudiantes para mejorar la situación que actualmente se encuentran viviendo. Dicha herramienta centraría su atención en las y los estudiantes identificados, por parte del área de psicología, con Trastorno de Ansiedad Generalizada; donde a través de la terapia cognitivo-conductual y del análisis de datos se proporciona atención personalizada a cada estudiante. Las dificultades emocionales y de conducta en los escolares constituyen un serio y difícil problema tanto para la educación y la salud mental de los estudiantes, como para los padres cuyos hijos no logran en la escuela un rendimiento acorde con sus esfuerzos y expectativas.

DESARROLLO

Para llevar a cabo este proyecto se consideró a la población estudiantil del área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del TEST, tomando como referencia el procedimiento de Tutorías que se incluye en el Sistema de Gestión Integrado (SGI) (Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, s. f.). Así mismo se consideró a SCRUM y Kanban como marco de trabajo y estrategia visual, respectivamente, para delimitar el Trabajo en Proceso (WIP); tomando en cuenta los siguientes puntos:

Flujo de trabajo:

- Intervalo de tiempo de desarrollo a 4 meses, revisiones en intervalos de 15 días.
- Se generó el Product Backlog de la aplicación móvil tomando en cuenta requerimientos, casos de uso, tareas y dependencias.
- Se determinaron las características con las que debieron cumplir los productos mínimos viables (MVP), así como delimitación del WIP en 4 tareas por intervalos de tiempo.

Se llevarán a cabo todas las etapas que propone SCRUM:

1. Reunión de planificación de Sprint (Proyectos ágiles, 2021)
    a. Selección de requisitos. Se presentó una lista de requisitos por parte del área de Psicología (priorizado acorde al procedimiento de Tutorías):
        - Identificación de estudiantes mediante correo institucional y matrícula.
        - Implementar un instrumento diseñado con base en el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales cuarta edición (DSM-IV), y
        - Generación de resultados con base en distintos niveles.
        - Sugerencias terapéuticas acorde al resultado.
    b. Planificación de la iteración. Se elabora una lista de tareas de la iteración necesarias para desarrollar los requisitos seleccionados. Se realiza la estimación de esfuerzo (tiempo), se asignan las tareas, se establece cómo organizar para trabajar.
2. Reunión Scrum diaria (Lara, 2015). Se dedicaron máximo 15 minutos diarios, a las 9:00 hrs mediante sesiones virtuales, se incorporó una pizarra de Kanban. Se realizaba retroalimentación sobre las siguientes preguntas: ¿Qué hiciste ayer?, ¿Qué tienes planeado hacer hoy? y ¿Qué obstáculos encontraste en el camino?, se realizaron anotaciones correspondientes.
3. Implementación del Sprint (Sanabria, 2021). Se cumplió con los siguientes procesos: creación de entregables, realizar daily stand-up, así como el refinanciamiento del backlog priorizado del producto.
4. Revisión del Sprint (Pérez, 2021), al finalizar cada Sprint se inspeccionaban los incrementos y se adaptaron según las necesidades del área de apoyo, no fue necesario modificar el Product Backlog.
5. Retrospectiva del Sprint (Lara, 2015),

OBJETO DE ESTUDIO

La tabla 1 muestra los elementos teóricos más importantes para esta investigación utilizados para especificar conceptos como ansiedad, sus tipos, los síntomas, manuales estadísticos como el DSM-IV que cuenta con criterios específicos sobre los trastornos, valoraciones y tratamientos donde la Terapia Cognitivo-Conductual (TCC) se define como la más eficaz. Más adelante se investigó la importancia y eficiencia de aplicar tecnologías móviles como uso de tratamiento para el TAG.

Tabla 1. Contexto del Problema

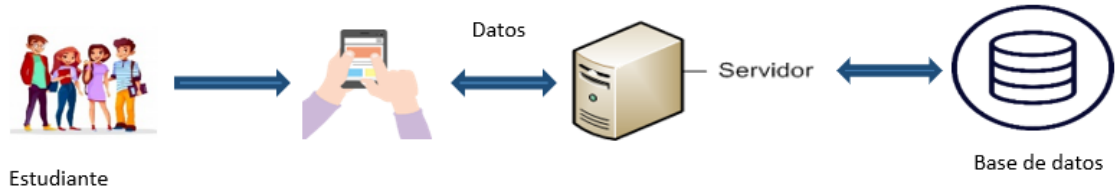
Planteamiento del problema	Desarrollo de la aplicación	Diseño	Metodología Software
¿Qué es trastorno?	Aplicaciones Móviles/Tecnologías Móviles	¿Qué es UX?	Scrum
Trastorno de ansiedad	Aplicaciones ● Nativas ● Hibridas ● Web	¿Qué es UI?	Kanban
Trastorno de Ansiedad Generalizada (TAG)	Lenguajes de desarrollo	Design Thinking	DevOps
Manual Diagnostico y Estadístico de Trastornos Mentales (DSM-IV)	frameworks	Programas utilidades	XP
¿Cómo se valora?	Arquitectura Software	Figma	
Escalas de valoración	MVC, cliente-servidor	Psicología de los colores	
¿Qué son? ● **tipos** ● **usos** ● **interpretan datos**	Servidores: Web, Aplicaciones		
Inventario de ansiedad de Beck (bai)	Base de datos		
Escala de ansiedad de Hamilton (para valorar niveles de ansiedad)	Relacionales, móviles, no relacionales		
¿Cuáles son los tratamientos?	Plantillas/Material diseño		
Terapia Cognitivo-Conductual			
***Terapia Cognitiva para para Trastorno de Ansiedad (David a. Clark, Aaron t. Beck) (libro)**			

Nota: creación propia

De igual manera, al investigar todos los elementos relacionados con tecnologías para el desarrollo de la aplicación móvil, se destacó que el lenguaje Kotlin usado en conjunto con la plataforma de desarrollo Android Studio es el más adecuado para el desarrollo del proyecto, así mismo es relevante implementar técnicas de diseño UI y UX para desarrollar una aplicación amigable e intuitiva para los usuarios.

En el diagrama siguiente figura 1 se da una vista de general de la aplicación del sistema que se propone, mostrando inicialmente al estudiante, quien realizará su evaluación psicológica mediante el sistema por medio de un móvil. Una vez realizado la prueba, el diagnóstico será arrojado por la aplicación el cual podrá ser visto por el estudiante y analizado por los psicólogos del tecnológico para su verificación, por lo que ellos viendo esos resultados podrían dar recomendaciones a los alumnos.

Figura 9 Secuencia de acciones, elaboración propia



Nota: elaboración propia

METODOLOGÍA

El objeto de estudio son estudiantes de la División de Ingeniería en Sistemas Computacionales (ISC), específicamente aquellos que hayan sido canalizados al área de Psicología por índice de reprobación alto, es decir tener 3 o más materias reprobadas en la primer o segunda evaluación parcial, o porque el o la estudiante refiera que necesita atención del área de psicología.

A través de la Coordinación de Tutorías de ISC se solicita la siguiente información de los estudiantes: matrícula, semestre al que se encuentra inscrito, grupo, evaluación (1° o 2° parcial), número de asignaturas cursando, número de asignaturas reprobadas en el parcial, números de asignaturas reprobadas en su historial, indicador de acción tutorial (problemas de salud, problemas vocacionales, relación docente-estudiante, relación estudiante-estudiante, toma de decisiones académicas, atención psicológica, perfil de ingreso inadecuado, problemas económicos). Todos los datos antes mencionados se encuentran en el formato de Tutoría Individual (TEST-AC-PO-009-01).

Así la Coordinación de Tutorías de ISC, solicita a los tutores que identifiquen a los y las estudiantes con las características anteriormente indicadas, proporcionándole un enlace a un formulario digital para que recabe la información requerida.

En conjunto con el área de Psicología, se trabajará con los reactivos diseñados para esta primera etapa del proyecto los cuales son:

Calendario de emociones	Regulación de emociones
1. ¿Qué tal tu apetito el día de hoy? 2. ¿Tienes problemas para concentrarte? 3. ¿A menudo te sientes agobiado por pensamientos o acciones que no tienen sentido? 4. ¿Has estado perdiendo o ganando peso involuntariamente? 5. ¿últimamente te has sentido con mucha menos energía de lo habitual? 6. ¿Qué tan abrumado te has sentido últimamente con las tareas que tienes pendientes? 7. ¿Has sentido un vacío o aburrimiento en tu día de hoy? 8. ¿Qué tan ansioso te sientes ahora?	1. ¿Crees que los demás valen más que tú ahora? 2. ¿Crees que vas a estar muy bien en el futuro (corto o mediano plazo)? 3. ¿Crees que interfieres en la vida de los demás de manera positiva? 4. ¿Cómo te sientes ahora? 5. ¿Qué harás por ti hoy? 6. ¿Qué elogios recuerdas que te hayan dicho otras personas a lo largo de la semana? 7. ¿Qué cosas te hacen sentirte orgulloso de ti mismo?

Para responder dichos reactivos, se utilizó la escala de Likert dónde la cantidad de niveles a evaluar fue sugerida por el área de Psicología; así como indicará la forma en que los resultados se relacionarían con niveles altos de ansiedad, los cuales requerirían de atención para que los estudiantes lleven a cabo alguna actividad.

Así mismo, dichos reactivos se aplican diariamente a los estudiantes en 3 ocasiones por día, midiendo el tiempo de respuesta que tiene para cada uno de los reactivos. Cuando los resultados obtenidos marcan un nivel de ansiedad alto, se indicará al estudiante que es momento de llevar a cabo una actividad: respiración o relajación.

En el caso de respiración podrá practicar 3 tipos de respiración: alta, media o baja; la cual realiza de acuerdo con los resultados obtenidos en los reactivos. Se llevará a cabo por medio de una imagen GIF, mostrando un círculo que aumenta o disminuye su tamaño para indicar si tiene que inhalar o exhalar. A través de un temporizador, se le indica al usuario cuánto tiempo tendrá que hacer dichos ejercicios.

Hasta el momento, se sigue trabajando en las actividades basadas en relajación, sin embargo, se sugieren estos 4 tipos:

1. Técnicas para mejorar el sueño. Se utilizarán audios de naturaleza, así como un conjunto de instrucciones vía voz, de los pasos a seguir para realizar una buena técnica para la mejora del sueño.
2. Meditación a través de lecturas seleccionadas, de acuerdo con la hora del día se podría o no tener acceso a ellas, ya que el uso del teléfono celular afecta a la mejora del sueño.
3. Meditación en el día, audios de naturaliza, así como instrucciones vía voz con frases afirmativas o de pensamientos positivos que le ayuden a mejorar su día.
4. Mindfulness, la cual es una práctica de meditación enfocada en desarrollar la capacidad de ser conscientes del mundo que nos rodea, así como de nuestras pautas y hábitos de comportamiento.

Todas las actividades de relajación serán planeadas con duración de 5 a 10 minutos, con la finalidad de que los usuarios las lleven a cabo sin pensar que les quitará tiempo de su día. Indistintamente la actividad que realice, se le cuestionará a la o el estudiante sobre el sentimiento que tiene después de haber hecho la actividad, a modo de probar si ha disminuido o no la ansiedad.

En caso de que coincidan más de 3 días seguidos con niveles altos de ansiedad, se envía una notificación al área de psicología para proponer una sesión (presencial o a distancia) con él o la estudiante, y de este modo tener atención personalizada.

Con toda la información recabada, se realiza la visualización de datos a través de gráficas de emociones identificadas, semanal y mensualmente, así mismo de identificación de disminución de ansiedad a través de la realización de actividades planteadas.

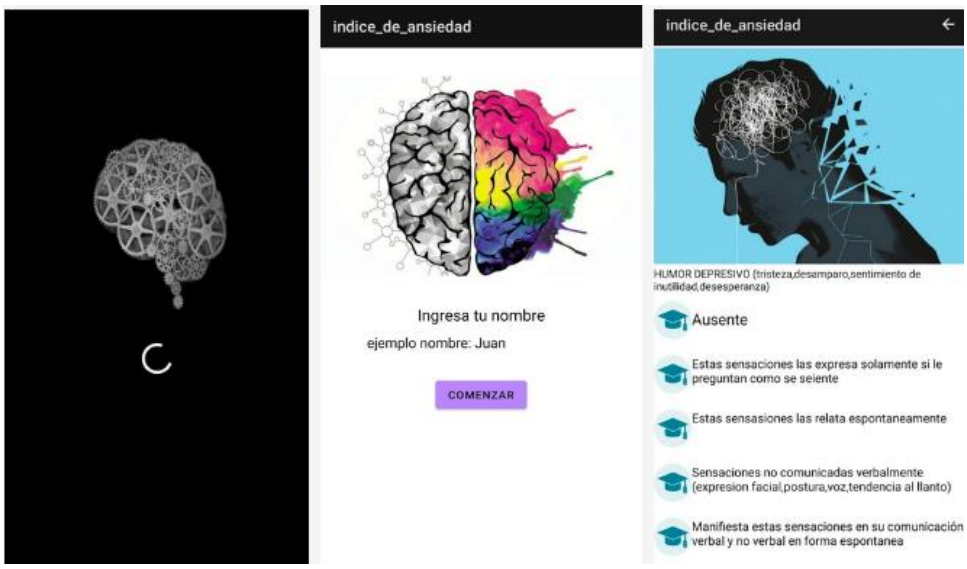
Actualmente, el proyecto se encuentra en la etapa de recopilación de información por parte de los y las estudiantes, con la finalidad de implementar árboles de decisión y generar un conjunto de reglas acorde a los resultados obtenidos en la aplicación.

FASES DEL DESARROLLO

Para el desarrollo, verificación y validación, así como generación de pruebas unitarias de productos mínimos viables pactados se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Desarrollo de la aplicación móvil

- La aplicación móvil consta de 1 tiempo de carga, 1 registro para comenzar test, 16 items para responder y pantalla para mostrar resultados mismos que a su vez se registran en la Base de datos desde un webserver local.
- Fue desarrollada bajo la plataforma de Android Studio y en base al lenguaje Kotlin, posee una interfaz gráfica amigable y de fácil uso para quien interactúe con ella. Algunas de las pantallas de la aplicación son las que se muestran en la figura 2.

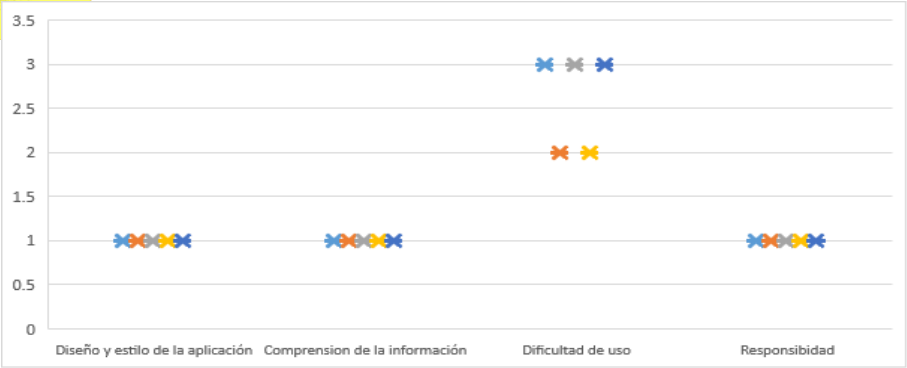


- La aplicación móvil consta de 1 tiempo de carga, 1 registro para comenzar test, 16 items para responder (test) y pantalla para mostrar resultados mismos que a su vez se registran en la Base de datos desde un webserver local.
- Se empleó el servicio gratuito de hosting 000webhost, así como el panel de PhpMyAdmin como conexión a una base de datos.
- Los datos recopilados se exportaron a archivos csv para ser analizados con Python y realizar la visualización de los mismos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para verificar el funcionamiento de la aplicación, se hicieron pruebas de usabilidad ilustración 1, definiendo qué 1 = Si, 2 = Parcialmente y 3 = No, demostrando que la aplicación es intuitiva, pero al ser usada por primera vez causa ciertas confusiones de uso normales y el temor a responder con honestidad por miedo al resultado.

Figura 10 Pruebas de usabilidad



Para demostrar la efectividad de la aplicación se realizaron pruebas por medio de una entrevista focalizada, que permite la captación de las reacciones que experimenta cada persona, permitiendo constatar que existe interés de interacción con el test, se realizaron dos pruebas de la aplicación con una encuesta antes de realizar el test y otra después de haber contestado el test.

En el grafico antes del test se puede apreciar que mientras los puntos estén más alejados del 0, significa que el nivel de ansiedad y estrés es mayor, mientras más cerca se encuentren, menos es el nivel de ansiedad de una persona.

Figura 11 Encuesta antes de realizar la evaluación en la aplicación

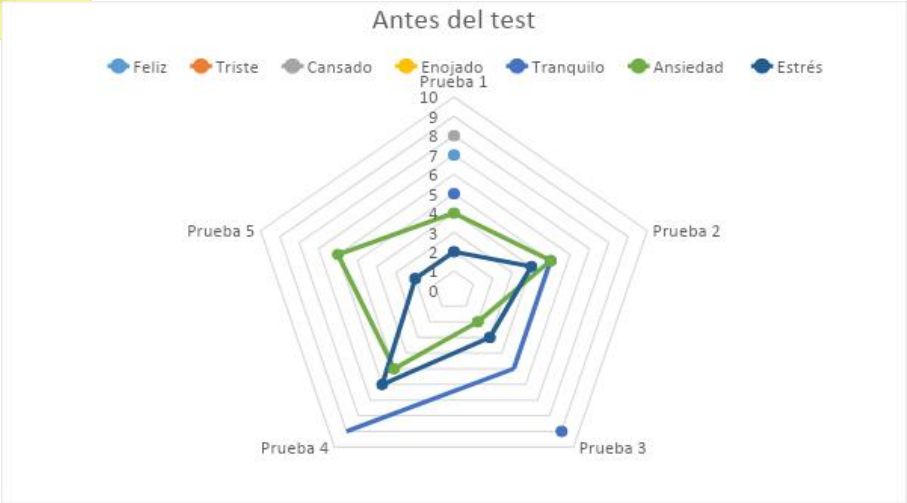
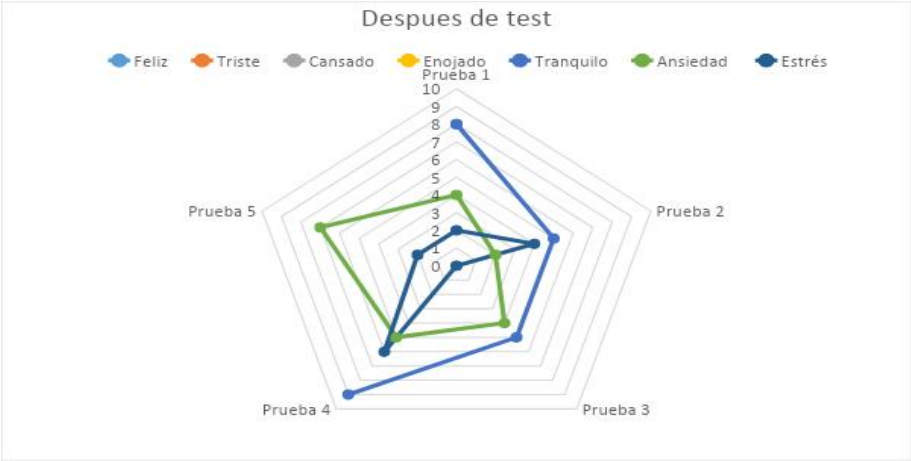


Figura 12 Encuesta después de realizar la evaluación en la aplicación



En lo referente al desarrollo de la aplicación móvil en Android puedo concluir que es fácil de adquirir y usarse ya que tiene la ventaja de ser un sistema operativo libre y cuenta con documentación que está disponible para cualquier persona que esté interesado en aprender sobre el framework.

CONCLUSIÓN

Se concluye que, la aplicación es una herramienta efectiva adicional al proceso de atención tutorial, con el uso constante de la aplicación móvil se pueden disminuir los niveles de ansiedad y estrés que un alumno, demostrando así que se pueden eliminar factores de riesgo de deserción escolar por ansiedad y depresión.

El desarrollo de la aplicación continua, implentando Firebase, tanto como para la aplicación móvil como una plataforma web (Psicología y panel de Tutores), accediendo al módulo de autenticación, base de datos en tiempo real (por lo que se migra de una base de datos relacional a una no relacional), para finalizar con el módulo de Machine Learning de la misma plataforma, de esta forma se implementarían algoritmos empleando la librería Tensor Flow de Python.

BIBLIOGRAFÍA

Lara, W. (2015, 28 octubre). Platzi: Cursos online profesionales de tecnología. ¿Cómo Funciona La Metodología Scrum? Qué Es y Sus 5 Fases. Recuperado 10 de agosto de 2021, de https://platzi.com/blog/metodologia-scrum-fases/

Pérez, A. (2021, 28 junio). Las 5 etapas en los “Sprints” de un desarrollo Scrum. OBS Business School. Recuperado 18 de septiembre de 2021, de https://www.obsbusiness.school/blog/las-5-etapas-en-los-sprints-de-un-desarrollo-scrum

Proyectos ágiles. (2021, 20 septiembre). Qué es SCRUM. Recuperado 1 de septiembre de 2021, de https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/

Sanabria, E. (2021, 23 agosto). Fases de la Metodología Scrum. ComparaSoftware Blog. Recuperado 10 de mayo de 2021, de https://blog.comparasoftware.com/fases-metodologia-scrum/

ecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco. (s. f.). Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco. Recuperado 11 de abril de 2020, de http://sistemas.test.edu.mx/calidadTEST/

“Diseño y Desarrollo de un Sistema Gestor de Archivos, mediante Big Data para el Control de Información”

Hugo Montes de Oca Martínez, Maria Teresa Cruz Gordillo

Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan, hugo.m.o.m.m@huixquilucan.tecnm.mx
Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan, maria.c.g@huixquilucan.tecnm.mx

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Sistemas, Bases de Datos y Plataformas Computacionales

Resumen

Las organizaciones educativas hoy en día están en la búsqueda continua de adaptar y mejorar sus sistemas de gestión y control, que canalicen los esfuerzos, conocimientos y habilidades de sus docentes y alumnos, con el fin de lograr los objetivos estratégicos trazados desde el marco de su misión y visión. Es por eso que el presente proyecto aportará el diseño y desarrollo de un Sistema Gestor de Archivos, mediante Big Data parael Control de Información, el cual tendrá impacto dentro del Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan, siendo este, una institución académica donde el flujo y manejo de documentos es continuo, la problemática a resolver es la dispersión de la información y documentación de actividades y proyectos dentro de las carrera que tiene Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan.

Palabras Claves: diseño, desarrollo, control e información y gestión.

Abstract

Educational organizations today are in the continuous search to adapt and improve their management and control systems, which channel the efforts, knowledge and skills of their teachers and students, in order to achieve the strategic objectives outlined from the framework of their mission and vision. That is why this project will provide the design and development of a File Management System, through Big Data forInformation Control, which will have an impact within the Technological of Higher Studies of Huixquilucan, being this, an academic institution where the flow and document management is continuous, the problem to be solved is the dispersion of information and documentation of activities and projects within the career of theTechnological of Higher Studies of Huixquilucan.

Keywords: design, development, control and information and management.

INTRODUCCIÓN

El diseño y desarrollo de un Sistema Gestor de Archivos, mediante Big Data para el Control de Información, tiene como fin llevar el manejo y administración de los diferentes documentos y proyectos que sean generados por parte de docentes y alumnos dentro de la institución, ya que los diferentes conjuntos de datos cuyo tamaño, complejidad y velocidad de crecimiento dificultan su captura, procesamiento o análisis mediante tecnologías y herramientas convencionales. Para el desarrollo de este sistema se utilizó la metodología SCRUM debido a que es ágil para proyectos de gran escala y de alto impacto, por lo que sus criterios permitieron que dicho sistema cumpla con el estándar de producto, y así permitir el desarrollo de esteen un lapso de tiempo corto. El presente documento muestra y redacta el proceso de diseño y desarrollo, así como el funcionamiento del sistema, ilustrando gráficamente su apariencia y uso del mismo, para dejar claro dudas que se puedan presentar tanto del sistema como del desarrollo. En el capítulo III se presenta de una manera más detallada la problemática a resolver mediante el desarrollo de dicho sistema, así como el objetivo general y específicos, sin olvidarse del motivo por el cual se realizó este, y cuáles fueron los alcances y limitaciones que se presentaron. Por último y no menos importante en el capítulo VI se da a conocer cada una de las interfaces con las que cuenta el sistema, describiendo cada una de ellas e informando su funcionalidad, así como mostrando las diferentes tablas que fueron creadas en la base de dados para almacenar tota la información ingresada en la GUI (Interfaz Gráfica de Usuario).

DESARROLLO

Este proyecto es la que se encarga en este caso de conocer si existen una serie de condiciones mínimas necesarias para que el proyecto pueda funcionar, dentro de esas condiciones se encuentra la viabilidad funcional, viabilidad de gestión y la viabilidad financiera. (Reyes, 2015, pág. 68).
Las tecnologías de la información y la comunicación digitales tienen diferentes funciones, según la información y tecnología (Tapias, 2012), ya que el diseño de un software es el desarrollo de nuevas ideas por medio de un sistema informático ya que es un medio versátil y único.

¿Qué es Big Data?

- "Forrester define Big Data como las técnicas y tecnologías que hacen que sea económico hacer frente a los datos a una escala extrema. Big Data trata de tres cosas: 1) Las técnicas y la tecnología,lo que significa que la empresa tenga personal, el cual tenga gran representación y análisis de datos para tener un valor agregado con información que no ha sido manejada. 2) Escala extrema de datos que supera a la tecnología actual debido a su volumen, velocidad y variedad. 3) El valor económico, haciendo que las soluciones sean asequibles y ayuden a la inversión de los negocios" (Hopkins, 2011).
- Según Kusnetzky, Big Data "se refiere a las herramientas, los procesos y procedimientos quepermitan a una organización crear, manipular y gestionar conjuntos de datos muy grandes y las instalaciones de almacenamiento" (Kusnetzky, 2010).
- Gartner define el Big Data como "un gran volumen, velocidad o variedad de información que demanda formas costeables e innovadoras de procesamiento de información que permitan ideas extendidas, toma de decisiones y automatización del proceso" (Gartner, 2019).

MySQL

- MySQL es el sistema de gestión de bases de datos relacional más extendido en la actualidad al estar basada en código abierto. Desarrollado originalmente por MySQL AB, fue adquirida por Sun MicroSystems en 2008 y está su vez comprada por Oracle Corporation en 2010, la cual ya era dueña de un motor propio InnoDB para MySQL.
- MySQL es un sistema de gestión de bases de datos que cuenta con una doble licencia. Por una parte, es de código abierto, pero por otra, cuenta con una versión comercial gestionada por la compañía Oracle (Robledano, 2019).

¿Cuál es la definición de IDE?

Es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, o sea, consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica. Los IDEs pueden ser aplicaciones por sí solas o pueden ser parte de aplicaciones existentes. El lenguajeVisual Basic, por ejemplo, puede ser usado dentro de las aplicaciones de Microsoft Office, lo que hace posible escribir sentencias Visual Basic en forma de macros para Microsoft Word (EcuRed, 2013).

Visual Studio Code

Es un editor de código fuente que permite trabajar con diversos lenguajes de programación, admite gestionar tus propios atajos de teclado y re factorizar el código. Es gratuito, de código abierto y nos proporciona una utilidad para descargar y gestionar extensiones con las que podemos personalizar y potenciar esta herramienta (Soluciones, 2018).

¿Qué es Bootstrap?

Bootstrap es un framework CSS desarrollado por Twitter en 2010, para estandarizar las herramientas dela compañía. Inicialmente, se llamó Twitter Blueprint y, un poco más tarde, en 2011, se transformó en código abierto y su nombre cambió para Bootstrap. Desde entonces fue actualizado varias veces y ya se encuentra en la versión 4.4.

El framework combina CSS y JavaScript para estilizar los elementos de una página HTML. Permite mucho más que, simplemente, cambiar el color de los botones y los enlaces. Esta es una herramienta que proporciona interactividad en la página, por lo que ofrece una serie de componentes que facilitan la comunicación con el usuario, como menús de navegación, controles de página, barras de progreso y más (Guajardo, 2020).

¿Por qué utilizar jQuery?

jQuery es una popular biblioteca de JavaScript. Fue creada por John Resig en el 2006 con el objetivo de facilitarle el uso de JavaScript en los sitios web a los desarrolladores. No es un lenguaje de programación separado y funciona en conjunto con JavaScript. Con jQuery puedes hacer mucho más con mucho menos;es decir, escribir código puede resultar desgastante, especialmente cuando hay muchas cadenas incluidas. jQuery comprime varias líneas de código en una sola función, de forma que no es necesario volver a escribir bloques enteros de código para lograr una sola tarea (Gustavo, 2019).

HTML

HTML no es un lenguaje de programación, esto debes tenerlo muy en claro desde el principio, HTML es un lenguaje de marcado de hipertexto o “HyperText Markup Language” por el desarrollo de sus iniciales en inglés, básicamente este lenguaje se escribe en su totalidad con elementos, estos elementos están constituidos por etiquetas, contenido y atributos.

HTML es un lenguaje que interpreta el navegador web para mostrar los sitios o aplicaciones web tal y como estamos acostumbrados (Pino, 2020).

¿Qué son los estilos CSS?

CSS (en inglés Cascading Style Sheets) es lo que se denomina lenguaje de hojas de estilo en cascada y se usa para estilizar elementos escritos en un lenguaje de marcado como HTML. CSS separa el contenido de la representación visual del sitio. CSS fue desarrollado por W3C (World Wide Web Consortium) en 1996 por una razón muy sencilla. HTML no fue diseñado para tener etiquetas que ayuden a formatear la página. Está hecho solo para escribir el marcado para el sitio.

La relación entre HTML y CSS es muy fuerte. Dado que HTML es un lenguaje de marcado (es decir, constituye la base de un sitio) y CSS enfatiza el estilo (toda la parte estética de un sitio web), van de la mano (Gustavo, 2019).

Evaluación o impacto económico, social o tecnológico

Al implementar el Sistema Gestor de Archivos, mediante Big Data para el Control de Información en el Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan tiene como beneficio principal tener un mejor control del flujo de información y documentación que canalicen los esfuerzos, conocimientos y habilidades de sus docentes y alumnos a lo largo de su estadía en la institución.

Funciones principales que impactan a la institución:

- Mejorar el control de flujo de información.
- Reducción en el tiempo de búsquedas de archivos.
- Proporcionar la generación de un formato para proyectos de residencias profesionales. Facilitar a los usuarios la posibilidad de categorizar los archivos de la manera más efectiva.

OBJETIVO DE ESTUDIO

Objetivo General Diseñar y Desarrollar un Sistema Gestor de Archivos, que mejore el Control y Manipulación de Información mediante Big Data, para llevar una relación de proyectos que realicen los docentes y alumnos a lo largo de su estadía en la carrera.

Para el complimiento de este objetivo se platearon los siguientes objetivos particulares:

- Diseñar una Base de Datos optima mediante el gestor MySQL para almacenar, modificar y acceder a la información.
- Diseñar un entorno gráfico atractivo al cliente para facilitar la manipulación del Sistema, mediante Visual Code, Bootstrap y JQuery.
- Mejorar la gestión de la información y documentación con ayuda de carpetas estructuradas.

DESARROLLO DEL PROYECTO

Cronograma de Actividades

No.	Actividades por cada etapa del proyecto	Prog. F / R	2021 Mar. Abr.	May. Jun.	Jul. Ago.	Sep. Oct.	Nov. Dic.	2022 Enr. Feb.	Mar. Abr.
Etapa 1 Plan inicial									
1	Definición del proyecto								
2	Realizar benchmarking								
Etapa 2 Planificación									
1	Identificación de peligros y evaluación de riesgo								
2	Planificación para tomar acciones								
3	Objetivos y planificación para lógralos								
Etapa 3 Requisitos									
1	Determinar las necesidades del usuario								
2	Elaboración de Encuestas								
3	Análisis de requerimientos de Información								
4	Análisis de requerimientos adicionales								
Etapa 4 Análisis y diseño									
1	Diseño de la Arquitectura del software								
2	Desarrollo de Interfaz								
3	Diseño Inicial								
Etapa 5 Implementación									
1	Gestión de cambio								
2	Contratación externas								
Etapa 6 Prueba									
1	Planeación de pruebas								
2	Evaluación de Criterios de salida								
3	Evaluar resultados								
Documentación y difusión del proyecto									
1	Documentación de las etapas del proyecto								
2	Procesos de titulación del alumno colaborador								

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

Se realiza una investigación enfocada en una metodología de proyectos para desarrollar y concluir de manera exitosa cada etapa y actividad del proyecto de investigación, el software no experimental cuenta con un marco teórico general para ser aplicado en diferentes fundamentos teóricos y metodológicos que coadyuven al análisis de los recursos y procedimientos requeridos para desarrollar un proyecto factible y así la posibilidad de ejecución de la propuesta. En todo proyecto software suele existir una metodología de trabajo inherente al mismo en la que se definen las tareas a realizar y las etapas de las que consta el proceso de desarrollo y en las cuales se llevan a cabo dichas tareas. El objetivo de fijar una metodología de este tipo es mejorar laproductividad durante el desarrollo del software y, por consiguiente, la calidad final del producto.

Etapa 1. Plan Inicial

- Definición del Proyecto: Se establecerá un cronograma de actividades para el desarrollo y diseño del sistema.
- Se definirá el objetivo y los alcances sobre el proyecto.
- Realizar Benchmarking: Se realiza una investigación de búsqueda de varias fuentes de información. La búsqueda está basada en la relación al proyecto de investigación a desarrollar.
- Se recolectara información sobre la existencia de proyectos similares al sistema, para analizar o buscar las áreas de oportunidad para el proyecto.

Etapa 2 Planificación

- Planificación para Tomar Acciones: Se implementa y se selecciona una metodología de investigación con la finalidad de tener un proyecto con una planificación para la toma decisión.
- Se realizará una serie de acciones para planificar las tareas asociadas a cada objetivo para la eficiencia terminal del diseño y desarrollo del proyecto.
- Objetivos y Planificación para Lógralos: Se establecerá las funciones y procesos necesarios para la identificación del proyecto para conocer las condiciones para su estructuración de cada modelo.

Etapa 3 Requisitos

- Determinar las Necesidades del Usuario: Se realizó una entrevistas a las persona directas que ejecutaran el software, para identificar los requisitos del software y el objetivo claro del proyecto así como los requisitos de validación y verificación para la eficiencia terminal.
- Elaboración de Encuestas: Se diseñará un cuestionario para conocer las necesidades del usuario y así buscar áreas de oportunidad.
- Análisis de Requerimientos de Información: Se identificará las necesidades del usuario para mejorar los procesos.

Resultados más significativos del cuestionario de investigación.
¿Las academias de ingeniería tienen un sistema gestor de archivos para guardar y administrar sus proyectos creados cada semestre?

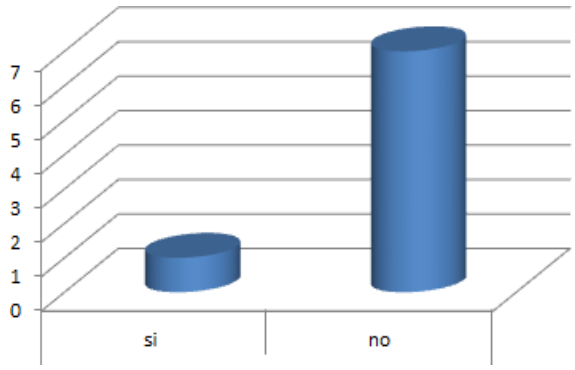


Figura 1 Resultados de encuesta

¿Es necesario crear un sistema gestor de archivos para administrar sus proyectos para poder visualizarlos en el tiempo que se necesite?

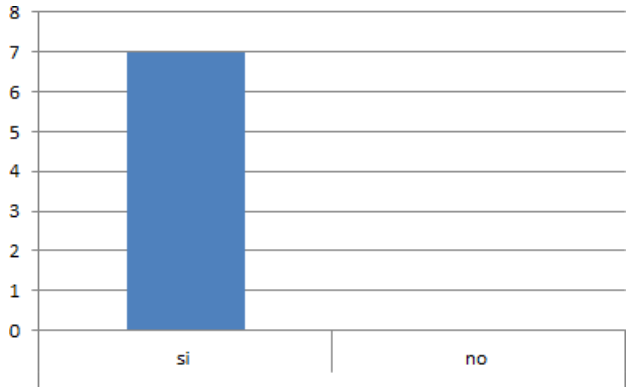


Figura 2. Resultados de encuesta en las diferentes carreras del Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan.

¿Es importante contar con una herramienta digital y tecnológica para tener acceso a todos los proyectos que se generan por semestre con la finalidad de guardar los proyectos para utilizar y visualizarse posteriormente.

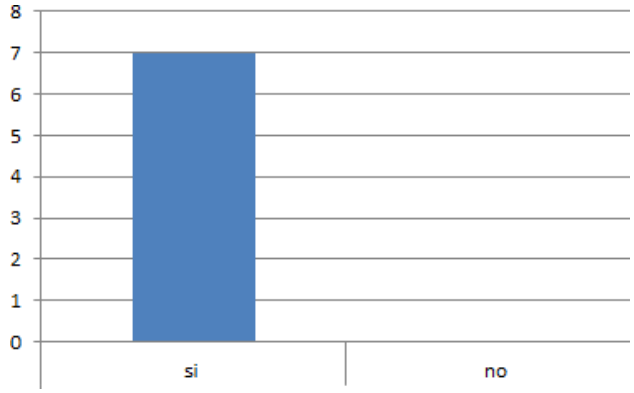


Figura 3. Resultados de utilizar tecnología.

Etapa 4 Análisis y Diseño

- Desarrollo de Interfaz: El diseño de interfaz de usuario es el resultado de definir la forma, función, identificación de cada objeto, así como la configuración de cada paquete y librería para el funcionamiento correcto del proyecto.

Diseño de Interfaz:

- Para llevar a cabo esta tarea se determinó el IDE en el que se desarrollaría toda la lógica del sistema, así como el lenguaje de programación para desplegar todas las funciones de este, optándose por Visual Studio Code y PHP respectivamente, teniendo en base la problemática de la institución y la solución que brindaría la implementación del sistema gestor de archivos, mediante Big Data para el control de información.

Base de Datos.

- Se recurrió al gestor de base de datos MySQL ya que era el más óptimo para albergar y ejecutar todas las consultas realizadas en el sistema, contemplando el espacio de almacenamiento para cargar toda la información de los usuarios, e Interfaces.

Evaluación o impacto económico, social o tecnológico

- Al implementar el Sistema Gestor de Archivos, mediante Big Data para el Control de Información en el Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan tiene como beneficio principal tener un

mejor control del flujo de información y documentación que canalicen los esfuerzos, conocimientosy habilidades de sus docentes y alumnos a lo largo de su estadía en la institución.

Funciones principales que impactan a la institución:

- Mejorar el control de flujo de información.
- Reducción en el tiempo de búsquedas de archivos.
- Proporcionar la generación de un formato para proyectos de residencias profesionales.
- Facilitar a los usuarios la posibilidad de categorizar los archivos de la manera más efectiva.

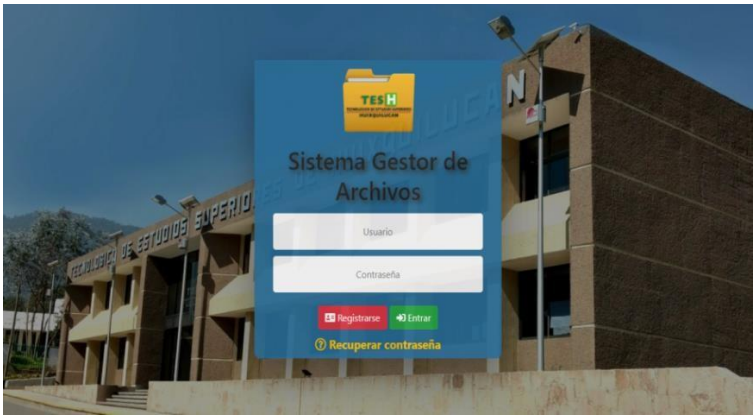


Figura 4.Se presenta un fragmento de la interfaz y diseño

Etapa 5 Implementación

- Gestión de Cambio: Se realizó una prueba piloto para ver la viabilidad y el funcionamiento correcto del sistema.

Etapa 6 Prueba

- Evaluación de Criterios de Salida: Se identifica las características de instalación del equipo donde se instalara o servidor que se utilizara.
- Evaluar Resultados: Se verifico que el funcionamiento del sistema sea de un 100%.

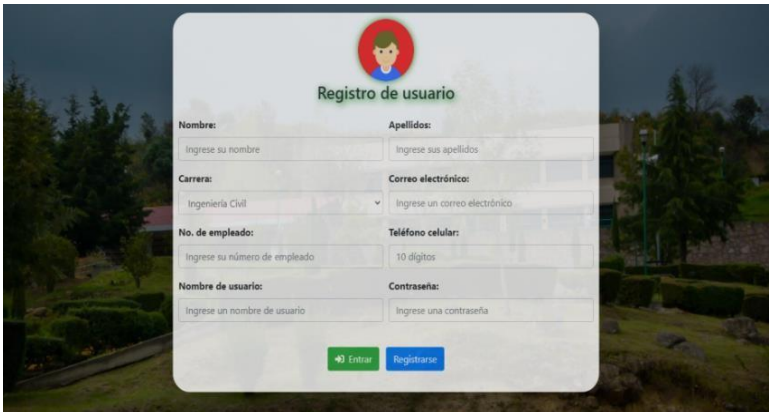


Figura 5. Interfaz para el registro de usuarios

La figura 5 muestra la interfaz de Registro, la cual le permite a un nuevo usuario darse de alta en el sistema, para esto se requieren los siguientes datos: nombre, apellidos, carrera, correo electrónico, número de empleado, teléfono celular, nombre de usuario y contraseña; una vez ingresado todo lo anterior el usuario procederá al darle clic al botón “Registrarse” para finalizar su registro, cabe mencionar que el formulario a llenar tiene validaciones para que no haya ningún campo vacío y para que ningún usuario y correo se repita, esto con la finalidad de proporcionar una mayor seguridad al sistema. Por otro lado, también se cuenta con el botón “Entrar”, el cual cumple la función de direccionar al usuario al Index.

Documentación y Difusión del Proyecto

- Documentación de las Etapas del Proyecto: En todo el proceso del proyecto se documentara cada etapa para el desarrollo eficiente del sistema, así como la sustentación de los requisitos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez concluido el diseño y desarrollo del Sistema Gestor de Archivos, mediante Big Data para el Control de Información, se obtuvo como resultados las siguientes interfaces, las cuales se expondrán a continuación. La figura 6 se visualiza al entrar al sistema, dicha interfaz es el Index (Inicio de sesión), aquí el usuario podrá ingresar sus datos de inicio de sesión para acceder a las diferentes funciones con las que cuenta el sistema, solo deberá ingresar su usuario y contraseña en los campos correspondientes seguido de hacer clic en el botón "Entrar", dicho botón validara si los datos ingresados por el usuario son correctos o erróneos haciéndole saber al usuario a través de una alerta, del mismo modo tendrá la posibilidad de poder registrarse o recuperar su contraseña haciendo clic en los botones correspondientes que se muestran en el formulario, cabe señalar que todos los usuarios tienen los mismo privilegios.

Figura 6. Interfaz para el inicio de sesión (Index)

La figura 7 muestra la interfaz de Registro, la cual le permite a un nuevo usuario darse de alta en el sistema, para esto se requieren los siguientes datos: nombre, apellidos, carrera, correo electrónico, número de empleado, teléfono celular, nombre de usuario y contraseña; una vez ingresado todo lo anterior el usuario procederá al darle clic al botón "Registrarse" para finalizar su registro, cabe mencionar que el formulario a llenar tiene validaciones para que no haya ningún campo vacío y para que ningún usuario y correo se repita, esto con la finalidad de proporcionar una mayor seguridad al sistema. Por otro lado, también se cuenta con el botón "Entrar", el cual cumple la función de direccionar al usuario al Index.

Figura 7. Interfaz para

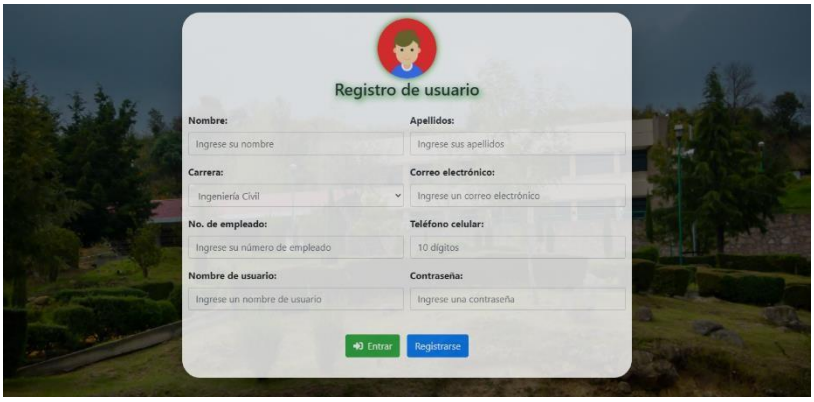


Figura 7.Se visualiza la interfaz

En la figura 8 se visualiza la interfaz Recuperar contraseña, aquí el usuario podrá crear una nueva si así lo desea, para esto primeramente hay que ingresar el correo con el cual se hizo el registro previo dentro del sistema, este será validado para verificar si realmente existe o no, si el correo no existe se le mostrará al usuario una alerta notificándole que dicho correo no existe, de lo contrario aparecerá un nuevo campo dondeel usuario debe ingresar una nueva contraseña seguido de hacer clic en el botón "Actualizar", cabe señalar quedicho campo no puede estar vacío o de lo contrario el botón no realizara ninguna acción, si todo fue exitoso del mismo modo se le notificara al usuario y se le direccionara nuevamente al Index para poder ingresar al sistema.

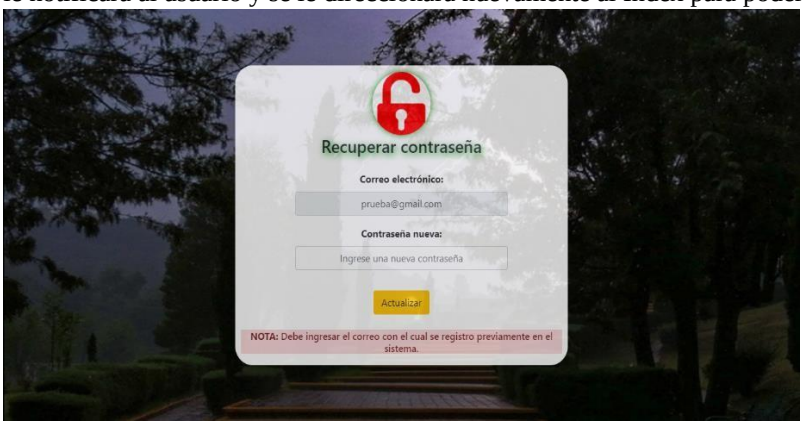


Figura 8. Validación del correo

Tras ingresar los datos requeridos para el inicio de sesión y al ser estos correctos, la primera interfaz que se muestra es el Inicio (Banco de proyectos) la cual se observa en la figura 9, en esta interfaz el usuario apreciara una barra de navegación en la parte superior teniendo los siguientes elementos: el logo del sistema, el nombre del usuario con el cual se ingresó, inicio, categorías, archivos, proyectos y salir. Cada uno de estos elementos tiene la función de direccionar a ciertas interfaces, excepto el elemento con el nombre de usuario, cabe decir que la barra de navegación podrá visualizarse en las diferentes vistas del sistema siempre y cuando exista una sesión iniciada. Debajo de todo lo anterior mencionado se encuentra una tabla en donde el usuario podrá visualizar los diferentes proyectos que han sido registrados en el sistema, tanto suyos como de otros usuarios, cada índice de la tabla cuenta con un botón para poder observar más detalladamente la información de cada uno de los proyectos si así lo desea el usuario, ya que en esta, solo se muestra la información más relevantedel proyecto, a fin de agilizar las búsquedas y ofrecerle al usuario un mejor catálogo de filtros. Cabe mencionar que dicha tabla cuenta con su respectivo filtro para búsquedas rápidas, paginador para no saturar de datos dicha interfaz y por último el selector de datos, el cual nos ayuda a elegir cuantos datos mostrar por sección de la tabla; teniendo así una interfaz muy completa para la interacción del usuario con el sistema.

Figura 9. Interfaz Inicio (Banco de proyectos)

La figura 10 muestra la interfaz de Categorías, como su nombre lo dice, esta vista proporcionara al usuario la posibilidad de crear categorías (carpetas), las cuales juegan un papel importante al momento de empezar almacenar archivos tales como: PDF, imágenes, archivos de audio y video, entre otros, por lo que si no se cuenta con al menos una categoría será imposible guardar cualquier archivo que el usuario disponga, esto con la finalidad de tener documentos categorizados y ordenados a fin de que el usuario pueda hacer búsquedas rápidas de cualquier archivo por medio del nombre categórico. Otro punto a destacar es la tabla que se muestra en dicha interfaz, en ella se muestran las diferentes categorías que han sido creadas por parte del usuario, dándole la facilidad de poder editar, crear, o eliminar cualquiera de ellas teniendo un botón para cada acción, sin embargo, una vez que a dicha categoría se le han almacenado archivos, esta no podrá ser eliminadasin antes eliminar los archivos que hay en ella, todo esto con el fin de prevenir perdidas de información. Cabe mencionar que dicha tabla cuenta con su respectivo filtro para búsquedas rápidas, paginador para no saturar de datos dicha interfaz y por último el selector de datos, el cual nos ayuda a elegir cuantos datos mostrar por sección de la tabla; teniendo así una interfaz muy completa para la interacción del usuario con el sistema.

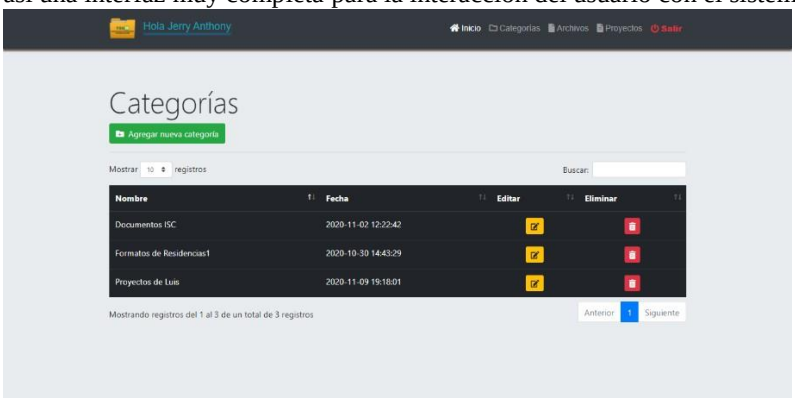


Figura 10. Interfaz de categorías

La manera en la que el usuario puede almacenar archivos dentro del sistema es dirigiéndose a la interfaz de Gestor de Archivos la cual se observa en la figura 11, en esta, el usuario tendrá la libertad de poder subir archivos al sistema siempre y cuando tenga por lo menos una categoría en donde guardar estos, de lo contrarioel usuario podrá cargarlos, pero no almacenarlos, dicha interfaz cuenta con un botón para agregar archivos de forma individual o múltiple según lo requiera este. Todos aquellos archivos que hayan sido almacenados en elsistema se podrán observar en la tabla que se aloja en esta interfaz, teniendo datos a simple vista tales como:la categoría en la que se almaceno el archivo, el nombre del archivo y la extensión del mismo (.PDF, .doc, .rar, .pnf, entre otros), seguido de un botón para poder descargar este. Cabe mencionar que dicha tabla cuenta con su respectivo filtro para búsquedas rápidas, paginador para no saturar de datos dicha interfaz y por último el selector de datos, el cual nos ayuda a elegir cuantos datos mostrar por sección de la tabla; teniendo así una interfaz muy completa para la interacción del usuario con el sistema.

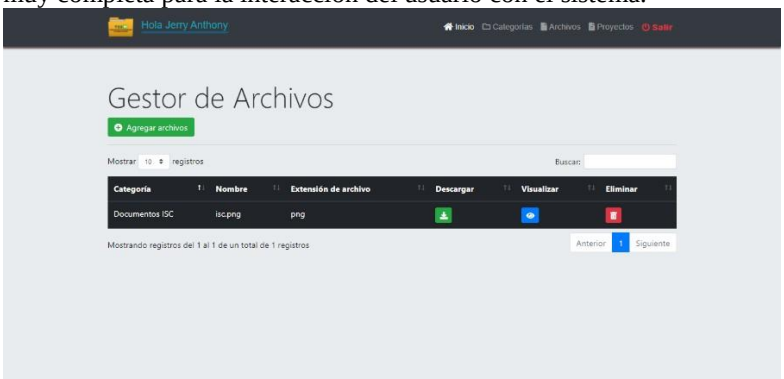


Figura11. Interfaz para la gestión de archivos

En la figura 12 se plasma la visualización para un archivo con extensión de imagen (.png, .PNG, .jpg, .JPG, .jpeg, .JPEG) vista desde el navegador Google Chrome, cabe señalar que las dimensiones de las imágenes son adaptables al modal que las contiene.

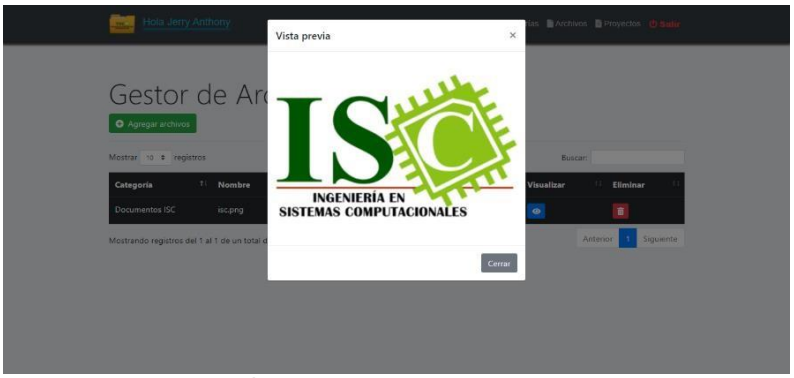


Figura 12. Visualización de una imagen desde el navegador Google Chrome

Por ultimo tenemos la interfaz de Proyectos la cual se aprecia en la figura 13, aquí el usuario podrá crear el formato para un proyecto con la información necesaria que se requiere, para generar dicho formato se necesita llenar un formulario que se divide en 3 secciones, tendiendo así:
Datos del alumno: nombre, correo electrónico, matricula, carrera, categoría en donde se guardará dicho proyecto, semestre, fecha de inicio de residencia y fecha de término.
Datos del proyecto: nombre, responsable del proyecto, características, objetivo, justificación y descripción.
Datos de la empresa o institución: nombre, dirección, correo electrónico y teléfono.
Todos los proyectos generados por el usuario se podrán apreciar en una tabla que se aloja en esta misma interfaz, mostrando solo la información más importante a simple vista tal como: la matricula del alumno al igual que su nombre, categoría donde se almaceno dicho proyecto, nombre del proyecto y asesor externo del mismo. Si el usuario se equivocó en algún dato y el proyecto ya ha sido almacenado, existe la posibilidad de corregirlo, ya que la tabla cuenta con un botón para poder editarlo, sin embargo, por seguridad del usuario, la categoría una vez asignada no será posible editarla a fin de salvaguardar esta información, o bien si el usuario así lo desea puede eliminar dicho archivo y volver a crear uno desde cero. El mayor rasgo de esta interfaz es poder generar el PDF de dicho proyecto, teniendo así un formato con toda la información que se ingresó en el formulario. Para finalizar, el usuario tiene la posibilidad al igual que en las demás tablas poder hacer una búsqueda rápida con cualquier dato que sea mostrado en esta, al igual que su paginador y el selector de datos.

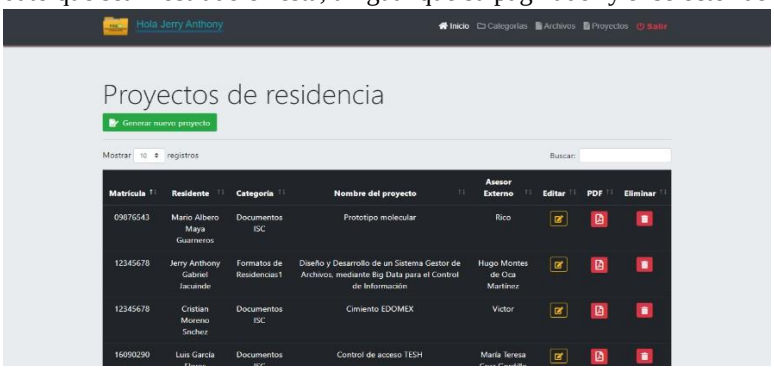


Figura13. Interfaz proyectos de residencia

CONCLUSIÓN

El presente proyecto desarrollado en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales tuvo comoobjetivo el diseño y desarrollo de un Sistema Gestor de Archivos, que mejore el control y manipulación de la información, al igual que llevar una relación de los proyectos que realicen los docentes y alumnos a lo largode su estadía en la carrera dentro del Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan. El proyecto se

generó dada la problemática de la dispersión y perdida de información del día a día, así como el bajo control de la documentación que se genera en cada semestre por parte de alumnos y docentes de esta entidad.
Los beneficios obtenidos al implementar dicho sistema es tener un buen control del flujo de información y documentación para una mejor automatización de tareas o procesos cotidianos, llevando así un registro categórico y digital.

BIBLIOGRAFÍA

- EcuRed., 2013. IDE de programación [Online]. Disponible en: https://www.ecured.cu/IDE_de_Programaci%C3%B3n [abril 20, 2013].
- Guajardo, P (2020). Bootstrap: guía para principiantes de qué es, por qué y cómo usarlo [Online]Disponible en: https://rockcontent.com/es/blog/bootstrap/ [abril 12, 2020].
- Gustavo, B (2019). Qué es jQuery [Online]. Disponible en: https://www.hostinger.mx/tutoriales/que-es-jquery/ [mayo 13, 2019].
- Gustavo, B (2019a). ¿Qué es CSS? [Online]. Disponible en: https://www.hostinger.mx/tutoriales/que-es-css/ [mayo 13, 2019].
- Gartner., 2019., Big Data. [Online] Gartner. Disponible en: https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data [octubre 13, 2019]. Robledano, Á., 2019. OpenWebinars, Qué es MySQL: Características y ventajas [Online]. Disponible en: https://openwebinars.net/blog/que-es- mysql/ [septiembre 24, 2019].
- Hopkins, B., 2011. Beyond the Hype of Big Data. [Online] CIO. Disponible en: https://www.cio.com/article/2402883/beyond-the-hype-of-big-data [octubre 20, 2011].
- Kusnetzky, D., 2010., Big Data. [Online] Zdnet. Disponible en: https://www.zdnet.com/article/what-is-big-data/ [febrero 16, 2010].
- Pino, J (2020). ¿Qué es HTML? [Online]. Disponible en: https://devcode.la/blog/que-eshtml/ [julio27, 2020].
- Reyes, J. N. (2015). Análisis de la gestión de proyectos a nivel mundial. Palermo Bussiness Review,68.
- Soluciones, A (2018). Visual Studio Code: Funcionalidades y extensiones [Online]. Disponible en: https://blog.aitana.es/2018/10/16/visual-studio-code/ [octubre 16, 2018].
- Tapias, Liliana; Lopez, Erika; Sierra, Liliana; Martinez, Betzy; Fortich, Natalia y Plazas, Jaime (2012). Importancia de diseñar, imlemetar y evaluar un objeto virtual de aprendizaje en radiologia oral, como materiales de apoyo a la docencia. Vol 4 No. 1, diciembre de 2012 pp- 93-101 Ciencia ysalud vurtual Disponible en: file:///C:/Users/gabre/OneDrive/Escritorio/Proyecto%20de%20Investigación/Importancia%20de%20diseñar%20e%20implementar.pdf

Schizophrenia and Depression Episodes Classification using Machine Learning Algorithms

Julieta G. Rodríguez-Ruiz[1], Carlos E. Galván-Tejada[1] , Alejandra Cepeda-Argüelles[1], Hamurabi Gamboa-Rosales[1], José M. Celaya-Padilla[1]

[1]*Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas, Jardín Juárez 147, Centro, Zacatecas 98000, México, e-mail: jr.ruiz68@uaz.edu; ericgalvan@uaz.edu.mx; acepeda@uaz.edu.mx; hamurabigr@uaz.edu.mx; jose.celaya@uaz.edu.mx*

Abstract

Major depressive disorder is the most prevalent psychiatric illness around the world. It affects the normal activity development of patients, limiting them to perform their daily tasks such as work, study, family care, and every daily activity. On the other hand, schizophrenia affects around one percent of the world population, but this number only represents what is known by medical care. Diagnosis of schizophrenia can hardly be concluded efficiently, especially in underdeveloped countries where psychiatrists have a low rate per population, such as Mexico. The motor activity allows precision psychiatry to propose new techniques to assist diagnosis, monitoring patients, monitoring the effectiveness of treatment, and subclassified illness to provide more precise mental care. In this work, a machine learning experimentation is present using motor activity data obtain through accelerometer monitorization in patients suffering from depression, schizophrenia, and healthy controls. Machine learning algorithms like Random Forest, Decision Tree Classifier, Super Vector Machine, Gaussian Naive Bayes, and Logistic Regression are included in the data mining process to classify depressive vs controls, schizophrenia vs controls, and depression vs schizophrenia. Results show that Random Forest is the most efficient algorithm to differentiate between depression and schizophrenia activity signals, with 0.769 accuracies. To identify depressive episodes the best classification is with Random Forest with an accuracy of 0.738, and for schizophrenia and controls classification same case Random Forest has the best accuracy of 0.856.

Keywords: depression, schizophrenia, motor activity, accelerometer.

INTRODUCTION

Psychiatric disorders such as schizophrenia, major depressive disorder (MDD), anxiety, and others increase every year. These disorders often occur at a young age, causing lifelong difficulties that interfere with an individual's social, occupational, and emotional functioning (Pasternak, 2018)

The National Alliance on Mental Illness calculates that one in five adults can be diagnosed with a psychiatric disorder, representing one of the most important issues in health care worldwide (Feldman, 2019). MDD is the most common psychiatric disorder worldwide. If not diagnosed and treated early and effectively, it may cause suicidal ideation up to suicide, producing a severe social and economic challenge (Müller, 2017).

The World Health Organization estimates that around 4.5% of people suffer from depression (Friedrich, 2017). According to the International Classification of Diseases 10th Revision (ICD-10) and The Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5), the main symptoms are the loss of the ability to care and enjoy things, decreased attention and concentration, loss of self-confidence and feelings of inferiority, suicidal thoughts and acts, sleep disorders, and other symptoms. To be diagnosed with depression, patients need to pass at least two weeks suffering these symptoms.

Schizophrenia is a major mental disorder labeled as a multifactorial disease without specifying the causes yet. It represents a serious health care problem, affecting almost 1% of the population known, frequently with significant dissociation of reality is characterized by a distortion of perception, hallucinations or delusions, withdrawal, paranoia, disorganized thought or behavior, affective blunting, and cognitive disturbances (WHO, 2019; Stepnicki, 2018). Both depression and schizophrenia demand an early diagnosis in order to provide specific psychological and psychiatric care and treatment for the patient.

Since the COVID-19 pandemic began, these numbers have increased. But the most alarming situation now is that at least 50% of patients with some psychiatric disorder do not have the mental health care they need (Sher, 2021).

One of the reasons for this situation results principally is because mental illness diagnosis can be produced only by an expert opinion using the DSM-5 and ICD-10 manuals. But still, it has a lot to do with the perception of the psychiatrist conducting the study (Bzdok, 2018). According to the Nations for Mental Health, the diagnosis of both disorders does not carry enough information for treatment planning because they coincide with epilepsy, central nervous systems traumas, cerebrovascular accidents, affective disorder, and others. In Mexico, there is less than 40 percent of the minimum psychiatrists required for the population of the country, following the WHO's statistics.

In addition, once diagnosis exists, treatment is not available to the entire population and requires exhaustive monitoring. Treatment individualization in medicine is not new, managing diseases in a personalized way persists from the begging of medicine, but it does not mean that it is precise. In psychiatry, which is a newer science in the medical field, precision turns into something even further away because of the mechanisms to diagnosis and “the wait and see” patient treatment (Fernandes, 2017).

To solve the problem, researchers integrate machine learning techniques to improve diagnosis, treatment, and monitoring of psychiatric patients, creating the concept of precision psychiatry. And generally, these algorithms of machine learning employ data from medical history, activity levels, image magnetic resonance, to name some (Bzdok, 2018).

The use of machine learning in psychology and psychiatry takes form with neuroimaging studies about classification and pattern recognition in Alzheimer’s disease, depression, and schizophrenia. Rapidly increases applications using data from distinct sources, different approaches about the finality of the studies, and starts to assist diagnosis and treatment (Dwyer, 2018). This increment occurs since the capacity of obtaining data, maintaining, and storing it is in constant improvement. Additionally, the capability of the hardware, allows data scientists to mine larger samples of data and obtain knowledge from it (Rutledge, 2019).

This paper explains every stage of a data mining process in detail to obtain episode classification between depressive, schizophrenic patients, and healthy controls using machine learning algorithms.

DEVELOPMENT

OBJECT OF STUDY

Techniques employ to diagnose depression or schizophrenia are a physical exam, a blood test looking for substances abuse in schizophrenia or hypothyroidism in depression, and a psychological evaluation. Furthermore, in the diagnosis of schizophrenia, it is habitual the use of computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) to prove the absence of other affections that can be causing similar symptoms (Sadeghi, 2021).

On the other hand, schizophrenia and major depressive disorder (MDD) have the characteristics of changes in daily motor activity patterns and the development of sleep disorders. These modifications in physical behavior can be produced for the lack of sleep time or hypersomnia, making the patient spend a lot of his time in bed, reducing the desire to do ordinary

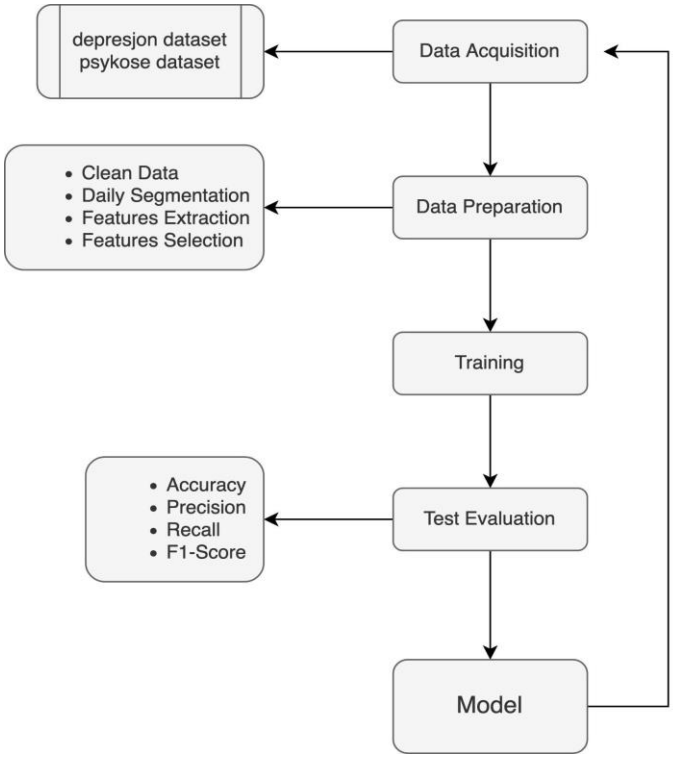
activities, and interact with other people. Monitoring this performance of patients results in an effective tool for treatment even in first-level care (Ransing, 2021, Edinger, 2016).

Monitoring sleep disturbances in psychiatric patients turn into the future for medicine. It allows a closeness between the doctor and the patient remotely, and tracking treatment effectiveness becomes more efficient, the last one being the primary objective (Strollo, 2011, Watson, 2017). Besides, physical activity can be measured with smartphones, smartwatches, simple actigraphy, and other devices with an accelerometer. Convert it into a non-invasive method, minimal, cheaper, and efficient in recognition of activity patterns (Rodríguez, 2020). Zi Ying Wee et al. present a systematic review about classification of schizophrenia and healthy controls using motor activity data proving the effectiveness of using it to classify or even identify new techniques to make an early diagnosis using actigraphy (Wee, Z. Y., 2019).

An accelerometer measures acceleration by vibration or movement of the device. There are three types of accelerometers; piezoelectric, piezoresistance, and capacitive. Commonly used devices like smartwatches, smartphones, clothes, etc., include these mechanisms to measure steps during the day, sleep time, or distance covered during a period of training. In patients with psychiatric disorders, this technology represents a brand new field to be studied, essentially because of the reduction of anxiety and stress in patients that demand exhaustive examination or monitoring. The improvement nowadays is using the data provided for the accelerometer in order to recognize activity patterns and obtain knowledge from them.

METHODOLOGY

Figure 1. Data mining process using in this experiment.



The searching of knowledge from databases is a methodological process with well-defined and established steps. This process involves steps; data acquisition, cleaning and preparing data, training a model, evaluation of the model, and finally deployment or documentation of the results.

Like almost every process related to creating new knowledge, product, or theory, this data mining process is iterative, allowing to manipulate data in every step with the flexibility to take one pace back if necessary.

In the literature, diverse frameworks describe the data mining process, the most popular frameworks are Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) and Knowledge Discovery in Databases (KDD) (Kotu & Deshpande, 2015). Based on the KDD framework in figure 1, the data mining process for this work is present, from data acquisition to a final model to classified depressive and schizophrenia daily episodes. Since the process is iterative, every iteration results in a

trained and tested model for depressive-control, schizophrenia-control, or depressive-schizophrenia classification using different machine learning algorithms.

Each classification uses a specific segment of the data selecting pair classes, and each model is trained and tested with algorithms: Random Forest (RF), Decision Tree Classifier (DT), Super Vector Machine (SVM), Gaussian Naive Bayes (GB), Logistic Regression (LR).

DATA ACQUISITION

The first step in a data mining process is to obtain the raw material to mine, in this case, motor activity data. Enrique García-Ceja et al. collected and published monitor activity data from 23 depressive patients and 32 healthy controls available in https://doi.org/10.5281/zenodo.1219550 (Garcia-Ceja, E., 2018, April 17). Besides, Petter Jakobsen et al. recollected and published data from schizophrenic patients and healthy controls with open access on the website https://datasets.simula.no/psykose/ *(Simula Psykose*. 2020).

Both datasets contain motor activity data collected from patients and healthy controls with an Actiwatch, Cambridge Neurotechnology Ltd, England, model AW4. This mechanism is formed by a piezoelectric accelerometer with a 32 Hz sample with a configuration to count movements over 0.05g per minute. The folder downloaded contains a CSV file per patient suffering from MDD, schizophrenia, and healthy controls with columns; date, timestamp, and activity. This last one represents every count of activity in the time domain. In addition, it includes one CSV file with the summary of all depressive and schizophrenic patients respectively, describing patients and specifications around the collection of data, like mean of days monitored, the initial stage of the patient, diagnosis, and treatment.

DATA SEGMENTATION

Motor activity signals in the dataset represent around 13 days of regular activity in depressive patients, schizophrenic patients, and healthy controls. Unifying the CSV files for each patient and control conforms to a unidimensional vector of activity counts constituting a single data observation. Machine learning algorithms need a set of observations as input to learn and formulate an objective function.

For this motive, segmentation of data in the early steps is key in this process, in the same way, cleaning and normalizing data are techniques commonly used in this stage.

In this case, is cutting the activity signal into daily segments, one day has 1440 minutes, and for every class; depression, schizophrenia, and healthy control have a different amount of monitor days. Table 1 presents the dimensions of every matrix class, being the first number the size of the observations.

Table 1. Matrix size per dataset.

depression	559 · 1440
schizophrenia	546 · 1440
healthy control	670 · 1440

FEATURE EXTRACTION & SELECTION

For feature extraction, if we observe each observation as a vector, then each item conforming to the vector is a feature describing it. Having 1440 features per observation is a complex matrix to be analyzed, feature extraction consists in reducing the dimensionality of data with the primary objective to improve machine learning algorithms' performance by reducing the computational cost.

Activity data represent counts of accelerations, and the easy way to describe a signal in the time domain is to obtain the principal statistical moments, allowing dimensionality reduction and a first inspection into the data.

The first column of Table 2 lists every statistic obtained for each daily data observation followed by its equation. Feature extraction is centered in measures of central tendency and measures of variability, to obtain a better description of the entire sample.

Upcoming three columns of table 2, contain a list of asterisks representing the feature selected for every binary classification. After the extraction of features, the next level to reduce the dimensionality of the matrix dataset is feature selection. Elimination with cross-validation (REFCV) using a random forest classifier produces every set of features selected, this process is executed three times, one for each binary classification, which is the reason for having three different sets.

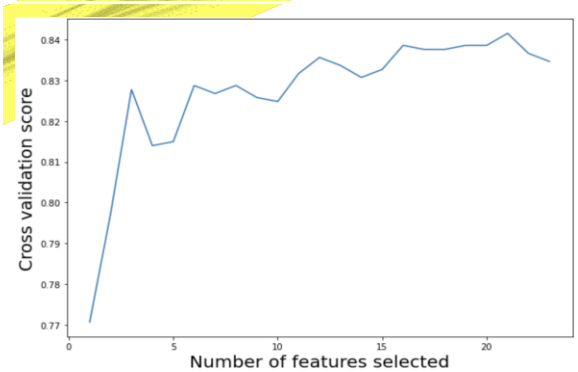
Table 2. Features extracted from motor activity signal and features selected in each experiment.

Feature	Equation	schizophrenic vs control	depressive vs control	depressive vs schizophrenic
Mean ($\bar{x}$)	$1/n \sum_{i=1}^{n} x_i$	·	·	·
Summary	$\sum_{i=1}^{n} x_i$	·	·	·
Maximum	*maximum value*	·		·
Minimum	*minimum value*			
Median	$x_{(n+1)/2}$	·		·
Standard Deviation (σ)	$\sqrt{(\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2/(n-1))}$	··		··
Decile 1 D_1	$1 * (n+1)/10$ *min value*			
Decile 2	D_2	··		
Quartile 1	Q_1	·		
Decile 3	D_3	··		
Decile 4	D_4	·		·
Quartile 2	Q_2	··	··	··
Decile 6	D_6	·		·
Decile 7	D_7	·		·
Quartile 3	Q_3	·		·
Decile 8	D_8	·	·	·
Decile 9	D_9	·		·
Kurtosis	$1/(n\,\sigma^4) \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^4$	·		·
Mean Absolute Deviation	$1/n \sum_{i=1}^{n} \lvert x_1 - \bar{x} \rvert$	·		·
Standard Error of Mean	$\sigma/\sqrt{n}$	*		*
Skewness	$1/(n\,\sigma^3) \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^3$	·		·
Variance	$1/n \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2$	·		·
Unique	*counting of distinct element*	*	*	*

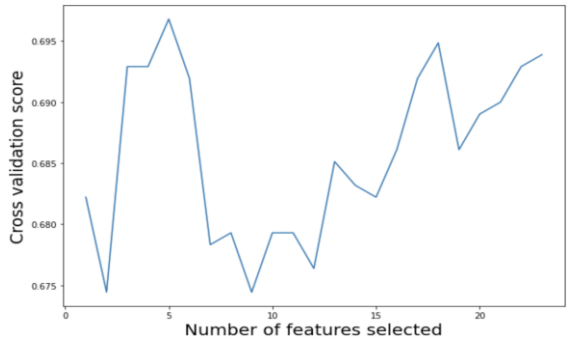
$n = total\ number\ of\ samples, x_i = actual\ sample, \bar{x} = mean, \sigma = standard\ deviation, Q_i = quartile\ i,$
$D_i = decile\ i.$

Receiver operating characteristic curve, ROC curve, plot the accuracy of the machine learning algorithm to classify classes, in figure 2 it can see the ROC curve for each classification, describing the size and constitution of the feature selection set. The highest point in the plot represents the best performance of the classification, in other words, the size of the features selection set. And every point in the x-axis refers to a feature randomly selected.
This selection is vital for the performance of the algorithm, continually some features are not only not meaningful but are even misinformative about the sample, in the last case the performance of the machine learning algorithm can be seriously affected in terms of misunderstanding classes.

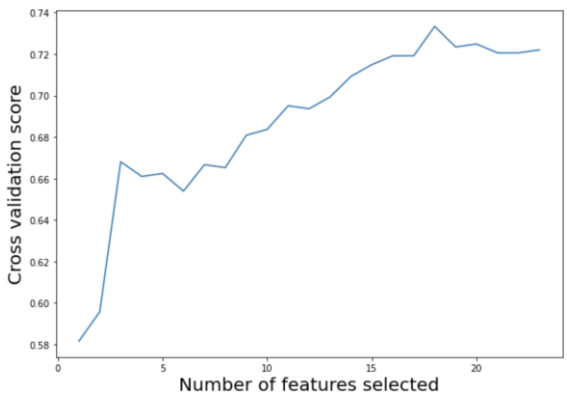
Fig 2. Feature selection score between classes; schizophrenic, depression, and control.



a) schizophrenics vs controls



b) depressives vs controls



c) depressives vs schizophrenics

CLASSIFICATION

Culminative point in the data mining process can be the classification. It consists of the application of a machine learning algorithm, with data as the input, and classification or prediction as an output. Is carried out an implementation of RF, DT, SVM, GN, and LR classifiers for each binary classification described previously. Accuracy (1), Precision (2), Recall (3), and F-1 Score (4) are used to evaluate the efficiency of every model.

Accuracy in equation 1 describes how near the model is from the real value of the sample. In equation 2, precision calculates the amount of positive classification that there are actually correct. For recall, equation 3, calculates the amount of actual positive samples classified as positive. And finally, with F1-score combining both precision and recall to obtain a harmonic mean, it can be useful with imbalance data.

$$Accuracy = \frac{True\ Positive + True\ Negative}{True\ Positive + False\ Positive + True\ Negative + False\ Negative} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Positive} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Negative} \quad (3)$$

$$F1 - Score = \frac{2 * (precision * recall)}{precision + recall} \quad (4)$$

In table 2 is shown all the metrics calculated for the validation of every experiment. For every classification, the algorithms are trained with 70% of data, and then testing is produced with the rest random 30%. And the implementation of the algorithm for machine learning is made using Scikit-learn of python with the specific packages of RandomForestClassifier, DecisionTreeClassifier, SVM, GaussianNB, and LogisticRegression. No matter the evident imbalance of classes in every experimentation, they are not weighted to avoid biased. And metrics obtained with python sklearn take every class as unique, in the same way as it would a multiclass classification.

Tabla 2. Classification scores from each experiment.

Algorithm	Class	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
RF	depressive	0.769	0.78	0.77	0.77
	schizophrenic		0.76	0.77	0.77
	control	0.856	0.86	0.93	0.89
	schizophrenic		0.84	0.71	0.77
	control	0.738	0.78	0.84	0.81
	depressive		0.65	0.55	0.59
DT	depressive	0.702	0.66	0.71	0.70
	schizophrenic		0.73	0.69	0.71
	control	0.763	0.81	0.82	0.82
	schizophrenic		0.66	0.66	0.67
	control	0.728	0.77	0.80	0.79
	depressive		0.65	0.60	0.62
SVM	depressive	0.716	0.69	0.73	0.71
	schizophrenic		0.73	0.71	0.72
	control	0.822	0.86	0.86	0.87
	schizophrenic		0.72	0.73	0.73
	control	0.718	0.73	0.90	0.81
	depressive		0.66	0.38	0.49
GB	depressive	0.62	0.71	0.42	0.53
	schizophrenic		0.59	0.83	0.69
	control	0.70	0.89	0.64	0.75
	schizophrenic		0.52	0.84	0.64
	control	0.715	0.84	0.70	0.76

	depressive		0.57	0.74	0.64
LR	depressive	0.660	0.69	0.67	0.68
	schizophrenic		0.63	0.65	0.64
	control	0.796	0.91	0.77	0.84
	schizophrenic		0.64	0.85	0.73
	control	0.728	0.79	0.81	0.80
	depressive		0.59	0.56	0.58

RESULTS AND DISCUSSION

Classification using all-day samples reduces the complexity of segmentation and size of the full data to be analyzed, and results present a favorable classification for both depressive and schizophrenic episodes.

Classification of depressive vs controls using all day with features is not better than previous researches, it can be explained because of the similitude of behavior between controls and depressive patients, if the analysis is centered in all-day, it tends to be very similar, since depressive is an episodic illness use a smaller segmentation can increase efficiency. For this classification, the highest accuracy was obtained with RF, 0.738.

In contrast, using data from schizophrenics patients, classification increase in accuracy to 0.856 using RF. Classification of depressive against schizophrenic episodes with motor activity have an accuracy between 0.620 to 0.769, RF been the best classification model and GB least efficient.

RF classifier tends to be more stable with classifications, in this case, for motor activity data result in the best option for the three experiments, and in addition, is a good cost-effective option to produce this classification from different devices without leaving behind efficiency.

It should be noted that the metrics precision, recall, and f1-score are performed separately for each class because it is worth analyzing whether the imbalance that exists between the classes, especially in the classification against controls, affects performance. So instead of showing a weighted average, the results are shown as if it were a multiclass classification. And indeed it can notice a significant change regarding this unbalanced classification using the data from the controls, which almost duplicates the value of the patient observations.

CONCLUSION

This paper presents a baseline classification for MDD and schizophrenia with motor activity data, using all-day as a sample, extracting and selecting statistical features. These results in the experiments about classifications demonstrated the potential to use activity to recognize patterns between two different mental illnesses. About the data, following the vision on the non-invasive mechanism to recollect data, the actiwatch is a magnificent device to accomplish it. This kind of experimentation is looking to improve medical care, since the assistance in the diagnosis, treatment, and personalized caring of patients. And experimentation using more than one disease can evidence the efficiency of the classification, especially in psychiatry that is more subjective the medical care.

For future work, it is a proposal to perform a multiclass classification, manipulate the data to obtain other features, balanced data to increase the performance of the machine learning algorithms, and use deep learning algorithms to compare accuracies and performance.

ACKNOWLEDGMENT

Julieta G. Rodríguez Ruiz acknowledge to the Mexican National Council of Science and Technology, CONACYT for the scholarship granted.

REFERENCES

Association, A. P. (2014). *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales DSM-V*. Barcelona: Masson

Bzdok, D., & Meyer-Lindenberg, A. (2018). Machine Learning for Precision Psychiatry: Opportunities and Challenges. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, *3*(3), 223–230. https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2017.11.007

In-text citation

Dwyer, D. B., Falkai, P., & Koutsouleris, N. (2018). Machine Learning Approaches for Clinical Psychology and Psychiatry. *Annual Review of Clinical Psychology*, *14*(1), 91–118. https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032816-045037

Edinger, J. D., Grubber, J., Ulmer, C., Zervakis, J., & Olsen, M. (2016). A Collaborative Paradigm for Improving Management of Sleep Disorders in Primary Care: A Randomized Clinical Trial. *Sleep*, *39*(1), 237–247. https://doi.org/10.5665/sleep.5356

Feldman, R., Schreiber, S., Pick, C. G., & Been, E. (2019). Gait, balance, mobility and muscle strength in people with anxiety compared to healthy individuals. *Human Movement Science*, *67*, 102513. https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.102513

Fernandes, B. S., Williams, L. M., Steiner, J., Leboyer, M., Carvalho, A. F., & Berk, M. (2017). The new field of 'precision psychiatry.' *BMC Medicine*, *15*(1). https://doi.org/10.1186/s12916-017-0849-x

Friedrich, M. (2017). Depression Is the Leading Cause of Disability Around the World. *JAMA*, *317*(15), 1517. https://doi.org/10.1001/jama.2017.3826

Garcia-Ceja, E. (2018, April 17). *DEPRESJON dataset*. Zenodo. https://zenodo.org/record/1219550

Garcia-Ceja, E., Riegler, M., Jakobsen, P., Tørresen, J., Nordgreen, T., Oedegaard, K. J., & Fasmer, O. B. (2018). Depresjon. *Proceedings of the 9th ACM Multimedia Systems Conference*. Published. https://doi.org/10.1145/3204949.3208125

Jakobsen, P., Garcia-Ceja, E., Stabell, L. A., Oedegaard, K. J., Berle, J. O., Thambawita, V., Hicks, S., Halvorsen, P., Riegler, M., & Fasmer, O. B. (2020). PSYKOSE: A Motor Activity Database of Patients with Schizophrenia. *OSF Preprints*. Published. https://doi.org/10.31219/osf.io/e2tzf

Kotu, V., & Deshpande, B. (2015). Data Mining Process. *Predictive Analytics and Data Mining*, 17–36. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801460-8.00002-1

Müller, N. (2017). immunological aspects of the treatment of depression and schizophrenia. Dialogues in clinical neuroscience, 19(1), 55-63. doi:10.31887/DCNS.2017.19.1/nmueller

Organization, W. H. (2017). Depression and other common mental disorders:Global Health Estimates. World Health Organization.

Organization, W. H. (2017). Schizophrenia and public health. World Health Organization.

Pasternak, O., Kelly, S., Sydnor, V., & Shenton, M. (2018). Advances in microstructural diffusion neuroimaging for psychiatric disorders. NeuroImage, 182, 259-282. doi:https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.04.051

Ransing, R., Patil, P., Patil, S., & Agrawal, S. (2021). Comparison of actigraphy indices among patients with depression and schizophrenia: A preliminary study. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, *10*(9), 3406. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_1693_20

Rodríguez-Ruiz, J. G., Galván-Tejada, C. E., Zanella-Calzada, L. A., Celaya-Padilla, J. M., Galván-Tejada, J. I., Gamboa-Rosales, H., ... & Soto-Murillo, M. A. (2020). Comparison of night, day and 24 h motor activity data for the classification of depressive episodes. *Diagnostics*, *10*(3), 162.

Rutledge, R. B., Chekroud, A. M., & Huys, Q. J. (2019). Machine learning and big data in psychiatry: toward clinical applications. *Current Opinion in Neurobiology*, *55*, 152–159. https://doi.org/10.1016/j.conb.2019.02.006

Sadeghi, D., Shoeibi, A., Ghassemi, N., Moridian, P., Khadem, A., Alizadehsani, R., ... & Nahavandi, S. (2021). An Overview on Artificial Intelligence Techniques for Diagnosis of Schizophrenia Based on Magnetic Resonance Imaging Modalities: Methods, Challenges, and Future Works. *arXiv preprint arXiv:2103.03081*.

Sher, L. (2021). Individuals with untreated psychiatric disorders and suicide in the COVID-19 era. *Brazilian Journal of Psychiatry*, *43*(3), 229–230. https://doi.org/10.1590/1516-4446-2020-1210

Simula Psykose. (2020). The Psykose Dataset. https://datasets.simula.no/psykose/

Stepnicki, P., Kondej, M., & Kaczor, A. (2018). Current concepts and treatments of schizophrenia. *Molecules*, *23*(8). doi:; doi:10.3390/molecules23082087

Strollo, P. J., Badr, M. S., Coppola, M. P., Fleishman, S. A., Jacobowitz, O., & Kushida, C. A. (2011). The Future of Sleep Medicine. *SLEEP*. Published. https://doi.org/10.5665/sleep.1410

Watson, N. F., Rosen, I. M., & Chervin, R. D. (2017). The Past Is Prologue: The Future of Sleep Medicine. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, *13*(01), 127–135. https://doi.org/10.5664/jcsm.6406

Wee, Z. Y., Yong, S. W. L., Chew, Q. H., Guan, C., Lee, T. S., & Sim, K. (2019). Actigraphy studies and clinical and biobehavioural correlates in schizophrenia: a systematic review. *Journal of Neural Transmission*, *126*(5), 531–558. https://doi.org/10.1007/s00702-019-01993-2

Detección de la Obstrucción de la Imagen en la Cámara de Reversa de un Vehículo Mediante Redes Neuronales Convolucionales

Luis C. Reveles-Gómez[1], Huizilopoztli Luna-García[2], José M. Celaya-Padilla[3], Hamurabi Gamboa-Rosales[4],José G. Arceo-Olague[5]

[1] Centro de Investigación e Innovación Automotriz de México (CIIAM), Universidad Autónoma de Zacatecas, email: luiscarlosreveles@uaz.edu.mx.
[2] Laboratorio de Tecnologías Interactivas y Experiencia de Usuario (LITUX), Universidad Autónoma de Zacatecas, email: hlugar@uaz.edu.mx.
[3] Laboratorio de Tecnologías Interactivas y Experiencia de Usuario (LITUX), Universidad Autónoma de Zacatecas,email: jose.celaya@uaz.edu.mx.
[4] Centro de Investigación e Innovación Automotriz de México (CIIAM), Universidad Autónoma de Zacatecas, email: hamurabigr@uaz.edu.mx.
[5] Universidad Autónoma de Zacatecas, email: arceojg@uaz.edu.mx.

Línea de investigación: Inteligencia Artificial.

Resumen

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, en los últimos años se ha dado un importante incremento en la mortalidad derivado de accidentes vehiculares. Por otra parte, la seguridad vial se ha convertido en un tema de suma importancia a nivel mundial, donde diversos países contribuyen al desarrollo de nuevas tecnologías con el objetivo de reducir la cantidad de accidentes viales. De la misma manera, en el transcurso de los últimos años el estudio de la Inteligencia Artificial ha llevado a la creación de diseño de sistemas inteligentes aplicados a la seguridad vial, una de las funciones de estos sistemas es, por ejemplo, la detección de peatones, la cual se realiza por medio de cámaras, algún sensortipo radar, entre otras. Con el propósito de contribuir al tópico de interés, la presente investigación muestra el uso de las Redes Neuronales Convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés) para detectar la suciedad en los lentes de las cámarasde reversa de un vehículo. Este tipo de factores afecta directamente la visibilidad, lo cual conlleva al aumento en el riesgode sufrir una colisión cuando se da marcha atrás al vehículo. Aplicando una metodología general de minería de datos se obtuvo un resultado de 0.89 de exactitud. Demostrando que la CNN es capaz de predecir cuándo se presenta algún tipo deobstrucción por suciedad.

Palabras Clave: Cámara de reversa, Inteligencia Artificial, Obstrucción, Redes Neuronales Convolucionales (CNN), Suciedad.

Abstract

According to the World Health Organization, in recent years there has been a significant increase in mortality from vehicular accidents. On the other hand, road safety has become an issue of great importance worldwide, where various countries contribute to the development of new technologies with the aim of reducing the number of road accidents. In the same way, in the course of recent years the study of Artificial Intelligence has led to the creation of the design of intelligent systems applied to road safety, one of the functions of these systems is, for example, thedetection of pedestrians, which is done through cameras, some radar type sensor, among others. In order to contribute to the topic of interest, this research shows the use of Convolutional Neural Networks (CNN) to detect dirt in the lenses of the reverse cameras of a vehicle. These types of factors directly affect visibility, which leads to an increasedrisk of a collision when the vehicle is reversed. Applying a general methodology of data mining, a result of 0.89 accuracy was obtained. Demonstrating that CNN is able to predict when some kind of dirt obstruction occurs.

Keywords: Reverse Camera, Artificial Intelligence, Obstruction, Convolutional Neural Networks (CNN), Dirt.

INTRODUCCIÓN

Los traumatismos causados por los accidentes de tránsito constituyen la principal causa de defunción entre los jóvenes con edades comprendidas entre los 15 y 29 años. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2004) informó que, nuevede cada diez defunciones en carretera (90%) se producen en los países de ingresos bajos y medianos. El 46% de las personas que fallecen en el mundo a consecuencia de accidentes de tránsito son peatones, ciclistas, conductores o motociclistas (Pablo & Quezada, 2015). Tratar de reducir las cifras y las consecuencias de los accidentes de tráfico es unatarea relevante para los gobiernos y los investigadores, de acuerdo con (Pérez Requena, 2018), es importante contribuir en la disminución de muertes derivadas de accidentes automovilísticos desde un enfoque tecnológico.

El avance en las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) ha originado el uso e implementación de nuevas herramientas tecnológicas, por ejemplo, la Inteligencia Artificial (IA) en la industria automotriz (Aguirre et al., 2021). Se han desarrollado propuestas, con el fin de contribuir en la disminución del número de accidentes viales por colisiones, tanto con peatones u objetos del entorno. Derivado de esto, el uso de las técnicas de IA como Visión por Computadora o también conocida como Visión Artificial (VA) (Sucar & Gómez, 2011), han tenido un impacto favorable para reducir los accidentes viales. Un sistema de VA intenta simular lo que una persona humana capta por el sentido de la vista, es decir, reconocimiento de figuras, objetos, distancia, textura y demás características que un humano deduce de un objeto con solo verlo (Txarterina, 2013).

La aplicación de VA a originado la creación de sistemas para detección de peatones, ya que es un aspecto importante parala industria automotriz en el desarrollo de vehículos inteligentes. De acuerdo con (Cao et al., 2020), para llevar a cabo la detección de peatones se consideran algunos aspectos, como: el problema de detectar correctamente debido a los factores ambientales, afectando a la precisión en tiempo real, entre otros. Asimismo, se identifican varios retos, entre ellos, una problemática frecuente es que las bases de datos con imágenes de peatones a menudo contienen un rango limitado de variación de escala, oclusión, pose o son bastante pequeñas, lo que dificulta la evaluación real (Dollar et al., 2010).

Uno de los principales desafíos es que la visibilidad de las cámaras de reversa se ve afectada dramáticamente por la suciedad (Uřičář et al., 2020). Esto aumenta el riesgo de sufrir alguna colisión cuando se da marcha atrás al vehículo. Si bien existen sistemas para limpiar de forma automática las cámaras, son dispositivos de alto costo y considerados un extraagregado e invasivo.

Con el propósito de contribuir en el tópico de interés, la presente investigación se propone una solución alterna de bajo costo para detectar la obstrucción de la cámara de reversa. Tomando de base la Visión Artificial y la aplicación de Redes Neuronales Artificiales Convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés) (Lecun et al., 1998).

DESARROLLO

El proyecto general consiste en dos fases, Fase 1; *Agentes obstructivos del entorno* y Fase 2; *Detección de Peatón*. Comose muestra en la Figura 1, estas fases están ligadas una con la otra, si se identifica una obstrucción de la imagen, la detecciónde peatones se ve directamente afectada. Por ello, la Fase 1 consiste en detectar algún tipo de obstrucción en la cámara y la Fase 2 consiste en la detección de peatones. Algunas propuestas identificadas en la literatura relacionada han trabajadoeste enfoque, sin embargo, en esas investigaciones se busca predecir qué hay detrás de la suciedad en las cámaras oblicuasdel vehículo (Uřičář et al., 2020)(Uřičář et al., 2021), en este trabajo, se pretende detectar primero la obstrucción en la cámara y posteriormente mostrar un mensaje en la pantalla donde al conductor se le notifiqué de la existencia de suciedaden la misma.

Figura 1. Fases de Desarrollo para Detección de Peatones con Cámara de Reversa.

Nota: *Elaboración propia.*

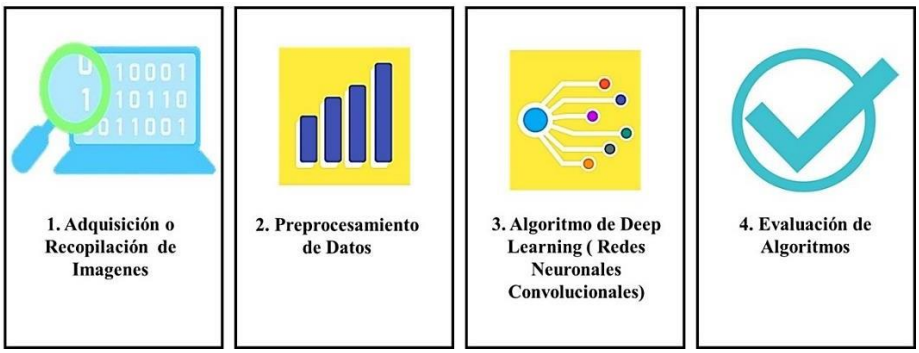
OBJETO DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación está enfocado en la detección de una obstrucción en la cámara de reversa. Es decir, una obstrucción es la suciedad o bien gotas de agua que provoquen una reducción en la visibilidad y la resolución de la imagen. Con la ayuda de las técnicas de IA, se aplica el algoritmo de CNN para realizar la detección. La investigación pretende ayudar a evitar alguna colisión debido a una obstrucción al dar la marcha atrás al vehículo.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación se tomó como base la metodología general de la Minería de Datos (Data Mining, por sus siglas en inglés) propuesta por (Fayyad et al., 1996). En la figura 2, se observan las etapas que contiene la metodología empleada. Consta de 4 fases fundamentales para el desarrollo de la investigación. A continuación, se describede forma general cada una de estas etapas.

Figura 2. Metodología General de Investigación.



Nota: *Elaboración propia.*

Etapa 1: En la etapa 1 de la metodología para esta investigación, consiste en la adquisición o recopilación de los datos para procesar. Los datos de entrada son las imágenes tomadas por una cámara de reversa de un vehículo, las cuales se almacenarán para posteriormente analizarlas.

Etapa 2: La etapa 2 consiste en el preprocesamiento de los datos. En esta etapa las imágenes se preprocesan. Se desarrolla una normalización entre todas las imágenes para hacerlas iguales en cuestión de características de tamaño.

Etapa 3: En la etapa 3, se aplica el algoritmo de aprendizaje profundo (Deep Learning, por sus siglas en inglés). Se trabaja con las imágenes previamente preprocesadas. En esta se entrena una CNN con las imágenes para el aprendizaje del algoritmo. De esta manera, el algoritmo identifica entre una imagen con una obstrucción y una imagen sin obstrucción.

Etapa 4: Por último, en la etapa 4, se evaluará el algoritmo. Se determina la eficiencia y que tan bueno es para predecir eventos según las imágenes de entrada. Para justificar la evaluación se consideran métricas estadísticas que en la siguiente sección se describen.

FASES DEL DESARROLLO

Adquisición de Datos

La primera fase de desarrollo de esta investigación fue llevar a cabo la recopilación de imágenes. Se adquirió una cámarade reversa como se muestra en la Figura 3. Posteriormente, se colocó en un vehículo (sin cámara de reversa de fábrica) con el fin de tener acceso a la imagen y guardar la información en una computadora.

Figura 3. Cámara de Reversa.

Nota: *Adquirida en ZC Tienda oficial Tepotzotlán, Estado De México.*

La cámara de reversa utilizada, se encuentra entre los estándares generales que utilizan los vehículos con cámaras integradas de fábrica. Las características de la cámara empleada, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de la Cámara de Reversa.

Característica	Detalle
Píxel efectivo	658*588 pixeles
Angulo de Visión	170°
Resolución	480 Tv Líneas

Nota: *Elaboración propia de las especificaciones técnicas de la cámara de reversa.*

Una vez instalada la cámara de reversa, se realizó la adquisición de imágenes en diferentes escenarios y horas del día. Para obtener imágenes con obstrucción, se ensucio la cámara con lodo como se observa en la Figura 4. Para realizar la adquisición de imágenes se utilizó el software OBS Studio (OBS, 2021). Este software permite realizar grabaciones de dispositivos de video. Posteriormente, para extraer las imágenes del video grabado con OBS, se emplea el lenguaje de programación Python. Se desarrolló un script que permitiera adquirir los Frames Por Segundo (FPS) de los videos de cadaescenario.

Figura 4. Cámara Sucia.

Nota: *La cámara ensuciada intencionalmente simulando una conducción en condiciones extremas.*

Al final de la adquisición de imágenes se generó una base de datos con imágenes exclusivamente de la cámara de reversa. De esta manera, se obtuvieron dos conjuntos de imágenes. Tal como se muestran en la Figura 5.

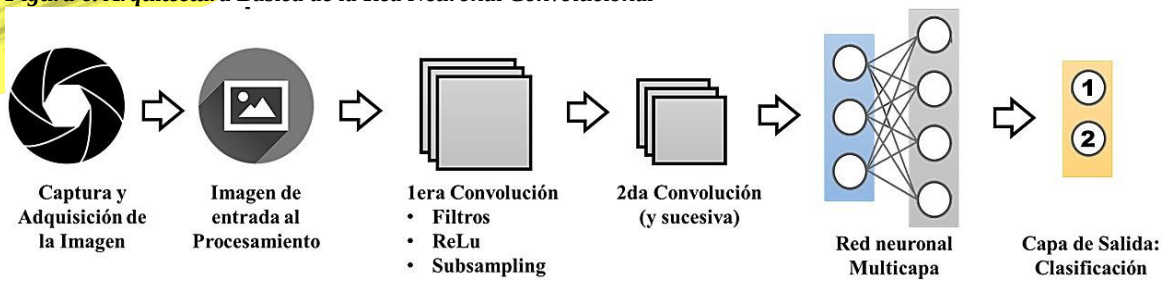
Figura 5. a) Imagen Con Obstrucción y b) Imagen Sin Obstrucción

Nota: *a) Representa una imagen capturada con la cámara obstruida con lodo, observándose manchas en gran parte de la imagen. b) Imagen tomada con la cámara totalmente limpia sin imperfecciones en el lente.*

Preprocesamiento y Red Neuronal Convolucional

Posteriormente, se realizó un ajuste en el tamaño de las imágenes. Las imágenes originales tenían un tamaño de 1280 pixeles x 720 pixeles. Lo cual se considera un tamaño muy grande y demasiados pixeles para que la CNN analice. Se ajustó el tamaño de cada imagen a una resolución de 420 pixeles x 420 pixeles. De esta manera, lograr que el procesamientode la CNN sea menor. Cabe mencionar que la CNN, fue creada con Python utilizando las librerías Tensorflow y Keras. Dos librerías utilizadas con algoritmos de Deep Learning. La CNN se diseñó bajo la arquitectura que se muestra en la Figura 6, siendo la arquitectura básica de una CNN (Bagnato, 2018).

Figura 6. Arquitectura Básica de la Red Neuronal Convolucional



Nota: *Elaboración propia.*

Tomando como referencia la arquitectura básica de una CNN, se propuso una CNN para esta investigación que contienelas siguientes características;

- Dos capas de convolución con 32 Kernels cada una y con función de activación ReLu.
- Una red neuronal multicapa, la cual tiene 128 neuronas de entrada, tres capas ocultas de 75, 50 y 25 neuronas respectivamente con una función de activación ReLu.
- Una capa de salida con una función de activación sigmoid, debido a que solo se analiza dos casos posibles (imágenes sucias e imágenes limpias).

La arquitectura antes mencionada se definió a partir de varias pruebas y de analizar el comportamiento de la CNN con diversos parámetros. Logrando tener una arquitectura que funcione para resolver el problema de esta investigación.

Evaluación de la CNN

Por último, para evaluar el rendimiento de la CNN propuesta, se utilizaron algunas métricas estadísticas, una matriz de confusión y las curvas ROC (Receiver Operating Characteristic, por sus siglas en ingles). La matriz de confusión es una herramienta que permite la visualización del desempeño de un algoritmo (Camaré, 2008). Cada columna de la matriz representa el número de predicciones de cada clase, mientras que cada fila representa a las instancias en la clase real (ver Tabla 2). Uno de los beneficios de las matrices de confusión es que facilitan una vista general de si el sistema está clasificando correctamente la información.

Tabla 2. Matriz de Confusión (Camaré, 2008).

		Predicción	
		Positivos	**Negativos**
Observación	**Positivos**	Verdaderos Positivos (VP)	Falsos Negativos (FN)
	Negativos	Falsos Positivos (FP)	Verdaderos Negativos (VN)

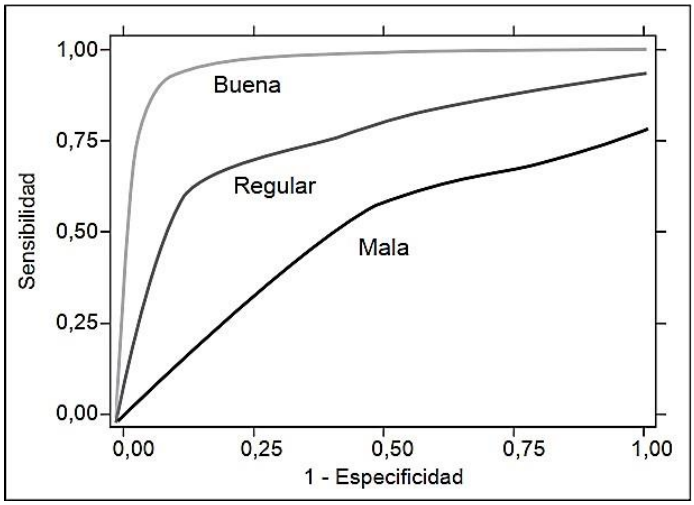
Nota: Tomada de (Camaré, 2008).

La matriz de confusión proporciona los datos mostrados en la Tabla 2. Además, proporciona información adicional para obtener más métricas de evaluación:

- Exactitud
- Precisión
- Sensibilidad
- Especificidad

La curva ROC es una representación gráfica y bidimensional del rendimiento del algoritmo tal y como se muestra en la Figura 7. A fin de evaluar algoritmos, es posible que se desee reducir el rendimiento de la ROC a un solo valor escalar que represente el rendimiento esperado. Un método común es calcular el área bajo la curva ROC, o simplemente AUC (por sus siglas en inglés), puesto que proporciona un "resumen" claro del rendimiento de las curvas ROC (Huang & Ling, 2005).

Figura 7. Representación de Posibles Curvas ROC (Burgos & Manterola, 2010).



Nota: *Adquirida del artículo de investigación, "Cómo interpretar un artículo sobre pruebas diagnósticas" (Burgos & Manterola, 2010).*

Puesto que el AUC es una parte del área del cuadrado de la unidad y su valor siempre estará entre 0.0 y 1.0, tal y como se muestra en la Tabla 3, ningún clasificador realista debe tener un AUC menor a 0.5.

Tabla 3. Desempeño en Base a la Exactitud.

Exactitud	Desempeño
[0.5-0.6)	Prueba mala
[0.6-0.75)	Prueba regular
[0.75-0.9)	Prueba buena
[0.9-0.97)	Prueba muy buena
[0.97-1)	Prueba excelente

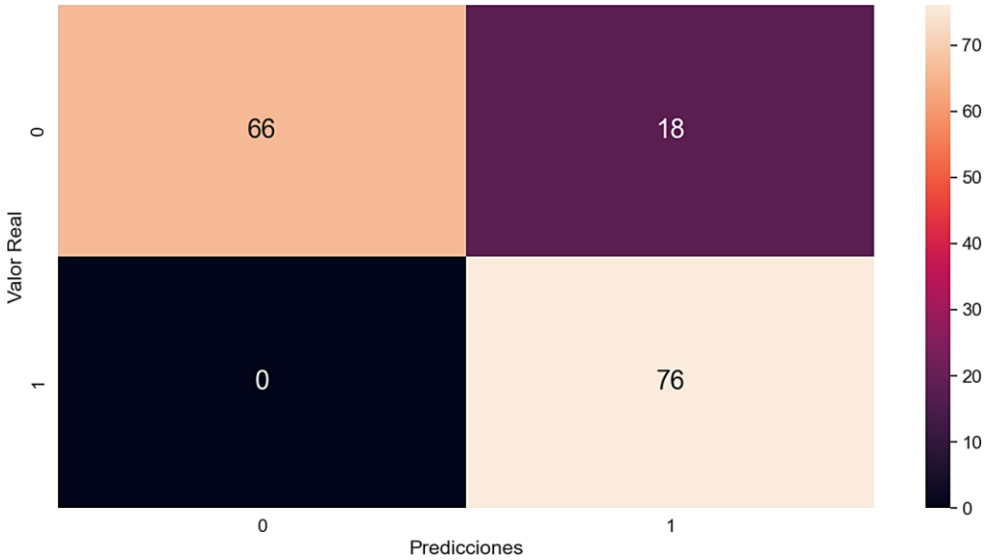
Nota: *Tomada de (Reveles, 2021).*

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se generó una base de datos con un total de 565 imágenes diferentes, es importante resaltar que estas imágenes se tomaron con el vehículo en reposo en diferentes escenarios. Además, no se recopilaron muestras de noche. La base de datos se dividió en subconjuntos de imágenes, Train y Test. El subconjunto de imágenes Train contiene las imágenes que se emplearon para entrenar el algoritmo CNN. Con la finalidad de que aprenda de las características de cada imagen. Con el subconjunto Test se validó el rendimiento del algoritmo CNN, obteniendo los resultados que se muestran a continuación.

En la Figura 8 se observar la matriz de confusión obtenida de los datos de Test. Con ello se demuestra que el rendimiento del algoritmo es bueno. Se aprecia los aciertos y equivocaciones del algoritmo CNN al predecir una imagen. Se obtuvo como resultado un total de 66 “ceros” (imágenes sin obstrucción) y 76 “unos” (imágenes con obstrucción). Por otro lado, también se obtuvo 18 imágenes clasificadas por el algoritmo como imágenes con obstrucción cuando en realidad son imágenes sin obstrucción. Dichas imágenes reflejan el margen de error existente en el algoritmo CNN.

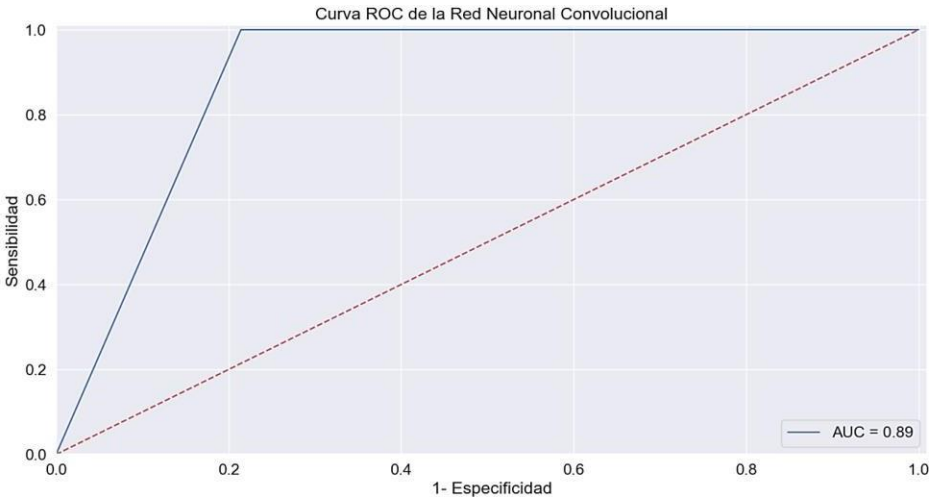
Figura 8. Matriz de Confusión de la red CNN propuesta.



Nota: *Matriz de confusión creada en Python a partir de los datos reales y los estimados por la red.*

En adición, se obtuvo una curva ROC (ver Figura 9). Se observar que se obtiene un área bajo la curva de 0.89. Un valor considerado en el margen de un rendimiento bueno o correcto.

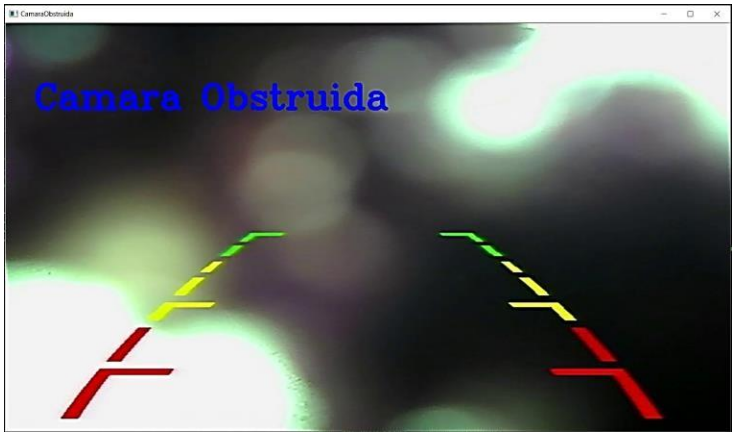
Figura 9. Curva ROC.



Nota: *La grafica de la curva ROC muestra dos curvas, la curva punteada corresponde a la mitad del área bajo la curva, representando el 0.5 y soloes tomada como referencia visual, la curva azul muestra el desempeño del algoritmo.*

La última prueba implementada para comprobar el rendimiento del algoritmo CNN, fue introducir dos imágenes que no habían sido analizadas por el algoritmo. Se obtuvo la predicción. Los resultados de la predicción se observan en la Figura10 y Figura 11. Donde se resalta que la red está prediciendo adecuadamente acertando a lo que contiene la imagen introducida.

Figura 10. Imagen con Obstrucción.



Nota: *La imagen tiene una cobertura casi en su totalidad de lodo. La visibilidad es nula para el conductor.*

Una peculiaridad observada en la Figura 11, es la presencia de un peatón atrás del vehículo. En este punto, la red propuestaen esta investigación esta entrenada adecuadamente. Esto gracias a que, si se presenta el caso de tener una persona frentede la cámara, no se confunde con la detección de la obstrucción por suciedad.

Figura 11. Imagen sin Obstrucción.

Nota: *Una imagen limpia de obstrucciones es capaz de captar el entorno sin ningún problema, nótese que el peatón se aprecia bien y es perceptible para el conductor de un vehículo con cámara de reversa.*

CONCLUSIÓN

Tomando de base los resultados obtenidos en la presente investigación, se concluye que la CNN propuesta tiene un rendimiento bueno y adecuado. La exactitud se encuentra dentro del rango de 0.75 a 0.9. Además, se obtuvo un AUC iguala 0.89 en el rendimiento de la red. Cabe mencionar que el valor obtenido de AUC aún puede mejorarse. Para lograrlo, se ampliará la cantidad de imágenes tanto de entrenamiento (Train) como para la validación (Test). Se agregarán imágenes con el vehículo en reposo y en movimiento, a su vez, se añadirán una cantidad de escenarios y condiciones climáticas posibles además de agregar sensores de proximidad para crear una base de datos más completa, con imágenes y distancias. Con una pequeña cantidad de imágenes se logró demostrar que la red neuronal propuesta es capaz de aprender de las características de imágenes con obstrucción y sin obstrucción.

Con las predicciones obtenidas, se llegó a la realización del objetivo de la primera fase, la cual consiste en la detección de obstrucciones por suciedad en las imágenes de la cámara de reversa de un vehículo. Como trabajo a futuro, se pretende incrementar la recolección de imágenes para aumentar el AUC y con ello proceder a la Fase 2, la cual corresponde a la detección de peatones con la cámara de reversa de un vehículo.

Con esta investigación, además, se demuestra la aplicación de las CNN en el área automotriz. En la búsqueda de aportar tecnología para la reducción de accidentes viales que suceden al ir en marcha atrás un vehículo.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, J., García, F., Ramírez, C., Floreano, S., Guarda, T., Sanchez, I., Rivera, J., & Sanchez, C. (2021). Aplicación dela inteligencia artificial en la industria automotriz. *Iberian Journal of Information Systems and Technologies*, 149–159.

Bagnato, J. I. (2018). *Convolutional Neural Networks: La Teoría explicada en Español*. Recuperado de https://www.aprendemachinelearning.com/como-funcionan-las-convolutional-neural-networks-vision-por- ordenador/

Burgos, M. E., & Manterola, C. (2010). Cómo interpretar un artículo sobre pruebas diagnósticas. *Revista Chilena de Cirugia*, *62*(3), 301–308.

Camaré, L. J. M. (2008). *Aprendizaje automático a partir de conjuntos de datos no balanceados y su aplicación en el diagnóstico y pronóstico médico*. Tesis Doctoral, Instituto Nacional De Astrofísica, Óptica Y Electrónica,.

Cao, J., Song, C., Peng, S., Song, S., Zhang, X., Shao, Y., & Xiao, F. (2020). Pedestrian detection algorithm for intelligent vehicles in complex scenarios. *Sensors (Switzerland)*, *20*(13), 1–19.

Dollar, P., Wojek, C., Schiele, B., & Perona, P. (2010). *Pedestrian detection: A benchmark*. 304–311.

Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. *AI Magazine*, *17*(3 SE-Articles), 37.

Huang, J., & Ling, C. X. (2005). Using AUC and accuracy in evaluating learning algorithms. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, *17*(3), 299–310.

Lecun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, *86*(11), 2278–2323.

OBS. (2021). *Open Broadcaster Software | OBS*. Recuperado de https://obsproject.com/es

Pablo, J., & Quezada, A. (2015). *Accidentes automotrices como problema de salud pública.* (Issue 17). Cuaderno de investigación,Instituto Belisario Domínguez.

Pérez Requena, J. Á. (2018). *Las Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Seguridad Vial*. Tesis Doctoral, Programa de Doctorado en Ciencias Sociales, UCM, Muricia.

Reveles, L. (2021). *Minería de opinión: un análisis en tiempo real de tweets para zacatecas*. Tesis de Maestría, Universidad Autonoma de Zacatecas.

Sucar, L. E., & Gómez, G. (2011). Vision Computacional. *Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica*, 185.
Recuperado de http://ccc.inaoep.mx/~esucar/Libros/vision-sucar-gomez.pdf

Txarterina, J. I. (2013). *Detección de personas*. Proyecto de Fin de Carrera, Universidad del País Vasco.

Uřičář, M., Rashed, H., Ranga, A., Dahal, A., & Yogamani, S. (2020). Visibilitynet: Camera visibility detection and imagerestoration for autonomous driving. *IS and T International Symposium on Electronic Imaging Science and Technology*, *2020*(16), 1–8.

Uřičář, M., Sistu, G., Rashed, H., Vobecky, A., Kumar, V. R., Krizek, P., Burger, F., & Yogamani, S. (2021). *Let's Get Dirty: GAN Based Data Augmentation for Camera Lens Soiling Detection in Autonomous Driving*. 766–775.

Implementación de Algoritmos de Aprendizaje Automático parala Predicción de pacientes con Diabetes

Man Kit Liao-Li[1], Isamar Aparicio-Montelongo[2], José M. Celaya-Padilla[3], Carlos E. Galván-Tejada[4], Miguel Cruz[5]

[1] Universidad Autónoma de Zacatecas /Alumno, e-mail: mankit9lio@gmail.com
[2] Universidad Autónoma de Zacatecas /Alumno, e-mail: 20204469@uaz.edu.mx [3] Universidad Autónoma de Zacatecas /Docente, e-mail: jose.celaya@ uaz.edu.mx[4] Universidad Autónoma de Zacatecas /Docente, e-mail: ericgalvan@ uaz.edu.mx
[5] Centro Médico Nacional Siglo XXI del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)/Médico Colaborador

Línea de investigación: Sistemas computacionales

Resumen

Según datos del INEGI, la diabetes ocupa el tercer lugar de las principales causas de muerte en México [1],con el paso del tiempo, el índice de muertes al año ha ido en aumento, además, esta enfermedad se empieza a presentar en edades cada vez más tempranas. Hoy en día y gracias al avance tecnológico, la implementación demodelos predictivos mediante técnicas de aprendizaje automático (ML) y minería de datos hacen posible diagnosticar enfermedades en etapas tempranas. El propósito de este artículo es presentar un análisis de un conjunto de datos que contiene información de pacientes diabéticos y personas sanas. Con ello, se pretende ayudar en la prevención y diagnóstico de esta patología, y predecir futuras complicaciones durante el control de este padecimiento. Se utilizan métricas como el área bajo la curva (AUC) para medir el rendimiento de las predicciones.

Palabras clave— *Diabetes, Algoritmos de Aprendizaje Automático, Complicaciones patológicas, Predicción, AUC.*

Abstract

According to data from INEGI, diabetes is the third leading cause of death in Mexico [1], over time, the rateof deaths per year has been increasing, in addition, this disease begins to present in age earlier and earlier. Nowadays and thanks to technological advances, the implementation of predictive models using machine learning (ML) techniques and data mining make it possible to diagnose diseases in early stages. The purpose ofthis article is to present an analysis of a data set that contains information on diabetic patients and healthy people. With this, it is intended to help in the prevention and diagnosis of this pathology, and to predict future complications during the control of this condition. Metrics such as area under the curve (AUC) are used to measure the performance of predictions.

Keywords— Diabetes, Machine Learning Algorithms, Pathological Complications, Prediction, AUC.

INTRODUCCIÓN

Según la OMS la diabetes es una enfermedad metabólica crónica caracterizada por niveles elevados de glucosa en sangre (o azúcar en sangre). Se asocia con una deficiencia absoluta o relativa de la producción y/o de la acción de la insulina. Hoy en día se sabe que tiene una gran incidencia afectando a la población mundial,por lo que la ciencia y la tecnología ha enfocado esfuerzos para tratar de mitigar este padecimiento, en este artículo se realizó un acercamiento preciso para determinar los factores más significativos que se encuentran presentes en este trastorno y en algunos casos pueden desarrollar una complejidad como Neuropatía, Retinopatía e Insuficiencia renal; es común que para diagnosticar esta patología se hace un estudio para obtenerel porcentaje de hemoglobina glicosilada (HbAc1), parámetro muy utilizado en la comunidad médica pero no suficiente para su diagnóstico y mucho menos en el seguimiento del paciente para disminuir esta afección.

DESARROLLO

El artículo se organiza de la siguiente manera, comenzando por esta sección (introducción), seguida de la Sección 2, en la cual se presentan los materiales y métodos utilizados para la predicción de diabetes,posteriormente la Sección 3 describe los resultados obtenidos y por último la Sección 4, la cual, contiene las conclusiones finales acerca del estudio.

OBJETO DE ESTUDIO

Esta investigación buscar identificar los parámetros más significativos en la predicción tanto para la diabetescomo para las dificultades derivadas de este padecimiento, implementando algoritmos de aprendizaje automáticosobre una base de datos de pacientes proporcionada por el Centro Médico Nacional Siglo XXI de la Ciudad deMéxico.

METODOLOGÍA

Los datos empleados para este estudio, fueron proporcionados por la Unidad de Investigación Médica en Bioquímica del Hospital de Especialidades "Bernardo Sepúlveda" del Centro Médico Nacional Siglo XXI del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) [3], a través de Galván-Tejada, es un conjunto de antecedentes que contiene 46 características (ver tabla 1) y 1787 pacientes diagnosticados con diabetes y personas sanas.

La base de datos presentaba valores faltantes por lo que fue necesario realizar una imputación de datos, loscuales, tienen que ir en un rango acorde a cada característica sin mucha variación, para ello, se tomó como referencia la media aritmética antes y después de dicha asignación. Este proceso se efectuó con la librería de RmissForest, método iterativo donde imputa valores inexistentes realizando múltiples árboles de decisión sobrelas muestras del Data set, los nuevos valores que se originaron son un promedio de las observaciones [4], obteniendo un error en las predicciones del 1.55%, esto se puede corroborar con los promedios de la variable HDLc (mg/dl) con 44.23 (antes) y 44.21 (después).

Dentro del conjunto de datos existe una columna (TIPO_COMPLICACION DE DT2) que explica las complicaciones que tiene un paciente diabético, entre las que destacan: Neuropatía, Retinopatía, Nefropatía y otras, cabe señalar que una misma persona puede presentar más de una dificultad patológica, por ello, se realizó una categorización de la siguiente manera:

0.- Ninguna 1.- Desarrollo de cualquier otra

De esta manera fue mas sencillo realizar un análisis de forma categórica en la que solo se tienen dos clasificaciones.

Tabla 1

Lista de las 46 Características Presentes en la Base de Datos Original.

plate_info	Id	Edu
Sal	STATUS	Sex
Age	Age DX (cases)	WHR
BMI	GLU (mg/dl)	UREA (mg/dl)
Crea (mg/dl)	LIPIDS-TX	CHOL (mg/dl)
HDLc (mg/dl)	LDLc (mg/dl)	TG-B (mg/dl)
TCHOLU	HDLU	LDLU
TGU	HA-TX	SBP
DBP	SBPU	DBPU
PC1	PC2	PC3
PC4	PC5	HbA1c
TFG	GLIBENCLAMIDA	GLIBEN_MG_DIA
METFORMINA	METFOR_MG_DIA	PIOGLITAZONA
PIOGLI_MG_DIA	ROSIGLITAZONA	ROSIGLI_MG_DIA
ACARBOSA	ACARBO_MG_DIA	INSULINA
INSUL_UI_DIA	TIPO_COMPLICACION DE DT2	

Nota: Características que contiene la base de datos con las trabajamos en el análisis de predicción de diabetes.

La normalización o escalado de datos es el proceso en el cual se transforman los valores de las característicasde manera que tengan valores típicamente de (0,1) ó (-1,1) esto con el objetivo de mantener un mismo valor medio y una desviación estándar igual a 1, ayudando a tener la magnitud de las características y lograr un comportamiento binario. Para lograr esto se aplicó el comando "rescale" a las variables no categóricas para obtener valores de (0,1).

Con el objetivo de conseguir el mejor desempeño de área bajo la curva, se implementaron tres modelos de predicción: Regresión Logística, Árboles de decisión y KNN. El proceso general que se llevó a cabo se describeen la figura 1.

Figura 1

Diagrama de Flujo

Nota: Diagrama de flujo llevado a cabo para el desarrollo de cada una de las actividades en la investigación.

FASES DEL DESARROLLO

Métodos de selección de variables.

Para comenzar el análisis se eliminaron las características: plate_info, Id, Age Dx (cases) e insul_ui_dia. Las primeras variables presentan información administrativa y las últimas tienen poca relevancia para el estudio, enel caso de HbA1c (prueba de hemoglobina glicosilada), se decidió no tomarlo en cuenta ya que representa una propiedad sumamente perfecta para determinar si una persona tiene o no diabetes, en consecuencia produce un sobreajuste en los modelos de predicción. Mientras la columna STATUS, se le consideró categórica para identificar a los pacientes enfermos de los sanos.

Por medio de selección hacia adelante, hacia atrás y paso a paso se determinaron las características más importantes de manera automática para la predicción de pacientes con diabetes y el posible desarrollo de complicaciones. Este procedimiento se basó en el criterio de información de Akaike (AIC), un estimador muestralde la esperanza de log-verosimilitud. Se define en función de la máxima verosimilitud de las observaciones, cuanto más aumenta el número de parámetros aumenta el valor de AIC y el mejor modelo se va ajustando conforme AIC sea menor. Esta perspectiva no pretende identificar al modelo verdadero, sino al mejor de los modelos candidatos, las ventajas que posee son su simplicidad y facilidad a la hora de implementarse [5]. Caberesaltar que para realizar la selección automática tiene que ser ejecutado con el modelo de Regresión Logística,durante este estudio las características resultantes de este proceso fueron aplicadas en los algoritmos de aprendizaje, Árboles de decisión y KNN para observar sus diferencias en la sensibilidad y especificidad.

Selección hacia adelante. Inicia con un modelo sin variables explicativas y en cada paso agrega una variable explicativa significativa. La segunda mejor variable debe ser significativa con un alfa de entrada del 10% y tener una R^2 más alta. Se realizan tantos pasos como sea posible hasta que ya no se pueden agregar variables significativas.

Selección hacia atrás. Inicia con un modelo con todas las variables y en cada paso va quitando la variable explicativa menos significativa. La segunda variable a eliminar es la menos significativa con un alfa de permanencia de 10%. Se realizan tantos pasos como sea posible hasta que ya no se puedan eliminar variables significativas.

Selección paso a paso. Al igual que la selección hacia adelante, inicia con un modelo sin variables explicativasy en cada paso agrega una variable explicativa significativa. Es una combinación de la selección hacia adelantey de la selección hacia atrás porque si en un paso hay una variable no significativa la quita y repite el paso.

Implementación de modelos de predicción.

Con la finalidad de evaluar y conocer cuál algoritmo presenta un mejor desempeño y buen pronóstico, se implementaron tres distintos modelos de predicción: Regresión Logística, Árboles de Decisión y KNN, se utilizóel método de curvas ROC y área bajo la curva (AUC) para evaluar el rendimiento de cada algoritmo.

- Regresión Logística. Es una extensión del modelo de regresión logística simple en el que se predice una respuesta binaria en función de múltiples predictores, que pueden ser tanto continuos como categóricos.
- Árboles de decisión. Es una técnica de aprendizaje automático supervisada basada en ramificación de decisiones. Su principal ventaja es que obtiene un mejor rendimiento general durante el entrenamiento. Esta mejora la consigue compensando los errores de las predicciones de las distintas ramas de decisión. Para asegurarnos que los árboles sean distintos, lo que se hace es que cada uno se entrena con una muestra aleatoria de los datos de entrenamiento. Esta estrategia se denomina bagging.
- KNN. Es un método de clasificación no paramétrico, que estima el valor de la función de densidad de probabilidad o directamente la probabilidad posterior de que un elemento x pertenece a la clase C_j a partir de la información proporcionada por el conjunto de entrenamiento. Es bastante sencillo y robusto que simplemente busca en las observaciones más cercanas a la que se está tratando de predecir y clasifica el punto de interés basado en la mayoría de datos que le rodean.
- Curva ROC (Receiver Operating Characteristic). Es una representación gráfica del rendimiento del clasificador que muestra la distribución de las fracciones de verdaderos positivos y de falsos positivos. Permite comparar modelos a través del área bajo su curva (indica que tan probable es que suceda tal evento, mientras el resultado se acerque más a 1, es un valor muy bueno, de lo contrario, entre más alejado esté, es un valor bastante malo).
- Sensibilidad y Especificidad. La fracción de verdaderos positivos se conoce como sensibilidad, sería la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo cuyo estado real sea definido como positivo. La especificidad es la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo cuyo estado real sea clasificado como negativo.
- Validación Cruzada de k-iteraciones. Consiste en dividir los datos originales en k subconjuntos, al momento de realizar el entrenamiento, se va a tomar cada k subconjunto como prueba del modelo, mientras que el resto del subconjunto (k-1) se tomará como conjunto de entrenamiento. El proceso de validación cruzada se repetirá k veces, y en cada iteración se tomará un conjunto de prueba diferente. Al finalizar las k iteraciones, se calcula el promedio de los resultados de precisión y diferencias obtenidos para cada subconjunto de prueba. Los intervalos de confianza, permiten conocer si la estimación de la muestra coincide con el valor de toda la población, por lo tanto, el promedio del intervalo mínimo y máximo nos dan un estimado de donde podemos considerar la mejor precisión en la evaluación.

RESULTADOS

Se realizaron 3 análisis diferentes, en cada uno se aplicó selección automática, tomando solo las variables resultantes de la selección hacia atrás, este último tiene los variables más completos en la significancia de los datos.

Detección de diabetes.

Para el análisis de la predicción de diabetes se utilizaron las 42 características de la base de datos, y en la Selección automática se obtuvieron solo 16 variables más significativas, dando un AUC de 0.9741, sin embargo, mediante la función summary(), se realizó una segunda eliminación manual de rasgos distintivos, quedando ahora solamente 13 características (Glucosa, DBPU, Lípidos, Edad, SBPU, Índice de Masa Corporal, LDLc.mg.dl, Urea, HDLc.mg.dl, Sexo, Nivel de educación y SBP), consiguiendo un AUC de 0.9742. Utilizando esta última selección se crearon los modelos y sus respectivas predicciones por medio de la función predict().La curva ROCde cada uno de los algoritmos obtenidos se muestra en la figura 2, y las AUC's se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

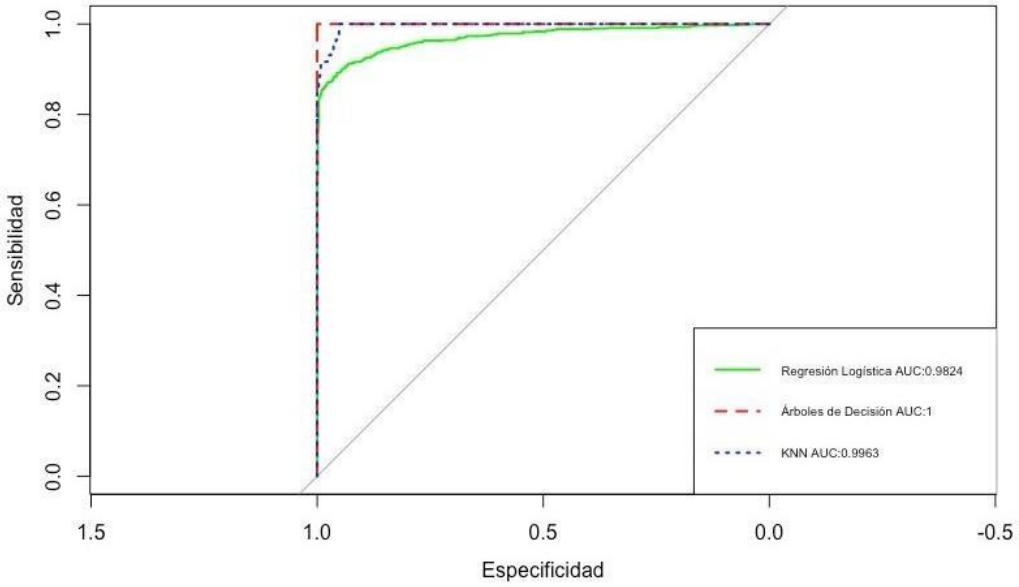
Resultados de AUC en la Predicción de Diabetes.

	Regresión Logística	KNN	Árboles de decisión
AUC	0.9742	0.9963	1

Nota: Las Áreas obtenidas en cada modelo determinan la exactitud de nuestra predicción.

Figura 1

Comparación de Curvas ROC



Nota: Comparativa de curvas ROC obtenidas en la predicción de Diabetes, apreciando que el modeloKNN presenta el mejor desempeño.

Se realizó un modelo univariado de todas las características que ayudan a predecir la diabetes, obteniendo elárea bajo la curva de cada una; en la tabla 3 se observa el ordenamiento de menor a mayor de dichas áreas. Siendo el PC5 la variable con menor área y la menos importante para el análisis, en cuanto el nivel de glucosa es la cualidad con mayor grado de significancia para la predicción de personas diabéticas, tan solo esta peculiaridadrepresenta el 90.35% de la curva ROC, lo significa que si el paciente presenta un valor importante en esta característica tiene una probabilidad muy alta de padecer esta patología. En un primer acercamiento se tenía a lahemoglobina glicosilada (HbA1c) con un valor de 1, y esto afectaba en el análisis del comportamiento de las otras variables, por lo que fue una de las razones de no considerarla en el entrenamiento del modelo. Con este ordenamiento se realiza una eliminación de variables para encontrar la mejor, el mismo procedimiento que se logra en la selección automática.

Tabla 3

Características Ordenadas Respecto al AUC.

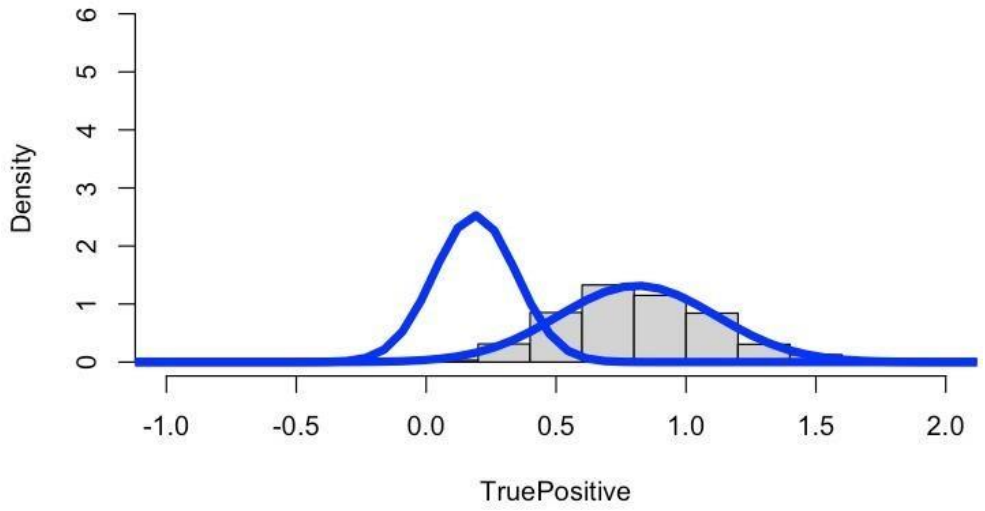
AUC	Característica	AUC	Característica
0.49797513	PC5	**0.60570484**	Sal
0.49953026	Crea.mg.dl.	**0.61889814**	LDLc.mg.dl.
0.50036765	PC3	**0.61894637**	BMI
0.50326998	PC1	**0.62625044**	UREA.mg.dl.
0.50539131	TCHOLU	**0.63027387**	CHOL.mg.dl.
0.51872803	PC2	**0.63198308**	TGU
0.52115688	LDLU	**0.64620041**	SBP
0.52353374	PC4	**0.67371938**	HA.TX
0.53644582	WHR	**0.69594788**	TG.B.mg.dl.
0.53887404	Edu	**0.70100223**	LIPIDS.TX
0.54813346	HDLU	**0.75068581**	Age
0.58500517	SBPU	**0.77480327**	DBPU
0.58900732	HDLc.mg.dl.	**0.8067578**	DBP
0.59652872	Sex	**0.9035026**	GLU.mg.dl.

0.60190625	TFG		

Nota: De este orden se puede observar la significancia de cada una de las características y con ello realizar la selección.

Figura 2.

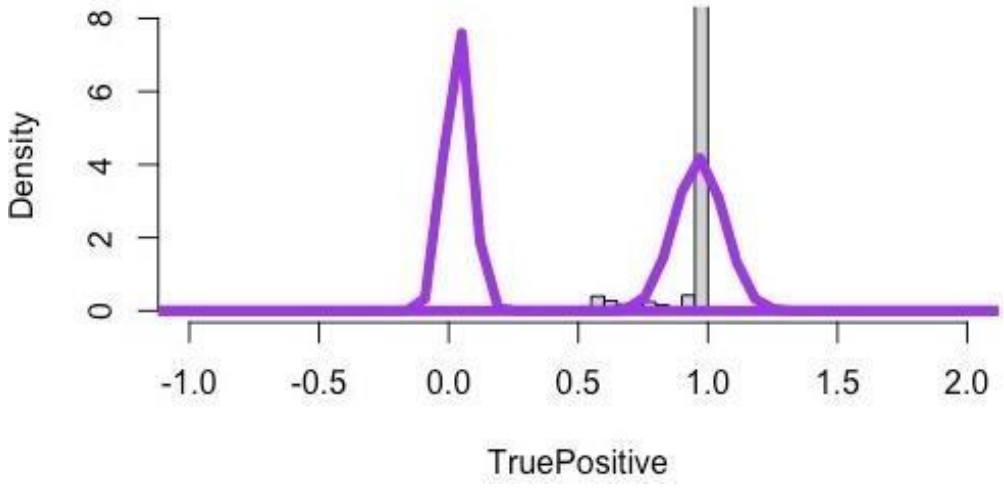
Sensibilidad y Especificidad en el Modelo de Regresión Logística en Diabetes.



Nota: Se muestra el traslape en las curvas de sensibilidad y especificidad con el modelo RegresiónLogística.

Figura 3

Sensibilidad y Especificidad en Modelos Árboles de Decisión en Diabetes.



Nota: Curvas de sensibilidad y especificidad del modelo Árboles de decisión en predicción deDiabetes.

En las figuras 3 y 4 se muestra el comportamiento de la sensibilidad y especificidad entre el modelo de Regresión Logística y Árboles de decisión. Se logra percatar, que la predicción de la última es mucho más precisa, esto se puede confirmar ya que no existe un traslape de falsos positivos y falsos negativos; objetivo que se queríaalcanzar desde la selección automática con la Regresión Logística, pero aún no existía una separacióncontundente en ambas curvas de la figura 3.

Predicción de complicaciones patológicas en pacientes diabéticos.

Para tener un mejor resultado en las predicciones, en el segundo análisis, no se incluyeron los medicamentos (Glibenclamida, Metformina, Pioglitazona, Rosiglitazona, Acarbosa e Insulina), para observar qué tanto influyela diabetes en las principales complicaciones patológicas propias de esta enfermedad. Por lo tanto, solo se utilizaron 31 variables y a partir de la selección automática resultaron 13 características más significativas obteniendo un área bajo la curva de 0.8767. Posteriormente, por medio de la selección manual, se redujeron a solo 4 características: diabetes, lípidos, DBP (presión sanguínea diastólica corregida) y DBPU (presión sanguínea no corregida), obteniendo un AUC de 0.8655, mostrando un ligero decremento en el comportamiento de dichacurva a pesar de haber eliminado 9 variables. Aplicando los tres algoritmos de predicción se obtuvieron diferentes valores de desempeño en cada modelo, siendo el mejor árboles de decisión, como se muestra en la tabla 4. La comparación de las curvas ROC, se puede observar en la figura 5.

Tabla 4

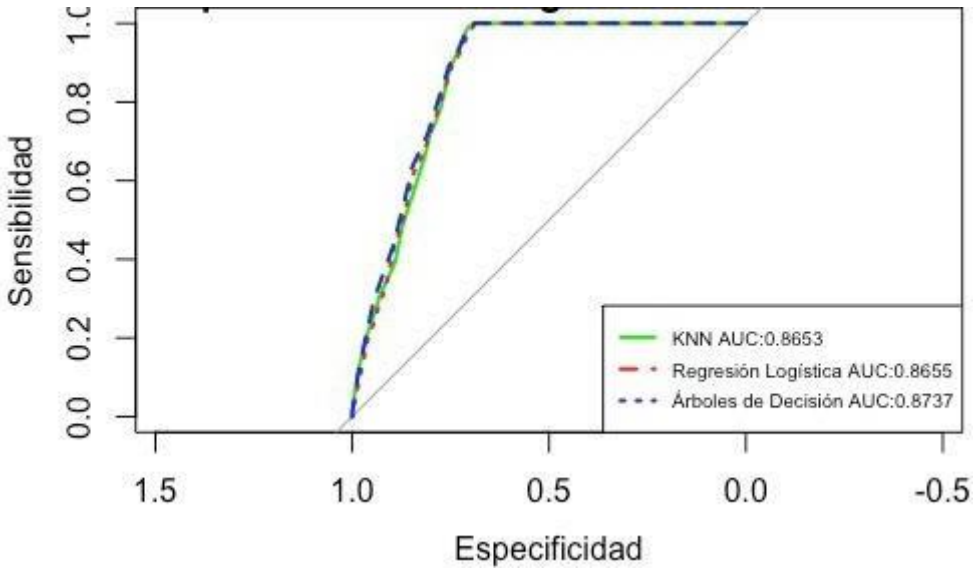
Comparativa de AUC en la predicción de complicaciones sin medicamentos

	KNN	Regresión Logística	Árboles de decisión
AUC	0.8653	0.8655	0.8737

Nota: Resultados de AUC en la predicción de complicaciones patológicas sin medicamentos.

Figura 4

Comparación de Curvas ROC para Complicaciones Patológicas sin Medicamentos



Nota: En esta comparativa se puede apreciar que el modelo de árboles de decisión es el que presentamejor desempeño de los tres propuestos.

Predicción de complicaciones patológicas en pacientes diabéticos con tratamiento médico.

Se pretende mostrar la influencia que tienen los medicamentos en el desarrollo de complicaciones en pacientes con diagnóstico de diabetes. De las 42 características que tiene la base utilizada para el entrenamiento,con la implementación de la selección automática se obtuvieron 13 significativas dando un AUC de 0.8909 siendo las siguientes variables las resultantes que generan el modelo logístico: Crea.mg.dl., LIPIDS.TX, CHOL.mg.dl., HDLc.mg.dl., TG.B.mg.dl., HDLU, TGU, PC5, GLIBENCLAMIDA, METFORMI, METFOR_MG_DIA, ROSIGLITAZO, INSULINA.

Reduciendo posteriormente con la selección manual, se obtuvieron solo 5 variables más significantes (ROSIGLITAZO, GLIBENCLAMIDA, INSULINA, LIPIDS.TX, CHOL.mg.dl.), bajando ligeramente el desempeño del modelo en 0.8831 (ver tabla 5), de este análisis se detectó que los medicamentos más utilizadosy seguida de los lípidos son las características que afectan de manera importante en la predicción de desarrollode

complicaciones. En la figura 6 se muestra la comparación de las curvas ROC de cada modelo de predicción

donde se puede observar que el modelo de árboles de decisión es el que mejor se ajusta a la mayoría de las predicciones.

Tabla 5

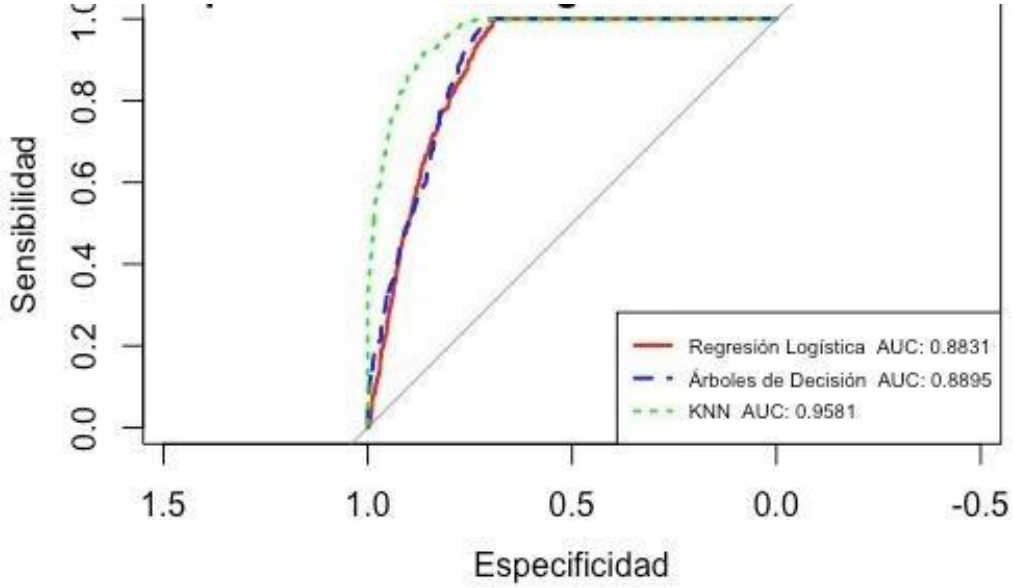
Resultados de AUC de la predicción de complicaciones patológicas con medicamentos.

	Regresión Logística	Árboles de decisión	KNN
AUC	0.8831	0.8895	0.9581

Nota: La tabla comparativa muestra las AUC's obtenidas por cada modelo las cuales nosayudan a determinar el desempeño de cada modelo.

Figura 3

Comparación de Curvas ROC para complicaciones Patológicas con Medicamentos



Nota: En esta comparativa de curvas ROC podemos apreciar al modelo KNN como el de mejor desempeño.

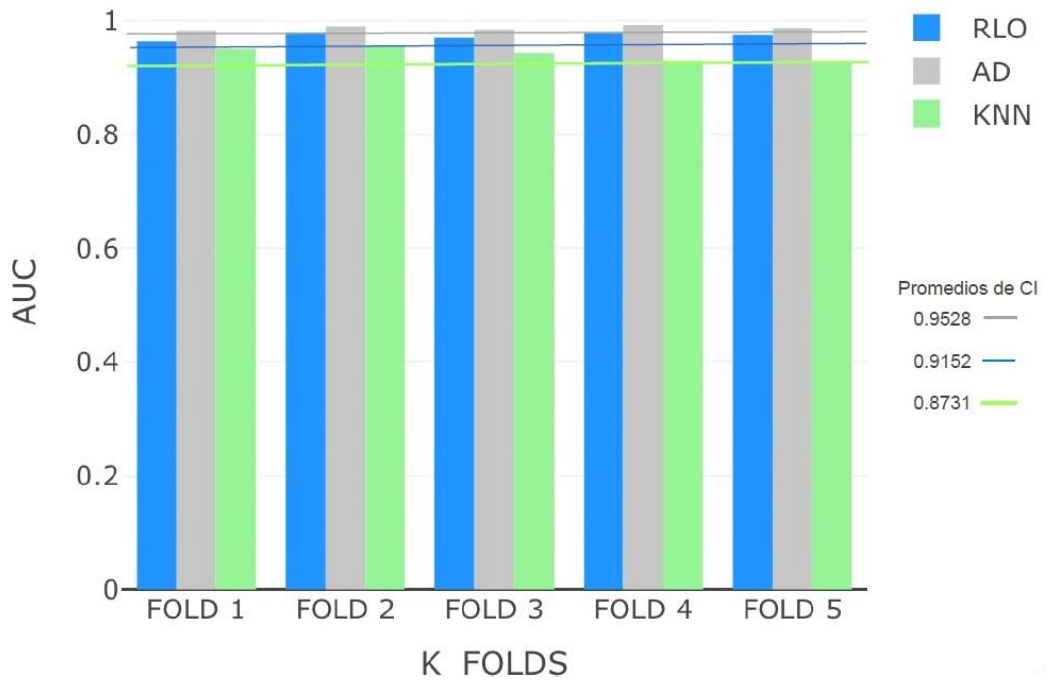
Evaluación de modelos de predicción para Diabetes con Validación Cruzada.

Un buen modelo de clasificación debe proporcionar predicciones precisas, pero dada la naturaleza estocásticaal momento de construir los datos, como las variables y parámetros no siempre se van a obtener los mismos valores, en consecuencia, las precisiones y errores cambiaran cada que ejecutemos los algoritmos. Para obtenermejores resultados en cuanto a la medición de la calidad en la predicción es conveniente realizar una validacióncruzada sobre los datos.

Para realizar esta evaluación se utilizó de la librería caret la función createFolds() para hacer la separación delos k-folds de la base de datos, se crearon cinco particiones distintas para posteriormente realizar los entrenamientos con los diversos modelos de predicción vistos en este estudio y utilizando intervalos de confianza(CI), se determinó cuál de los tres muestra un desempeño optimo, quedando como el de mejor precisión los árboles de decisión con un promedio 0.9528, seguido de regresión logística con 0.9152 y por último KNN con0.8731, estos valores se comparan en la figura 7.

Figura 7

Validación Cruzada: Diabetes



Nota: Comparación de los 5 folds en la validación cruzada para Diabetes en los 3 modelos de predicción.

CONCLUSIÓN

Este estudio nos mostró que la glucosa, en conjunto con la Edad, Sexo, Índice de Masa Corporal (IMC), Nivelde Lípidos, Urea, Colesterol-lipoproteína de alta densidad, Colesterol malo, Presión Sanguínea Diastólica, Presión Sanguínea Sistólica no corregida, y Presión Sanguínea Sistólica son las características más significativasresultantes que nos ayudaron a determinar si una persona padece de diabetes. Las técnicas de Minería de datos yalgoritmos de aprendizaje automático permiten predecir con un grado de precisión muy importante cualquier detrastorno de manera no invasiva.

En cuanto al modelo de desarrollo de complicaciones patológicas originado por la diabetes se encontró quelos medicamentos utilizados en el tratamiento de este padecimiento, afectan considerablemente en la predicciónde dichas afecciones, más que la enfermedad principal tratada en este estudio, esta afirmación tendría que ser valorada por algún experto en la materia para corroborar la aportación de este estudio y por consiguiente explorar mejores tratamientos preventivos y reducir los riesgos de desarrollar futuras dificultades.

La selección automática de características ayuda a encontrar las variables más significativas y ajustar al mejor modelo de predicción en la Regresión Logística optimizando la sensibilidad y la especificidad, los Árboles de decisión son los que presentan mejores predicciones reduciendo los falsos positivos y falsos negativos, llegandoa ser una valiosa herramienta en el diagnóstico médico; no obstante, por ser un algoritmo aleatorio el desempeñopuede variar con cada iteración. KNN igualmente es un buen modelo de aprendizaje, obteniendo un AUC cercano a la aportada por Árboles de decisión, sin embargo, aplicando validación cruzada, para la predicción de Diabetes,los resultados cambiaron, favoreciendo a la regresión logística por encima de KNN, por lo que este procedimiento evita el sobreajuste de los datos.

Como trabajo a futuro, se propone implementar redes neuronales para la sección de complicaciones, ya quepor ser un modelo multiclase permite clasificar más a detalle cada padecimiento. De la misma manera, implementar la validación cruzada sobre los mismos modelos para tener más precisión en las predicciones, adicionalmente sería de gran interés realizar un análisis con un registro más amplio de pacientes con complicaciones derivadas de la diabetes como Nefropatía y Cardiopatía.

Por último, resaltar que este artículo fue desarrollado gracias al apoyo de las Becas de Posgrado otorgado por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a los alumnos de la Maestría en Ciencias del Procesamiento de la Información de la Universidad Autónoma de Zacatecas, Man Kit Liao-Li con el número de becario 901279 e Isamar Aparicio-Montelongo con el número de becario 1110281, que sin el compromiso esta institución con la ciencia y el desarrollo tecnológico del país, esta investigación no sería más que una ideavaga y sin un impacto social.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayala, Jairo, 2020, "Minería de datos (K-NN)". https://rpubs.com/JairoAyala/601703
- Ayala, Jairo, 2020,"Métodos supervisados (Curva ROC)". https://rpubs.com/JairoAyala/592802
- Dr. Cruz, Miguel, 12 oct, Base de datos, "Mexico-City-sample-phenotypecchecar casos control". Convenio de colaboración Universidad Autónoma de Zacatecas - Unidad de Investigación Médica en Bioquímica Hospital de Especialidades. Centro Médico Nacional Siglo XXI del Instituto Mexicano delSeguro Social (IMSS).
- Hernández Córdoba, Eduardo, Julio 2019, "The Best Linear Regression Model", Universidad de La Laguna, Sección de Matemáticas, Trabajo de Fin de Grado.
- INEGI, 27 de Enero de 2021, "Características de las Defunciones Registradas en México Durante Eneroa Agosto de 2020". Comunicado de Prensa No. 61/21. www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemo.
- L.E.C. J. Montemayor G, Enrique, 15 de Octubre de 2018,"Métodos de Selección de Variables: Forward, Backward, Stepwise", https://www.youtube.com/watch?v=tCXc2zl3dew
- Leticia Laura, Ochoa, Enero de 2019,"Evaluación de Algoritmos de Clasificación utilizando ValidaciónCruzada", 8 páginas https://www.researchgate.net/publication/335730977
- Martínez Heras, José, 18 de Septiembre de 2020,"Random Forest (Bosque Aleatorio): Combinando Árboles", Iartificial.net. https://www.iartificial.net/random-forest-bosquealeatorio
- Martínez, Cristina Gil, mayo de 2018, "Regresión Logística (Simple y Múltiple)", https://rpubs.com/Cristina_Gil/Regresion_Logistica
- Organización Mundial de la Salud/Organización Panamericana de la Salud, "Diabetes". https://www.paho.org/es/temas/diabetes
- Planchuelo Gómez, Álvaro, Julio de 2017, "Comparativa de Análisis de Imputación de Datos Faltantescon Análisis de Casos Completos en Pruebas Diagnósticas", Trabajo para obtención de Grado de Maestro, página 27, Universidad Complutense de Madrid.
- Ronald Delgado, "Introducción a la Validación Cruzada (k-fold Cross Validation) en R", 18 de Julio de2018, http://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com.

Gestión de una base de datos para un sistema adaptativo

Rubén Omar Reyes López[1] Carlos Arturo Espinoza Galicia[2] Adrián Chávez Cruz[3]

[1] roreyes@iteshu.edu.mx, [2] cespinoza@iteshu.edu.mx, [3]achavez@iteshu.edu.mx

División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, El Saucillo, Huichapan, Hidalgo, México.

Línea de investigación: Sistemas Adaptativos y Gestión de Bases de Datos.

Resumen

La gestión de una base de datos es de gran importancia para permitir la óptima operación, independientemente tanto del software como de los datos, es una tarea laboriosa pero no imposible, hay muchas herramientas de software que nos ayudan a realizar esta labor, para que un SGBD pueda funcionar adecuadamente es necesario que los datos almacenados tengan un hilo conductor de relación, estructura y organización para crear un entorno que facilite el acceso y la gestión.

Los sistemas adaptativos se componen por dos vertientes conectadas, la complejidad en el sentido que es diverso y la adaptabilidad porque tiene la capacidad de aprender y en base a ese aprendizaje ir cambiando para mejorar la experiencia.

En el presente trabajo se aborda la construcción de una base de datos para un sistema evaluador adaptativo en base e IRT el cual es un proyecto de investigación que actualmente se desarrolla en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan. Aquí se puede observar la metodología usada y las fases realizadas para obtener dicho modelo, dando como resultado una base de datos que cuenta con 12 tablas y 3 vistas que permiten gestionar los datos de manera adecuada.

La construcción de esta base de datos se considera adecuada según los requerimientos del sistema a desarrollar y permite que a su vez sean modelados en clases para su fácil y correcta presentación en el FrontEnd.

Palabras clave: Adaptativo, Bases de datos, Sistema, SGBD

Abstract

The management of a database is of great importance to allow optimal operation, regardless of both the software and the data, it is a laborious but not impossible task, there are many software tools that help us to carry out this work, so that a DBMS can function properly it is necessary that the stored data have a common thread of relationship, structure and organization to create an environment that facilitates access and management.
Adaptive systems are made up of two connected aspects, complexity in the sense that it is diverse and adaptability because it has the ability to learn and, based on that learning, change to improve the experience.

The present work addresses the construction of a database for an adaptive evaluator system based on IRT and which is a research project that is currently being developed at the Higher Technological Institute of Huichapan. Here you can see the methodology used and the phases carried out to obtain this model, resulting in a database that has 12 tables and 3 views that allow the data to be managed properly.

The construction of this database is considered adequate according to the requirements of the system to be developed and allows them to be modeled in classes for their easy and correct presentation in the FrontEnd.

Keywords: Adaptative, Databases, DBMS, System.

INTRODUCCIÓN

En el momento de iniciar una materia al estudiante se le realiza una evaluación diagnóstica obtenida a partir de los conocimientos previos que marca el temario de la materia; así como también durante la misma se van evaluando los temas a través de los conocimientos que se van adquiriendo. Éstas evaluaciones son rígidas y es la misma para todos los estudiantes. En ocasiones, los estudiantes las dejan en blanco por diversas razones. Pero los resultados pueden no ser confiables si se toma en cuenta que, si en la evaluación se le presenta al estudiante un ejercicio sobre integración y el estudiante no lo resuelve, no significa que el estudiante desconozca este proceso, puede ser el caso, pero puede ser también que no pudiera resolver ese ejercicio en particular, pero si tenga suficientes conocimientos sobre integración.

Cualquier tipo de evaluación dentro del ámbito escolar se ha implementado como una herramienta para que los docentes puedan sondear el conocimiento de los estudiantes en determinados y diversos momentos de una materia.

Derivado de esto, la información o los datos que se pueden administrar o gestionar son diversos y por lo que una base de datos es un elemento o componente importante para realizar en primera instancia el almacenamiento de los datos y en segunda, realizar la gestión correspondiente de los mismos. Se podría mencionar entre que tipo de base de datos sería la mejor o la más adecuada para un sistema adaptativo; sin embargo, en este documento se trata con el desarrollo de una base de datos relacional.

Una base de datos es el conjunto de datos informativos organizados en un mismo contexto para su uso e inoculación [1]. Las bases de datos las podemos ver o comprender como pequeños repositorios o cajas donde estarán depositados y clasificados todos los datos que se generan durante el uso de nuestro sistema, depende mucho de la persona encargada de realizar dicha base de datos sobre qué medidas o estrategias adopta para la creación de esta, a menudo estas estrategias tienen que ver con la consistencia de la información alojada y de la normalización de las tablas.
Por otro lado, como señalan Jorge Poma, Roberto Tello y Edith Berrospi: La gestión de base de datos es una de las disciplinas que apoyadas por las herramientas de software disponibles en el mercado y las técnicas de modelamiento y diseño hacen que se vuelva imprescindible su empleo en todo tipo de proceso ya sea administrativo o de producción [2].

La gestión de bases de datos es aquella tarea que hace el administrador de bases de datos o mejor conocido como Data Base Administrator (DBA por sus siglas en ingles). Esta actividad prácticamente existe para que la base de datos tenga un mejor rendimiento, se mantenga estable, tenga capacidad de respuesta rápida y para facilitar la representación de algunos datos requeridos en el FrontEnd del sistema.

Es de gran importancia que en la industria se tenga gestionada una base de datos, ya que esto les brinda una mayor capacidad de respuesta ante solicitudes de información en masa e inclusive puede mejorar la seguridad y la integridad de la información almacenada.
El presente articulo está enfocado en desarrollar una gestión de la base de datos correcta para un sistema adaptativo [3] usado para la evaluación de estudiantes, desde la creación de la base de datos hasta la gestión de ésta. Que facilitará la consulta y la administración de la información generada por el sistema.

OBJETO DE ESTUDIO

Dentro del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan (ITESHU), actualmente se cuenta con un proyecto de investigación (en proceso) el cual lleva por nombre “Desarrollo de un sistema de evaluación adaptativa basado en IRT”, dentro del cual una de las actividades primordiales es el desarrollo de una base de datos relacional usando el gestor de MySQL que permita almacenar, administrar y gestionar la base de datos que permita el almacenamiento de la información de dicho sistema.
La importancia de esta base de datos radica en modelarla de tal forma que permita que se adapte a los futuros cambios que pueda sufrir el sistema, de modo continue teniendo su capacidad de simplicidad, adaptabilidad y fácil comprensión.

METODOLOGÍA

Para el diseño de una base de datos relacional se sigue la metodología estándar, que consiste en hacer un análisis previo de requerimientos donde se realiza la identificación y descripción de los datos y objetos a modelar del mundo real; contando con todas las necesidades o variables establecidas según el criterio del o de los diseñadores. Cabe mencionar que este análisis se debe llevar de una forma correcta ya que desde aquí se parte para ambientar el diseño de la base de datos.

Posteriormente se lleva un proceso que comprende tres etapas [4]:

1. Etapa Conceptual: En esta etapa se transforma el esquema descriptivo del análisis de requerimientos en un modelo entidad-relación. Aquí se pretende hacer también la resolución de conflictos y hacer un análisis de redundancias para evitarlas. Se recomienda utilizar la regla del camello.

2. Etapa Lógica: En esta etapa a partir del Modelo E-R generado en la etapa anterior, se desarrollará un Modelo Relacional, es decir, realizar un proceso de conversión a tablas. En estas tablas se debe denotar los campos que se comportarán como llave primaria

(campo con valores únicos entre sí) y llave foránea (campo que define la relación entre tablas).

Cuando se tiene el modelo relacional (representación en tablas, las cuales están relacionadas entre sí), es en este momento cuando se debe aplicar un proceso de verificación y validación de las tablas que conforman a la BD denominado Normalización.

Este proceso se conforma por diversas reglas denominadas Formas Normales (FN), las cuales cuentan cada una de ellas con diferentes pautas a seguir y/o cumplir. Generalmente, este proceso abarca tres formas normales [5]:

- 1FN (Dominio atómico). Todas las tablas deben contener campos atómicos, es decir, que no puedan dividirse.
- 2FN (Dependencia funcional). Para poder aplicar esta regla, se debió haber aplicado la 1FN; esta regla menciona que todos los campos no principales (campos que no son llave primaria) dependan completamente del campo que se comporta como llave primaria. Si existieran campos que no dependieran completamente de la llave primaria, se deben quitar y generar una nueva tabla.
- 3FN (Dependencia transitiva). Al igual que la anterior para poder aplicar esta regla ya se debió haber aplicado 1FN y 2FN; esta regla menciona que no deben existir campos en una tabla que dependan de otro campo que no sea llave primaria. Si existiera este tipo de dependencia se debe romper quitando esos campos y generando una nueva tabla.

3. Etapa Física: Una vez evaluado y normalizado el modelo relacional, puede crearse el modelo físico, prácticamente aquí se entrega el modelo relacional, para que se proceda a hacer dentro de un Sistema Gestor de Bases de Datos (SGBD). [6]

Para la gestión de la base de datos se hace un pequeño análisis para saber lo que el programador necesita, contrastando el diagrama con la información y la manera en que esta se verá representada en el FontEnd de la aplicación, los pasos a seguir son los siguientes:

1. Obtención del análisis sobre lo que el programador requiere.
2. Creación de la consulta para obtener un resultado.
3. Se cuestiona al programador para comprobar si las consultas obtienen la información requerida.
4. En dado que sí, se establece el método como correcto y se deja a disposición del programador.
5. En dado caso que no, se realiza un nuevo análisis para solventar el requerimiento del programador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aplicando la metodología mencionada anteriormente, el modelo entidad relación desarrollado se muestra en la figura 1, la cual muestra un conjunto de 12 tablas y 3 vistas las cuales podrán ser accedidas desde la capa de acceso a datos de la aplicación web a desarrollar, la construcción del sistema se realiza usando tecnologías .Net de Microsoft usando la metodología que muestra en el articulo de Espinoza Galicia, Martinez Endonio y Escalante Cantu, titulado: “Implementación de Plataforma Weby Aplicaciones Móviles Mediante Buenas Practicas Usando Tecnología .Net” [7], por lo cual la arquitectura de software usada se muestra en la figura 2.

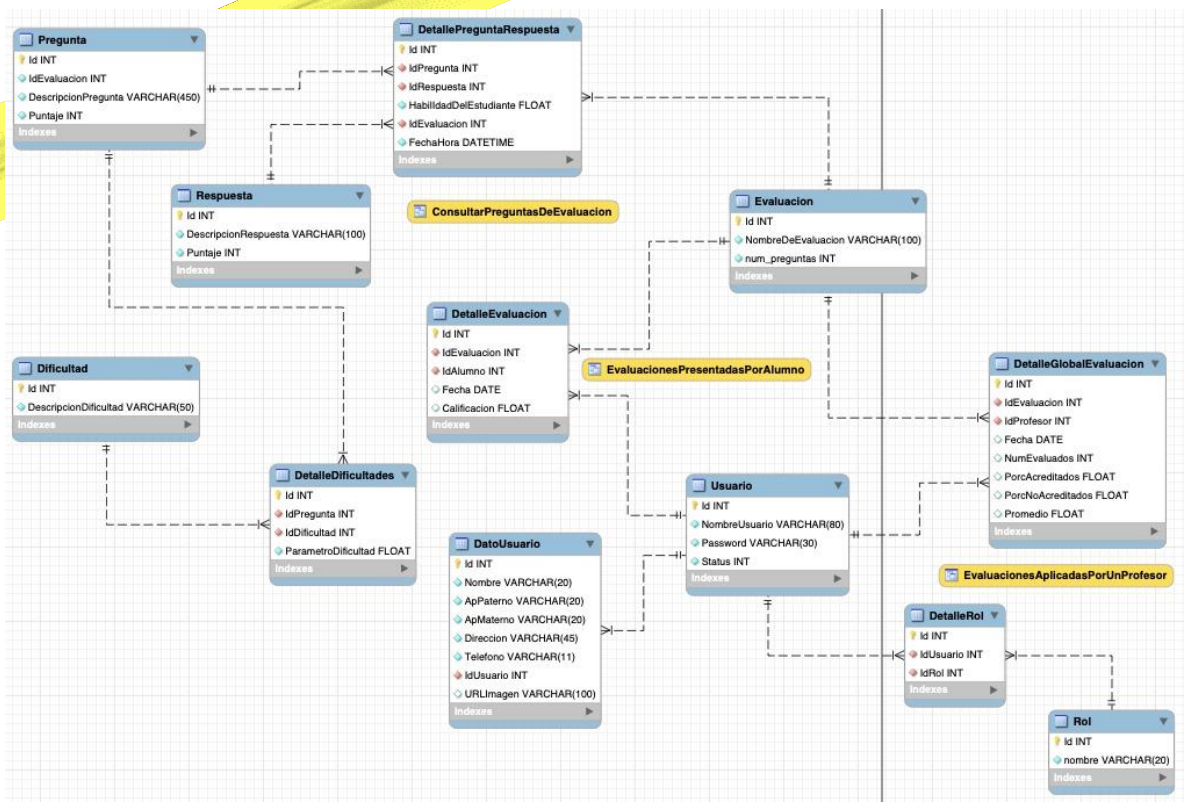


Figura 1: Diagrama de base de datos para el Sistema Adaptativo (Construcción propia)

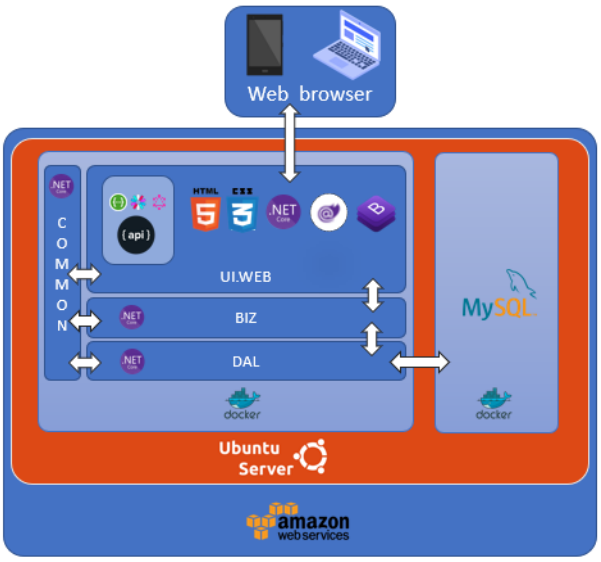


Figura 2: Arquitectura de software para el desarrollo del sistema de Evaluación Adaptativo (Construcción Propia)

Para la administración de la base de datos y gestionar de una mejor manera la información alojada, se recurrió a la creación de las siguientes vistas, que fueron solicitadas:

1. Vista para mostrar las evaluaciones presentadas por un alumno.

```
create or replace view EvaluacionesPresentadasPorAlumno as
    select Evaluacion.Id,IdAlumno,Fecha,NombreDeEvaluacion,Calificacion
    from Evaluacion,Usuario,DetalleEvaluacion
    where Evaluacion.Id = DetalleEvaluacion.IdEvaluacion
    and Usuario.Id = DetalleEvaluacion.IdAlumno;
```

2. Vista para mostrar las evaluaciones aplicadas por un profesor

```
create view EvaluacionesAplicadasPorUnProfesor as
    select Evaluacion.Id,IdProfesor,Fecha,NombreDeEvaluacion,num_preguntas,NumEvaluados,PorcAcreditados,PorcNoAcreditados,Promedio
    from Evaluacion,Usuario,DetalleGlobalEvaluacion
    where Evaluacion.Id = DetalleGlobalEvaluacion.IdEvaluacion
    and Usuario.Id = DetalleGlobalEvaluacion.IdProfesor;
```

3. Vista para mostrar las preguntas de una evaluación

```
create or replace view ConsultarPreguntasDeEvaluacion as
    select DetalleEvaluacion.IdEvaluacion, TextoPregunta, Puntaje, Dificultad
        from Evaluacion, DetalleEvaluacion, DetallePreguntaRespuesta, Pregunta, DetalleDificultades
            where Evaluacion.Id = DetalleEvaluacion.IdEvaluacion
            and Evaluacion.Id = DetallePreguntaRespuesta.IdEvaluacion
            and DetalleEvaluacion.IdEvaluacion = DetallePreguntaRespuesta.IdEvaluacion
            and Pregunta.Id = DetallePreguntaRespuesta.IdPregunta;
```

La base de datos fue desarrollada en el SGBD relacional MySQL haciendo uso de la interfaz gráfica WorkBench la cual es una herramienta gráfica integrada, pensada tanto para el desarrollador como para el administrador.

Permite realizar [8]:

- Diseño y modelado de la base de datos.
- Desarrollo SQL (como reemplazo de MySQL Query Browser).
- Administración de la base de datos (como reemplazo de MySQL Administrator).

En la figura 3 se muestra la ventana principal de esta herramienta:

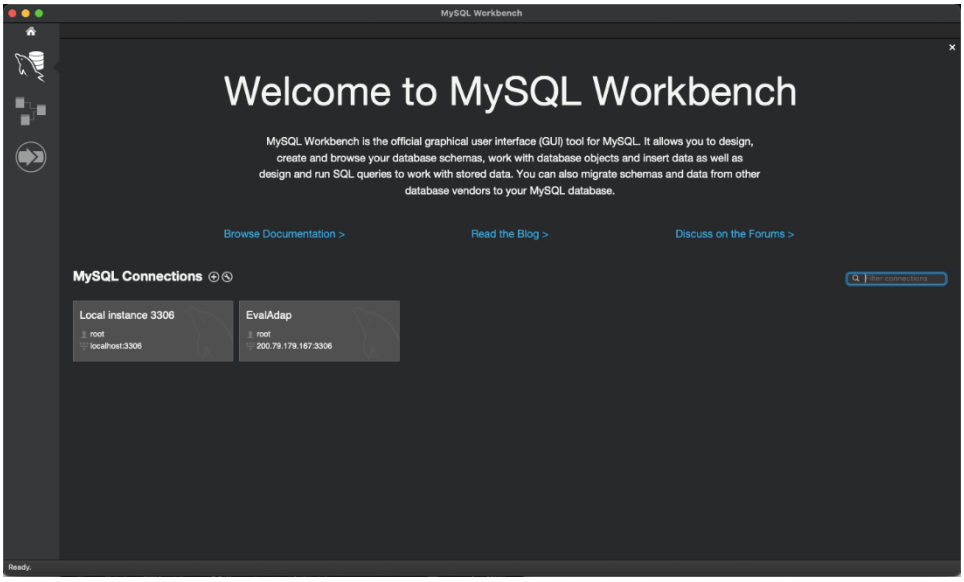


Figura 3: Ventana principal de MySQL Workbench

CONCLUSIÓN

El desarrollo de este modelo de base de datos ha permitido una correcta gestión de los datos, la normalización en su tercera forma normal es adecuada para los requerimientos de esta, permitiendo una consistencia sólida, crecimiento futuro y fácil entendimiento del modelo. También permite una correcta disposición de los datos por parte del programador pudiendo generar un API para comunicar con el FrontEnd de manera adecuada.

Las consultas permiten obtener de manera rápida la información mas importante para el sistema, sin que el sistema tenga que hacer varias llamadas a la base de datos y procesar la información, ya que estas consultas presentan la información en modelos que son mapeados directamente en clases que mediante el API envía a la capa de presentación o FrontEnd listas para ser usadas y presentarse al usuario.

Sin duda alguna las bases de datos son de gran importancia en la actualidad ya que nos permiten explicar el pasado y también entender y evaluar el presente. Sin embargo, además de tener almacenada y salvaguardada a la información dentro de una base de datos se le debe dar un uso o un objetivo para poder tomar decisiones de cara al futuro. Y para realizar todo esto, el proceso de gestión de una base de datos debe llevarse de una forma clara y concreta tomando en cuenta todas y cada una de las etapas de diseño de una base de datos.

BIBLIOGRAFÍA

[7] C. A. Espinoza Galicia, A. Martinez Endonio y M. Escalante Cantu, «Implementación de Plataforma Weby Aplicaciones Móviles Mediante Buenas Practicas Usando Tecnología .Net,» *Revista de Tecnologias de la información y comunicaciones,* vol. 1, nº 1, pp. 42-49, 2017.

[5] C. Coronel, S. Morris y P. Rob, Bases de datos. Diseño, implementación y administración., Mexico: Cengage Learning, 2011.

[4] F. Ruiz, «Escuela Superior de Informatica,» Febrero 2001. [En línea]. Available: http://www.inf-cr.uclm.es/www/fruiz/bda/doc/teo/bda-t6.pdf. [Último acceso: 26 Octubre 2021].

[6] H. K. A. Silberschatz y S. Sudarshan, Fundamentos de Bases de Datos, España: McGraw Hill, 2002.

[3] J. Holland, «Sistemas Adaptativos Complejos,» [En línea]. Available: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9449/CC_019_art_10.pdf. [Último acceso: 25 Octubre 2021].

[2] J. Poma Deza, R. Tello Yuen y E. Berrospi Quispe, «Gestión de base de datos con SCADA para el control automatizado de una válvula de control proporcional,» *Industrial Data,* vol. 14, nº 2, pp. 26-33, 2011.

[1] L. Álvarez, Helmut y P. Ferraro , «Metodología para determinar atributos y métricas de calidad en sistemashipermedia adaptativos educativos basados en estilos de aprendizaje,» *Revista Educación,* vol. 29, nº 1, pp. 91-101, 2005.

[8] Oracle Corporation and/or its affiliates, «MySQL Workbench,» 2021. [En línea]. Available: https://www.mysql.com/products/workbench/. [Último acceso: Octubre 26 2021].

Social-Demographic: a web tool application to perform comprehensive data visualization of epidemiological data of Zacatecan population

Valeria, Maeda-Gutiérrez[1], Carlos E., Galván-Tejada[1], Nubia M., Chávez-Lamas[2], Jorge I., Galván-Tejada[1], Rafael Magallanes-Quintanar[1]

[1]*Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas, Jardín Juárez 147, Centro, Zacatecas 98000, México, e-mail: valeria.maeda@uaz.edu.mx; ericgalvan@uaz.edu.mx; gatejo@uaz.edu.mx; tiquis@uaz.edu.mx;*
[2] *Unidad Académica de Odontología, Universidad Autónoma de Zacatecas, Jardín Juárez 147, Centro, Zacatecas 98000, México, e-mail: nubiachavez@uaz.edu.mx;*

Línea de investigación: Software

Resumen

Con el propósito de mejorar la difusión de los estudios epidemiológicos de la población de Tacoaleche, El Bordo y San José, Guadalupe, estado de Zacatecas, México, y para facilitar la interpretabilidad de los datos obtenidos, se desarrolló una herramienta web mediante la implementación de R-project, el cual es un lenguaje y entorno de código abierto para la computación estadística y el paquete Shiny. Social-Demographic permite a los usuarios estudiar grupos particulares determinados por género, localidad y estado, logrando analizar los factores de riesgo que recaen en cada población, la calidad de vida de los habitantes, los servicios con los que cuenta su vivienda, y el acceso a los servicios de salud. En conclusión, el enfoque empleado se centró en una herramienta de visualización con el fin de proporcionar una descripción significativa del estado actual de la población, lo cual permitirá diseñar programas de atención para cada una de las necesidades que se presenten.

Palabras clave: análisis demográfico, herramienta web, Shiny, R-project.

Abstract

To improve the dissemination of epidemiological studies of the population of Tacoaleche, El Bordo and San José, Guadalupe, Zacatecas state, México, and to facilitate the interpretability of the data obtained, a web tool was developed by implementing R-project, which is an open-source language and environment for statistical computing and the Shiny package. Social-Demographic allows users to study particular groups determined by gender, locality, and state, managing to analyze the risk factors that relapse on each population, the quality of life of the inhabitants, the services that their home has, and the access to health services. In conclusion, the approach used was focused on a visualization tool to provide meaningful descriptions of the current state of the population, which will be able to design care programs for each of the needs that arise.

Keywords: demographic analysis, web tool, Shiny, R-project

INTRODUCTION

Quality of life includes not only health related factors, such as physical, functional, emotional and mental well-being, but also non-health related elements, such as family, jobs and other life circumstances (Gill, 1994) The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) launched *Better Life Index* and released a collection of 11 well-being indicators that make it possible to measure the evolution of states in order to monitor the well-being conditions of citizens (OECD, 2011). Each individual indicator corresponds to: housing, income, jobs, community, education, environment, civil engagement, health, life satisfaction, safety and work-life balance. Nevertheless, these indicators are not enough to compare overall well-being of people across countries, which makes it difficult to assess how they have affected the population.

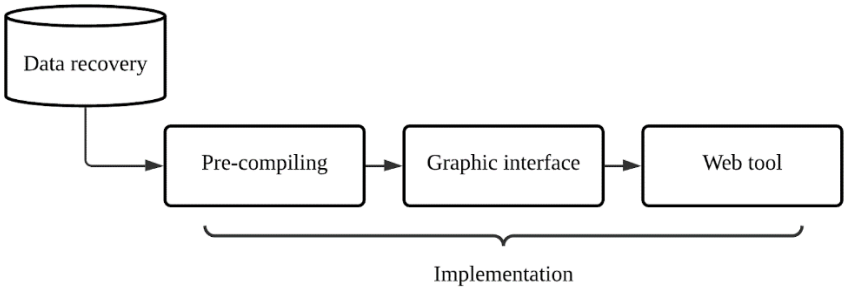
In 2020, the National Council for the Evaluation of Social Development Policy (CONEVAL) presents an evaluation of the federative entities, which allows a more complete perspective of social development trends. In terms of poverty, Zacatecas, Mexico shows that 7.7% of its population is in a situation of income vulnerability, that is, around 124,800 people did not have enough income to meet their basic needs. Secondly, the state ranked 27th among the 32 states for of access to health services; another important indicator is the population in overcrowded dwellings. It is important to note that in 2015, one of the municipalities with the highest number of people living in poverty was Guadalupe (CONEVAL, 2020).These generalized indicators by state do not describe how the population is in specific sectors.

In this sense, it is necessary to have tools that delve into the specific characteristics of each region of the state of Zacatecas, the more focused the study is carried out, the trends they present can be detected and therefore create public policies on health and social development. Until now there is no tool that describes special characteristics of the Mexican population, specifically the state of Zacatecas, Mexico. The main contribution of this paper focuses on providing an open access and a graphic tool that allows the visualization of risk profiles, demographic and sociodemographic data.

METHODOLOGY

A flowchart of the methodology followed is presented in **Figure 1.** Initially, the dataset is recovered from a questionnaire; then, a pre-compilation was performed using Shiny, which is a package of R-project, subsequently, a graphical user interface is developed based on the preceding steps, and finally, the web tool is obtained.

Figure 1. Flowchart of the methodology proposed.



DATA RECOVERY

The dataset was obtained from a non-probabilistic sampling for convenience, cross-sectional and descriptive observational, with a total of 849 subjects from the communities of Tacoaleche, El bordo, and San José, Guadalupe, Zac., Mexico. A questionnaire was applied directly to the head of the family (father, mother, tutor, or adult) who could provide information about the family. The dataset comprises 64 features of which are divided into six categories: demographic data, quality of life, home services, public health services, home features, and chronic diseases.

IMPLEMENTATION

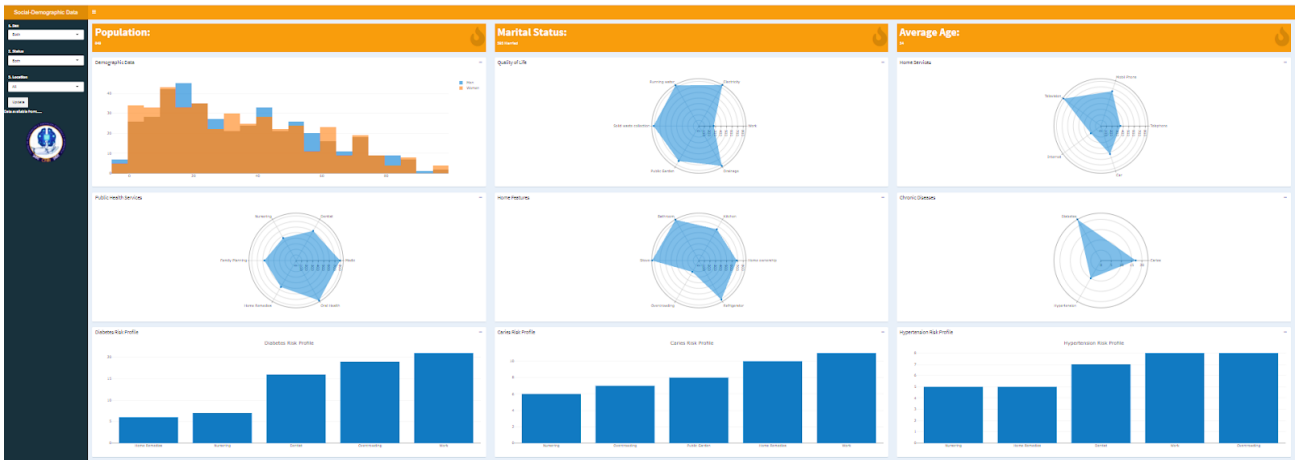
The Social-Demographic application has been developed in R-project, a well-known open source language (Team, 2013); R is a software environment for statistical computing that provides a variety of statistical and graphical techniques. Shiny, which is a R package, enables the development of a graphical user interface (GUI) that can be run locally or deployed online (Chang, et al., 2015). For the pre-compiling stage, several subjects with missing features were eliminated. and the dataset is loaded automatically. The application is user friendly, based on an intuitive menu to show data visualization for each demographic analysis. The users can choose to study a particular group determined by sex, status, and location. These data could be refreshed changing any variables mentioned before; then, the image results are plots that can be interpreted easily. Most of the tools and applications feature basic charts and plots, the different graphs generated by Social-Demographic tools are described below.

One of the most important graphs in statistical analysis is the histogram. This graph represents the distribution of continuous data; it consists of contiguous boxes. The horizontal axis is labeled with what data represents, and the vertical axis is labeled either frequency of each sample (Dean & Illowsky, 2009). The radar chart is also known as spider charts; the value of multiple related attributes is drawn by a certain method, then, through analysis of these drawn charts it can be comprehensively evaluated (Dong, et al., 2021). Radar charts can be used in the evaluation of a financial condition, operation risk, and public sectors. The last plot that was implemented is barplot; this graph can be plotted horizontally or vertically, and is used to compare two or more values.

RESULTS

A main web tool to study demographic profiles is composed of one layer, shown in **Figure 2.** The application is freely available online at https://ciibi.shinyapps.io/dentalvis/.

Figure 2. Layer of the web interface that allows to analyze the epidemiological profile based on demographic information of the population of Zacatecas.



In the left side of **Figure 2,** is presented a series of drop-down lists giving the option to choose the different parameters to take into account for the generations of the graphs; within the options that concern: (1) Sex (both, male, female), (2) Status (both, death, alive) and the (3) Location (all, Tacoaleche, El bordo, San José).

Figure 3. Histogram of the distribution sex from the communities of the municipality of Guadalupe, Zacatecas (Demographic Data).

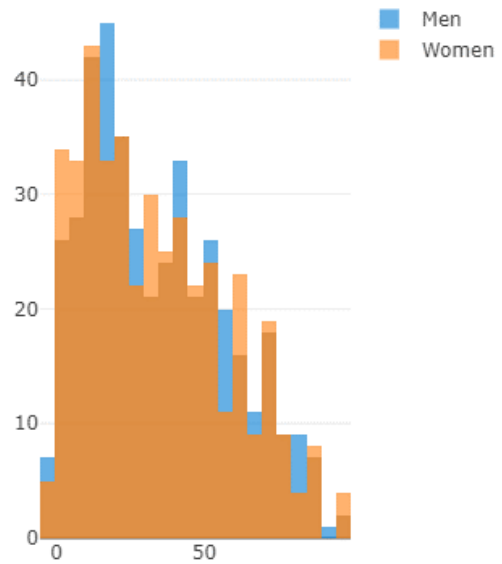
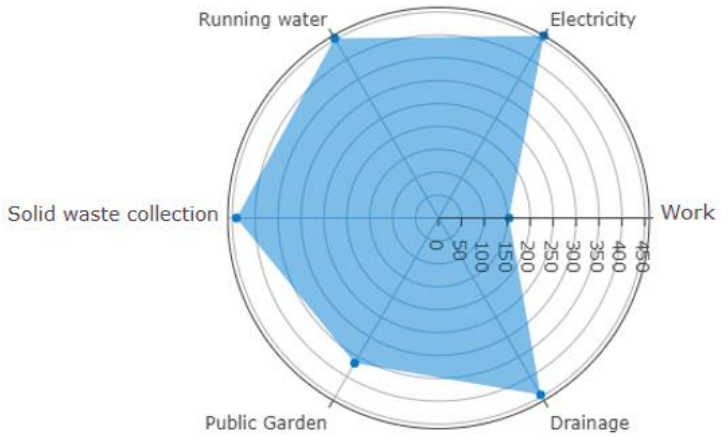


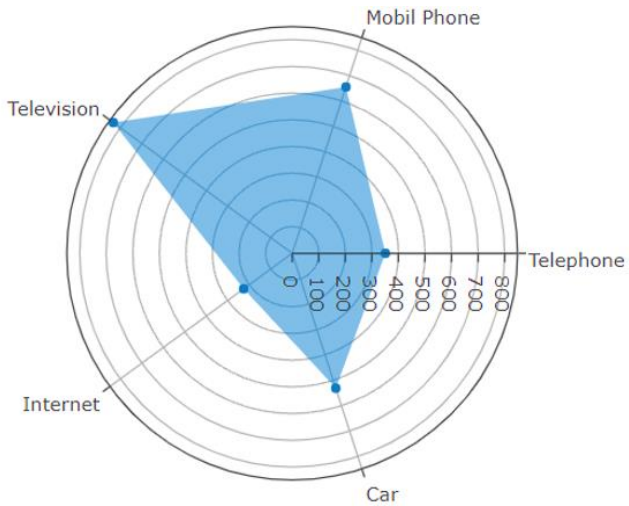
Figure 3 shows an example of the histogram constructed in the web interface; the information used for the development of this graph corresponds to the distribution of the population including both sexes from the communities. Of the total population, 428 are men, and 421 are women.

Figure 4. Radar chart of the Quality of Life.



Regarding the quality of life, **Figure 4** shows the basic services such as work, electricity, running water, solid waste collection, public garden, and drainage. This method highlights the evaluation of the variables. In this case, only 268 subjects work; 817 have solid waste collection; 849 have electricity service; 828 with drainage service**;** 842 have water supply and 727 have public gardens.

Figure 5. Radar chart of the Home Services.



In **Figure 5** is presented the radar chart obtained from the total number of subjects, where of the 849 subjects only 226 have internet, 655 have cell phone, and 833 have television.

Figure 6. Radar chart of Chronic Diseases.

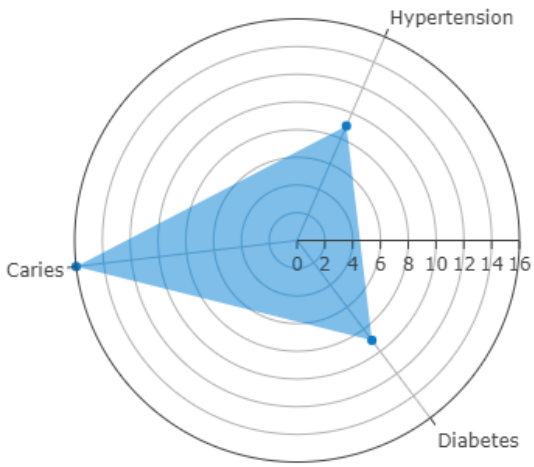
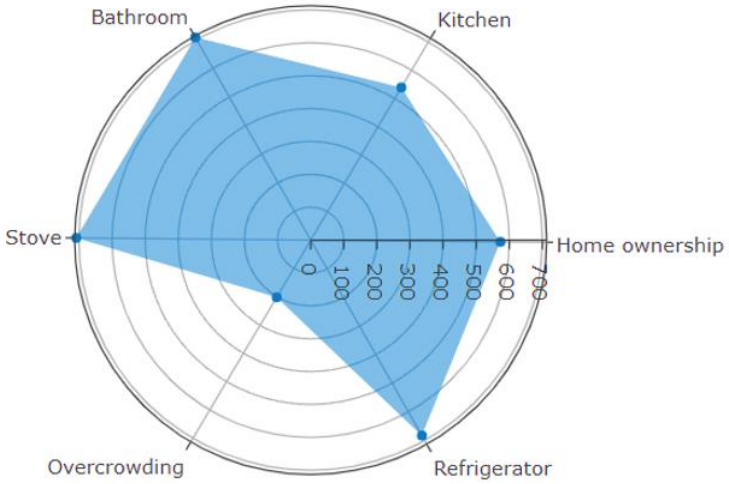


Figure 6 shows a radar chart constructed in the web interface. The information used for the development of this chart concerns the comorbidities from the three municipalities of Guadalupe, Zac., including both sexes alive subjects. The results show that 23 subjects have diabetes, 10 hypertension, and 17 have caries.

Figure 7. Radar chart of Home Features.



According to **Figure 7,** it is identified that 708 of the total population have a stove and bathroom; 683 have a refrigerator, 539 have space for kitchen and 573 own their home.

Figure 8. Radar chart of Public Health Services.

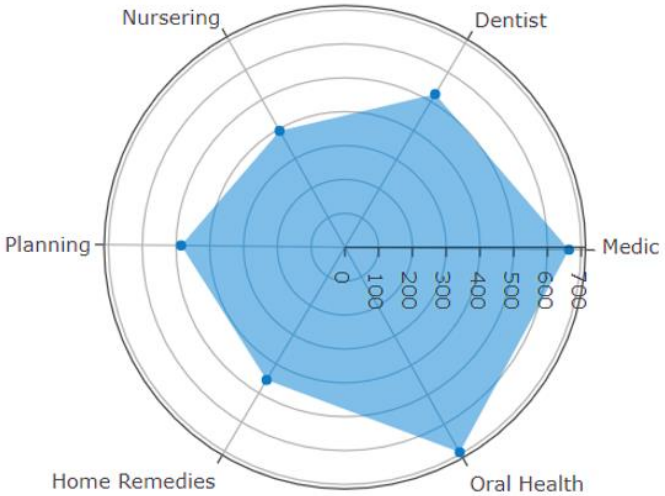
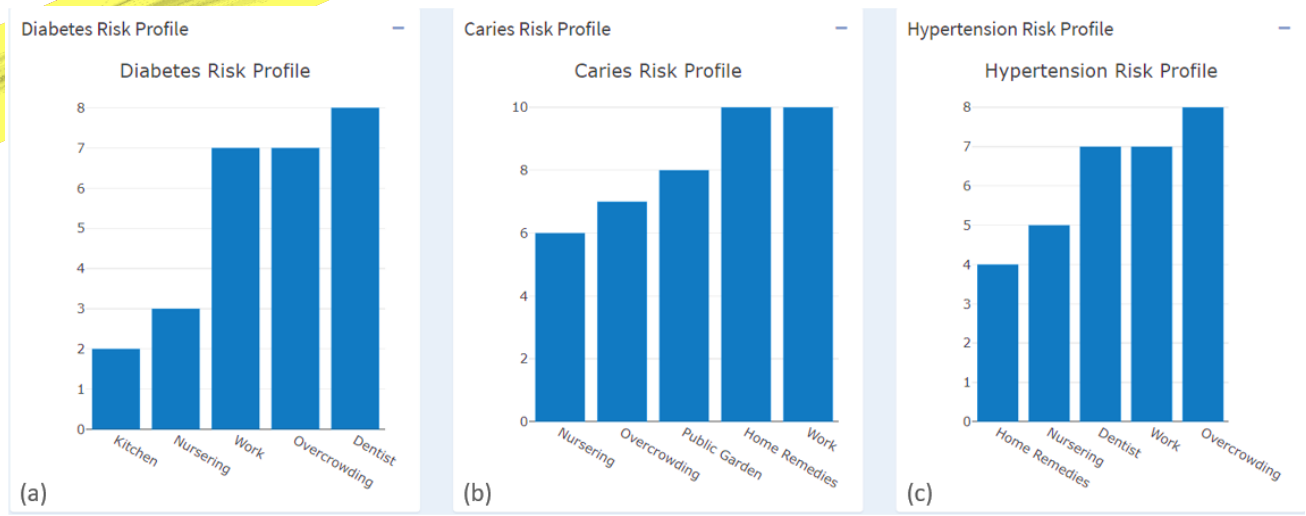


Figure 8 is shown an example of a radar chart representing the information about the access to different health services: among which it stands out that 694 individuals have access to dental care; 664 have general medicine care, and 525 subjects have visited a dentist for their care.

Figure 9. Risk profile: (a) diabetes, (b) caries, and (c) hypertension.



In order to evaluate those features that imply the development of diabetes, caries and hypertension, the profile risk of the population was calculated by counting how many features share the subjects that fit the search. **Figure 9** shows an example of three bar plots constructed in the web interface; **Figure 9 (a)** shows that overcrowding, the lack of work and of medical attention are the principal indicators, then, **Figure 9 (b)** presents that a significant deterioration in social development implies a risk of tooth decay. Finally, **Figure 9 (c)** determines that the lack of health services and overcrowding are the risk factors of suffering hypertension.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The aim of Public Health is to assure conditions in which people can be healthy (Schmitt & Schmitt, 2008). The World Health Organization (WHO) proposed a Health Impact Assessment which is a methodology that is responsible to determine the impact of projects, policies and strategies that are not originally specifically health-related but could have an effect on health (Sandin-Vazquez & Sarria-Santamera, 2008). Data science technologies have already made some in fields related to health care: medical diagnosis, quantifying lifestyle, just to mention a few (Consoli, Recupero, & Petkovi'c, 2019); the use of statistical tools gives a support to adopt recommendations in treatment, diagnosis or decision-making for the benefit of society (Galván-Tejada, et al., 2020).

To our knowledge, this is the first application to analyze the demographic characteristics for the Zacatecas population, allowing the use of epidemiological indicators to a better understanding of the evolution of the Mexican population. Different factors condition health and disease in a certain group of the population, considering attributes such as: age, localization, lifestyle and socioeconomic status, because of this, there is a need to identify the behavior of the population for timely intervention and for the creation of new strategies and public policies to improve people's health.

It is important to mention that the web tool has been developed for descriptive purposes. To go beyond epidemiological information, some risk profiles that the population was subject to develop were calculated. Another important advantage of this work is that the application provides a user-friendly environment for performing statistical analysis, it allows the majority of the population to easily manage and the selection of the parameters for the display of information.

In conclusion, this paper focuses on the development of a web tool based on a methodology contained in four stages; the main purpose of this approach is to provide a tool for visualization and analysis of the data containing information about the population of different localities in the state of Zacatecas. This online tool is an important contribution to accelerate and facilitate the evaluation of the communities allowing the implementation actions for the benefit of community health. It is well known that in the micro realities that make up each state, country or region differ notably in terms of economic resources, access to services, to education, to health. These tools allow an analysis by experts in order to guarantee and establish the efficiency of the various public policies.

It should be noted that this is a preliminary tool, in future work it would be interesting to feed with information from a greater number of municipalities of Zacatecas, Mexico; and to include new analytics and visualizations.

BIBLIOGRAPHY

Chang, W., Cheng, J., Allaire, J., Xie, Y., & McPherson, J. (2015). Package 'shiny'. *See http://citeseerx. ist. psu. edu/viewdoc/download*.

CONEVAL. (2020). *Informe de pobreza y evaluación 2020. Zacatecas.* Cuidad de México.: CONEVAL.

Consoli, S., Recupero, D. R., & Petkovi'c, M. (2019). *Data science for healthcare: Methodologies and applications.* Springer.

Dean, S., & Illowsky, B. (2009). Descriptive Statistics: Histogram. *Retrieved from the Connexions Web site: http://cnx. org/content/m16298/1.11*.

Dong, H.-b., Zhang, G.-h., Yan, M.-j., & Tian, Y.-l. (2021). Soil environmental quality in Nanling commodity grain base based on equal intercept transformation radar chart. *Scientific Reports*, *11*(1), 1-8.

Galván-Tejada, C. E., Zanella-Calzada, L. A., Villagrana-Bañuelos, K. E., Moreno-Báez, A., Luna-García, H., Celaya-Padilla, J. M.,Gamboa-Rosales, H. (2020). Demographic and comorbidities data description of population in mexico with SARS-CoV-2 infected patients (COVID19): An online tool analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(14), 5173.

Gill, T. M. (1994). A critical appraisal of the quality of quality-of-life measurements. (A. M. Association, Ed.) *Jama*, *272*(8), 619-626.

OECD. (2011). *How's life?: measuring well-being.* OECD Paris.

Sandin-Vazquez, M., & Sarria-Santamera, A. (2008). Health impact assessment: assessing the effectiveness of policies in population health. *Revista espanola de salud publica*, *82*(3), 261-272.

Schmitt, N. M., & Schmitt, J. (2008). {Definition of public health. *Encyclopedia of Public Health; Kirch, W., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands*, 37-192.

Team, R. C. (2013). R: A language and environment for statistical computing.

Evaluación del rendimiento de temperatura en una torre de desalinización solar mediante el uso de PCM

Abel Montes de Oca Aguirre[1], Germán Eduardo Dévora Isiordia*[2]

[1]*Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco,e-mail: abel_201721013@test.edu.mx*
[2] *Instituto Tecnológico de Sonora,e-mail: german.devora@itson.edu.mx. *Autor Correspondencia*

Línea de investigación: Ingeniería de Materiales

Resumen

El proceso de desalinización solar representa una oportunidad para obtener agua dulce y disminuir el desabasto del recurso hídrico a nivel mundial y en México en los estados localizados al noreste del país específicamente en el estado de Sonora. Dentro del trabajose muestra la experimentación que se realizó para la evaluación del rendimiento de temperatura en una torre de desalinización solar ocupando cera de parafina, PCMseleccionado. El proceso de evaluación tuvo una duración de 10:30 horas comenzando las mediciones a las 8:30 am y concluyéndolas a las 7:00 pm, dentro de este lapso de tiempo se evaluaron y registraron distintos factores que contribuyeron al estudio como fueron las temperaturas y las condiciones climatológicas. A través de los datos obtenidosse pudieron realizar graficas comparativas de las temperaturas registradas, con las que semuestra de una mejor manera el comportamiento de las temperaturas la eficiencia de emplear cera de parafina como PCM, todo esto teniendo en cuenta las condiciones climatológicas que afectaban al desempeño del estudio durante el tiempo de operación.

Palabras clave: Desalinización, desalinización solar, material con cambio de fase, recurso hídrico.

Abstract

The solar desalination process represents an opportunity to obtain fresh water and reduce the shortage of water resources worldwide and in Mexico in the states located in the northeast of the country, specifically in the state of Sonora. The work shows the experimentation that was carried out for the evaluation of the temperature performance in a solar desalination tower occupying paraffin wax, selected PCM. The evaluation process lasted 10:30 hours, starting the measurements at 8:30 a.m. and concluding them at 7:00 p.m., within this period of time, different factors that contributed to the study, such as temperatures, were evaluated and recorded. and weather conditions. Through the data obtained, it was possible to make comparative graphs of the registered temperatures, with which the behavior of the temperatures is shown in a better way, the efficiency of using paraffin wax as PCM, all this taking into account the weather conditions that affected to the performance of the study during the operating time.

Keywords: Desalination, phase change material, solar desalination, water resource.

INTRODUCCIÓN

A medida que incrementa la población mundial de manera exponencial, la demanda de recursos ha aumentado de forma significativa (Darre y Toor, 2018). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), para 2050, alrededor de 7 mil millones de personas en 60 países sufrirán una grave escasez de agua (Ihsanullah *et al.*,2021). El inminente desabasto de los recursos hídricos es una de las más grandes problemáticas que se presentan en el siglo XXl (Ayman *et al*., 2017). Se estima que en México aproximadamente tres millones de personas no cuentan con suministro de agua dulce, en especial los estados localizados al noreste del país (Encinas *et al.*, 2021). Diferentes factores influyen en este desabasto de agua; las altas temperaturas que se alcanzan en esta región, las escasas precipitaciones (SENER,2018), además del elevado consumo de agua por parte del sector agrícola y ganadero quienes utilizan aproximadamente el 93% del agua total disponible en el noreste del país (Encinas *et al.*, 2021).

Ante este problema la desalinización es una alternativa que ha llamado a la investigación a muchos científicos. Esta tecnología contribuye a facilitar el suministro constante de agua dulce de buena calidad manteniendo el recurso hídrico existente (DeNicola et al., 2015). Se prevé que el suministro de agua desalinizada se triplique para 2050. Pese a estas ventajas que ofrece la desalinización existen diferentes impactos ambientales, de los cuales los más significativos que presentan serían las descargas de salmuera y el uso intensificado de energía proveniente de combustibles fósiles (Ihsanullah *et al.*, 2021).

La desalinización solar directa es uno de los procesos de purificación que ha destacado en el siglo XXl, ya que utiliza la radiación solar como fuente de calor para evaporar el agua. Sin embargo, este proceso se queda sujeto a diferentes factores, uno de ellos es el lapso de tiempo que puede estar limitado o sujeto al tiempo que se cuente con la radiación solar en un día (Ahmed *et al.*, 2019). Con el fin de hacer frente a esta desventaja de la tecnología, se ha venido evaluando la implementación de materiales de cambio de fase, los cuales aumentarían la eficiencia del sistema sobreponiéndose al problema de la falta de radiación solar de determinados días (Al-harahsheh *et al.*, 2018).

Los materiales con cambio de fase (PCM, por sus siglas en inglés) ofrecen un almacenamiento de energía térmica de calor latente que absorbe el exceso de energía con su posterior liberación que sucede acompañado de un cambio de fase (Faraj *et al.*, 2021). Los PCM se clasifican en orgánicos, inorgánicos y eutécticos (Alehosseini y Jafari ,2019). Lacera de parafina se clasifica como un PCM orgánico que tiene como principal ventaja su fácil aplicación, estabilidad térmica y química, no es corrosivo y no sufre subenfriamiento (García, 2012).

De acuerdo con Lou *et al*. (2021) los PCM representan una gran área de oportunidades en el campo de la desalinización y energías renovables. Dos de los principales problemas a nivel mundial estarían siendo abordados en esta investigación que pretende plantear una alternativa económica, viable y ambiental.

Objetivo: Evaluar el rendimiento de la torre de desalinización solar para aumentar la producción agua, mediante el uso de cera de parafina como material de cambio de fase (PCM).

DESARROLLO

OBJETO DE ESTUDIO

Al implementar una torre de desalinización solar mediante el uso de PCM, para evaluar el rendimiento de temperatura y además de medir las condiciones climatológicas del lugar de estudio dará a conocer la viabilidad de implementar materiales de cambio de fase en torres de desalinización solar, aportando con esto al conocimiento de proyectos de desalinización sustentable. Además, de brindar acceso a agua dulce a zonasque se encuentran alejadas de suministro de este recuro hídrico, ayudando a incrementarsu calidad de vida.

METODOLOGÍA

Zona de estudio

Las pruebas se realizaron en el Instituto Tecnológico de Sonora, ubicado en Ciudad Obregón, Sonora en el Laboratorio de Aguas Marinas y Salobres con empleo de EnergíasRenovables (Figura 1) en las coordenadas 27° 29’ 36.5” N y 109° 58’ 11.8” O.

Figura 1. Zona de estudio.

Materiales

- Multímetro Digital Fluke 87-v.
- Sonda de temperatura Fluke 80bk-a.
- Ambient weather WS-2902.
- Balanza electrónica VELAB.
- Silicón sista f121.
- Cera de parafina, como PCM.
- Caja plástica de 40 cm x 60 cm x 27 cm.
- Chimenea de metal galvanizado de 50 cm de altura y 7.5 cm de diámetro.
- Policarbonato.
- Contenedor de acero inoxidable de 10 cm x 10 cm x 15 cm.
- Recipiente de plástico con capacidad de 1 L.
- Espátula.
- Agua de red.

Descripción del experimento

El proyecto se dividió en tres etapas para poder cumplir con el objetivo definido. A continuación, se muestra en la Figura 2 de forma esquemática las etapas y las actividades desarrolladas, para evaluar el rendimiento de la torre de desalinización solar y aumentar la producción de agua, ocupando un material con cambio de fase.

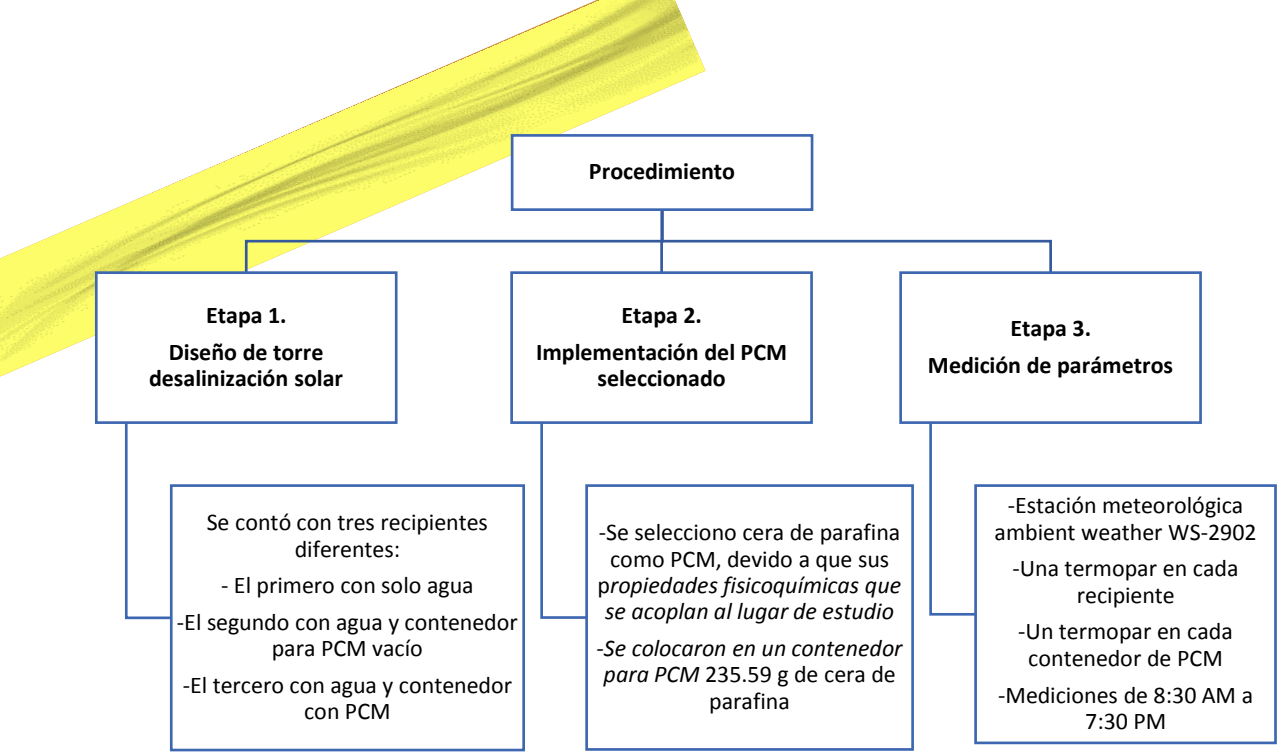


Figura 2. Etapas para el desarrollo del proyecto

Etapa 1. Diseño de torre desalinización solar

Se emplearon tres cajas plásticas de 40 cm de ancho por 60 cm de largo y 27 cm de altura,de las cuales en dos de ellas se colocó en su interior un contenedor de acero inoxidable de calibre 303 de 10 cm x 10 cm x 15 cm, en los tres casos se fijó en la parte superior un policarbonato de 40 cm de ancho por 60 cm de largo, además de una chimenea de metal galvanizado de 50 cm de altura y 7.5 cm de diámetro (Figura 3, 4).

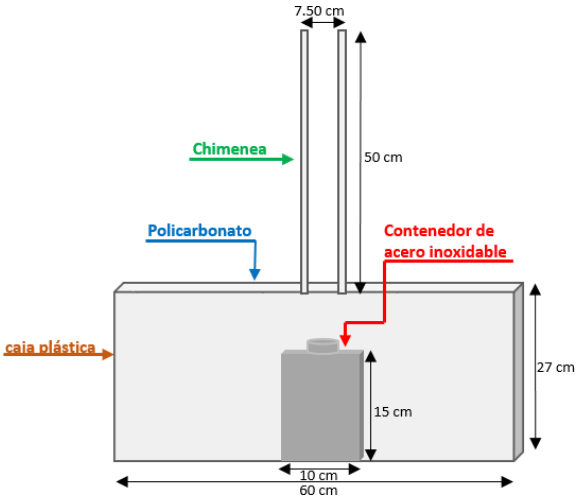


Figura 3. Caja plástica 1 y 2, con contenedor de acero inoxidable en su interior.

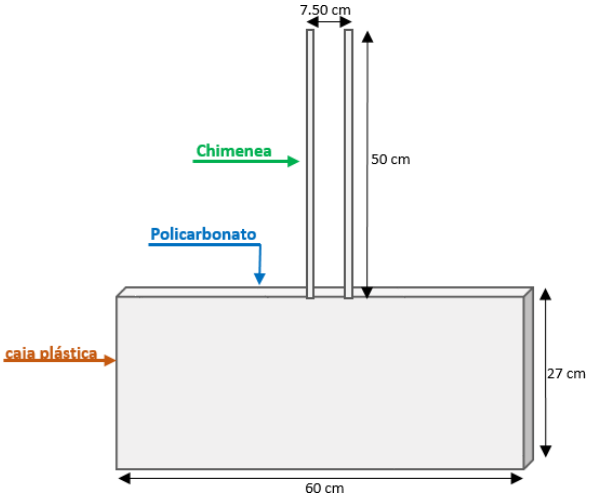


Figura 4. Caja plástica 3, sin contenedorde acero inoxidable en su interior.

En las tres cajas plásticas se les agrego 9 litros de agua de red a una salinidad de 277 mg/L que equivale a 5.8 cm de altura. Además, se insertó el PCM en un contenedor de acero inoxidable (Figura 5, 6, 7).

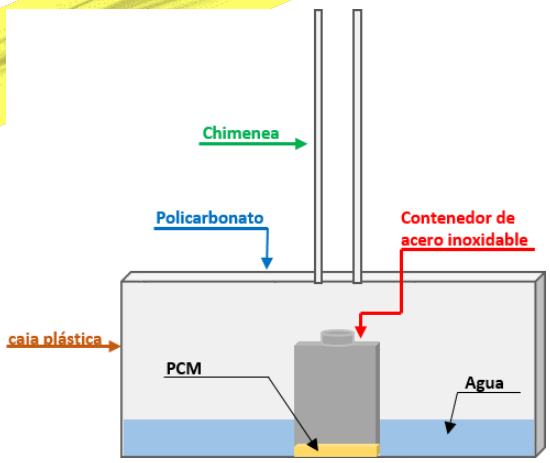


Figura 5. Caja plástica 1, con contenedor de acero inoxidable, agua y con PCM.

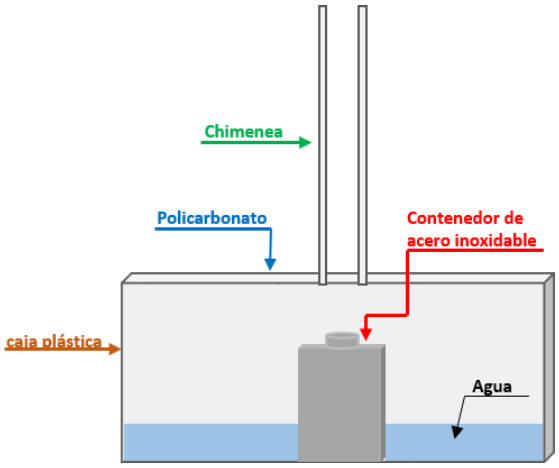


Figura 6. Caja plástica 2, con contenedor de acero inoxidable, agua y sin PCM.

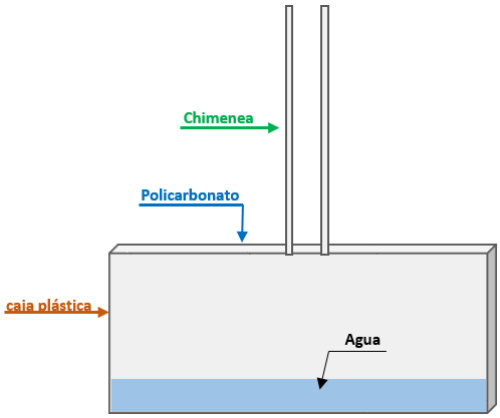


Figura 7. Caja plástica 3, sin contenedorde acero inoxidable y agua.

Etapa 2. Implementación del PCM seleccionado

En un contenedor de acero inoxidable se introdujo cera de parafina, el PCM fue seleccionado debido a que sus propiedades se acoplan de manera idónea al estudio, Tabla 1 (Oliver *et al.*, 2012). El contenedor de acero inoxidable marco un peso total de 785.3 g,por lo que se le introdujo 235.59 g de cera de parafina, siendo esto el 30% del peso total del contenedor.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de la cera de parafina.

Componente	Temperatura de fusión (°C)	Calor de fusión (kJ/kg)	Conductividad térmica (W/m °K)		Densidad (kg/m^3)	
			Líquido	Sólido	Líquido	Sólido
Cera de parafina	32-32.1	251	3.96	1.92	0.224	0.514

FASES DEL DESARROLLO

Etapa 3. Medición de parámetros

Se ocuparon 5 sondas de temperatura Fluke 80bk-a, también denominadas termopares, de las cuales se emplearon 3 para poder conocer la temperatura del agua en cada recipiente a una altura de 3.8 cm y las dos sondas de temperatura restantes se fijaron a las paredes de los dos contenedores de acero inoxidable, uno con PCM y uno sin PCM, a una altura de 3.8 cm. (Figura 8).

Figura 8. Experimentación montada.

Los parámetros de temperatura del agua (°C) y temperatura del contenedor (°C) fueron medidos mediante el multímetro digital Fluke 87-v (Figura 9). La temperatura ambiente(°C), velocidad del viento (km/h), humedad (%) y radiación solar (W/m^2) fueron medidos mediante la estación meteorológica ambient weather WS-2902 (Figura 10). La mediciónde cada parámetro se realizó cada 30 minutos, en un periodo de 8:30 am- 7:30pm.

Figura 9. Multímetro digital Fluke 87-v.

Figura 10. Ambient weather WS-2902.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 11 muestra la oscilación de los resultados de los parámetros meteorológicos que se registraron para el estudio, al igual que Lou *et al*. (2021) la radiación solar registrada muestra que existe relación entre el PCM y la intensidad de la radiación. Se encontró que la radiación máxima fue 806 W/m^2 a las 12:00 pm, asemejándose con Kumay y Mylsamy (2020) ya que registro sus puntos máximos de radiaciones solares a las 12:30 pm. De acuerdo con Bai *et al*. (2018) la influenciencia de la velocidad del aire es un factor indispensable para conocer la disipación de temperatura almacenada, la velocidad del viento registrada fluctuó en el transcurso del día, con una máxima de 11.2 km/h a las 2:30 pm y la temperatura ambiente más alta que se marco fue 38.8 °C a las 12:30 pm.

En la Figura 11 después de las 12:00 pm la radiación comenzó a decrecer y a las 5:00 pm se registró una radiación de 331 W/m^2, a la misma hora se marcó una temperatura ambiente de 36 °C, teniendo similitud con Dhindsa (2021), ya que en el mismo lapso de tiempo marco 285 W/m^2 de radiación solar y culmino el día con una temperatura ambientede 36 °C.

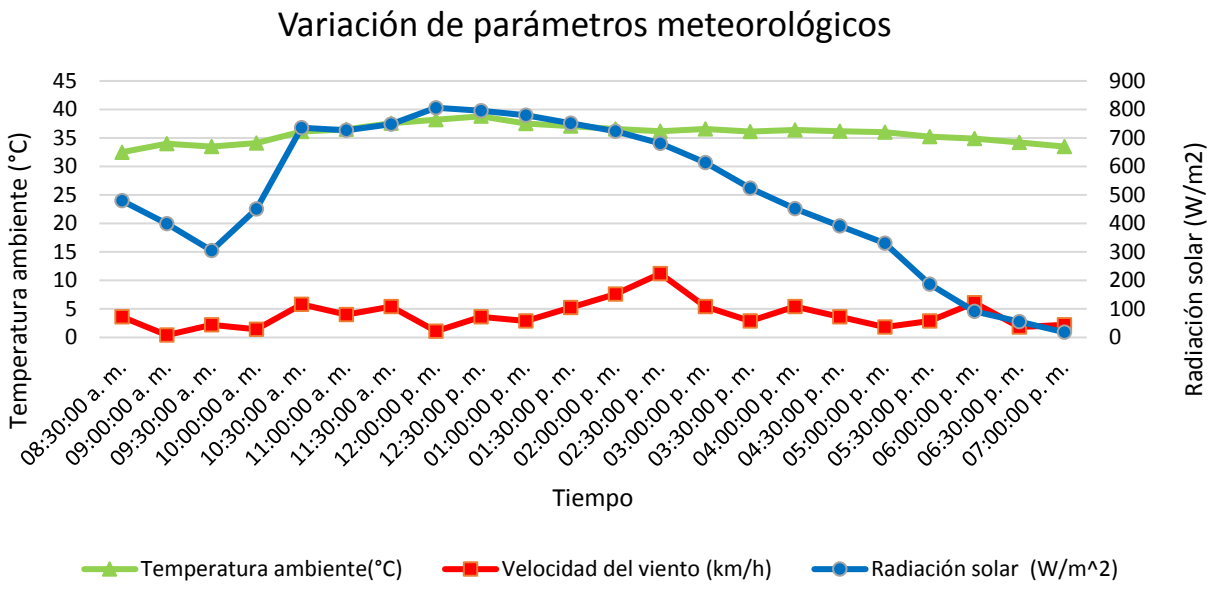


Figura 11. Variación de parámetros meteorológicos.

La comparación de las diferentes temperaturas se muestra en la Figura 12.

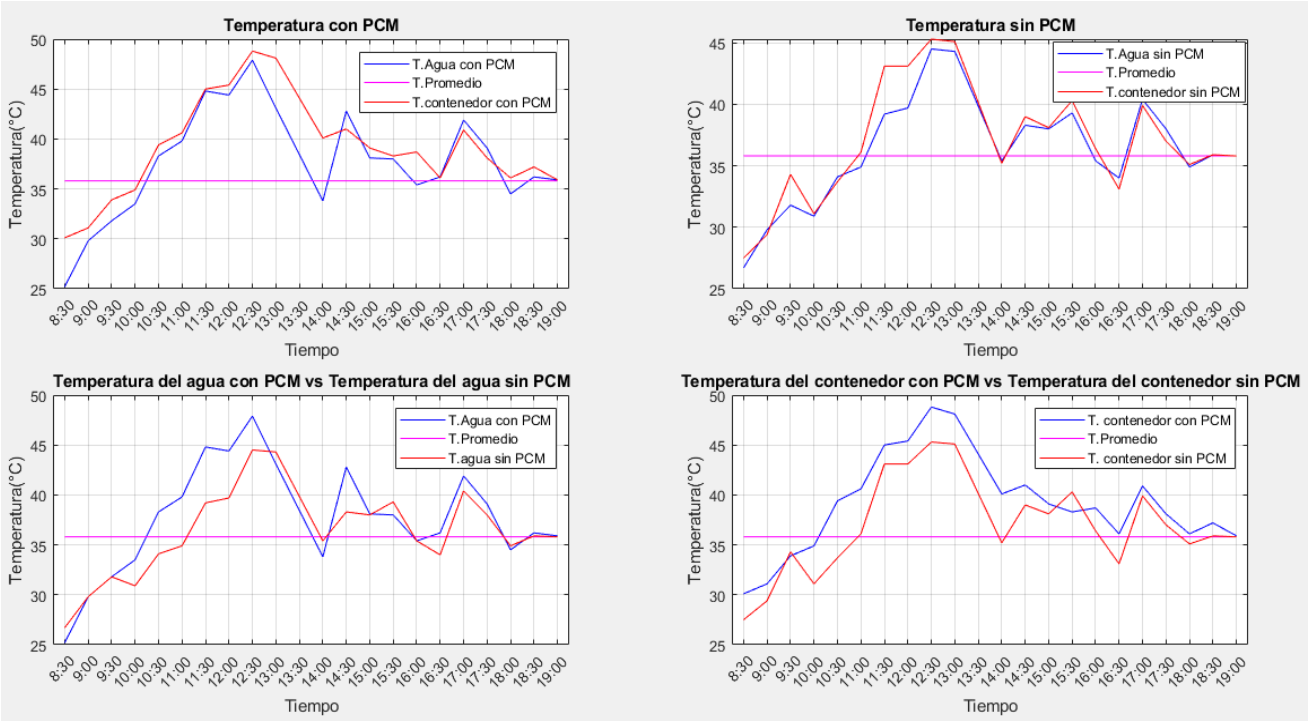


Figura 12. Comparación de temperaturas: Caso 1. Temperatura con PCM, Caso 2. Temperatura sin PCM, Caso 3. Temperatura del agua con PCM vs Temperatura del aguasin PCM, Caso 4. Temperatura del contenedor con PCM vs Temperatura del contenedorsin PCM.

Figura 12 caso 1, la temperatura del agua en la mayor parte del día fue inferior que la temperatura del contenedor con PCM, como lo comenta García (2012) la cera de parafina se almaceno latente durante el día y el calor latente almacenado en la cera de parafina se transfirió al agua del recipiente durante la tarde y la noche, lo que conduce a una temperatura más alta en el recipiente que en el agua, siendo esto un comportamiento común al emplear PCMS.

Figura 12 caso 2, Se observó que la temperatura del agua sin PCM y la temperatura del contenedor sin PCM no varío mucho a pesar del tiempo e incluso en algunos puntos lograron un equilibrio termodinámico, debido a que no contaba con el PCM empleado que almacena

calor latente y mejora la eficiencia e intercambio de calor en el sistema, siendo estas últimas algunas de las ventajas de los PCMS, como lo destaca Oliver *et al.*, (2012) en su estudio.

Figura 12 caso 3 y 4, en estos dos últimos casos se logró distinguir la eficiencia de implementar PCM, ya que la temperatura del agua con PCM fue de 39.22 º C mientras que la temperatura del agua sin PCM fue de 37.67 ºC dando una diferencia de temperatura promedio de 1. 54 º C. Al implementar PCM la eficiencia de la temperatura promedio fue de 2.51% mayor que sin PCM, teniendo relación con Dhindsa (2021), ya que en su estudio muestra que la cera de parafina implementada a los alambiques solares siempre marco su eficiencia en comparación con los alambiques solares sin PCM.

CONCLUSIÓN

El presente trabajo cumplió con el objetivo planteado. Se logró construir un modelo a escala de un sistema de torre solar de desalinización. Se probaron 3 sistemas uno solo con agua, otro con agua y contenedor para PCM vacío y un tercero que tenía agua y contenedor con PCM con cera de parafina.

Los datos meteorológicos que se aplican y relacionan para la investigación son una máxima radiación de 806 W/m^2 a las 12:00 pm. La velocidad máxima del viento fue de 11.2 km/h a las 2:30 pm y la temperatura ambiente más alta que se marco fue 38.8 °C a las 12:30 pm.

La temperatura del agua en la mayor parte del día fue inferior que la temperatura del contenedor con PCM con un valor promedio de 37.67 °C y 39.22 °C respectivamente. Por otro lado, se encontró que la temperatura del agua sin PCM y la temperatura del contenedor sin PCM no varío mucho con un valor promedio de 36.41 °C y 37 °C respectivamente a pesar del tiempo e incluso en algunos puntos logroun equilibrio termodinámico.

También se logró distinguir la eficiencia de implementar PCM con un valor de 2.51 %, ya que la temperatura del agua con PCM y la temperatura del contenedor con PCM es más eficiente que sin PCM para ambos casos. Es evidente que las eficiencias térmicas al usar materiales cambios de fase en torres solares de desalinización dejan áreas factibles de implementar con fines de reducir costos, mejorar la eficiencia energética al realizar cambios de fases, en interiores de torres solares de desalinización y de brindar mayor cantidad de agua a comunidades costeras.

BIBLIOGRAFÍA

Ahmed, F.E., Hashaikeh, R., Hilal, N., (2019). Solar powered desalination – Technology, energy and future Outlook. *Desalination*, 453(0011-9164), pp.1-22.

Alehosseini, E., Jafari, S. M., (2019). Micro/nano-encapsulated phase change materials (PCMs) as emerging materials for the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 91(0924-2244), pp.1-13.

Ayman, G.M.I., Ahmed, M. R., Dincer, I., (2017). Exergoeconomic analysis for cost optimization of a solar distillation system. *Solar Energy*, 151(0038-092X), pp.1-10.

Bai, Y., He, X., Lui, Y., Duan, J., Wang, Y., Han, X., (2018). Experimental investigation of a solar thermal storage heater assembled with finned heat pipe and collective vacuum tubes. *Energy Conversion and Management*, 166 (0196-8904), pp.1-10-

Chauhan, V. K., Shukla, S. K., Tirkey, J, V., Singh Rathore, P. K., (2013). A comprehensive review of direct solar desalination techniques and its advancements. *Cleaner production*,284 (124719), pp.4-28.

Darre, N. C., Toor, G.S., (2018). Desalination of Water: a Review. *Water Pollution*, 4(104-111), pp.1-8

DeNicola, E., Aburizaiza, O.S., Siddique, A., khwaja, H., Carpenter, D.O., (2015). Climate Change and Water Scarcity: The Case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*, 81(2214-9996), pp.1-12.

Dévora Isiordia, G. E., González Enríquez, R., Ruiz Cruz, S., (2013). Evaluación de procesos dedesalinización y su desarrollo en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, lV (3), pp.32-49.

Dhindsa, G. S., (2021). Performance enhancement of basin solar still using paraffin wax andfloating wicks in the basin. *Materials Today: Proceedings*,37(2), pp. 3-7.

Encinas Guzmán, M. I., Robles Lizárraga, A., Rodríguez López, J., Dévora Isiordia, G. E., (2021).Evaluación económica de evaporación de salmueras de ósmosis inversa: gestión ambiental en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 37 (319-327), pp.2-10.

Fajar, K., Khaled, M., faraj, J., Hachem, F., Castelain, C., (2021). *Journal of Energy Storage*,33(101913),pp.2-31.

Garcia Mayayo, J., (2012). Materiales de Cambio de Fase. Diseño de una instalación para la caracterización de PCM a altas temperaturas. Tesis de licenciatura publicada. Universidad de Zaragoza, España.

Gómez, O. G., (2018). Desalinización de agua para aplicaciones depotabilización mediante el desarrollo de tecnología solar sustentable. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones en Óptica A.C.,Aguascalientes, México.

González Cervantes, N., Salazar Hernández, M., Mendoza Miranda, J. M., Cano Lara, M., Salazarhernández, C., (2019). Sílice Mesoporosa como encapsulador de materiales de cambio defase (PCM) Mesoporous silica as a phase change material encapsulator (PCM). *Revista de Ingeniería*, 3(9), pp.14-19.

Ihsanullah, I., Atieh, M. A., Sajid, M., Nazal, M.K. (2021). Desalination and environment: A critical analysis of impacts, mitigation strategies, and greener desalination technologies. *Science of the total environment*, 780 (146585), pp.2-18.

Kumar, P.M., Mylsamy, K., (2020). A comprehensive study on thermal storage characteristics of nano-CeO2 embedded phase change material and its influence on the performance of evacuated tube solar water heater. *Renewable Energy*, 162 (0960-1481), pp.1-14.

Luo, Q., Li, B., Wang, Z., Su, S., Xiao, H., Zhu, C., (2021). Thermal modeling of air-type double-pass solar collector with PCM-rod embedded in vacuum tuve. Energy Conversion and Management, 235(0196-8904), pp.1-11.

Oliver, A., Neila, F. J., García-Santos, A., (2012). Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica. *Materiales de Construcción*,62(305), pp.2-10.

SENER (2018). Dirección general de energías limpias. [En línea] Disponible en: https://dgel.energia.gob.mx/ Última consulta: 16/11/202.

Potencialidades de toba vítrea como material adsorbente de cobre en medio amoniacal

Alien, Blanco Flores[1], Helen Paola, Toledo Jaldin[2], Delia Monserrat, Ávila Márquez[3], Javier Ernesto, Vilasó Cadre[4], Iván Alejandro, Reyes Domínguez[5]

[1]*División de Ingeniería Mecánica, Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco/alien.blanco@test.edu.mx*
[2] *División de Ingeniería Mecánica, Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco/ helen_mecanica@test.edu.mx.*
[3]*Insituto de Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí/ a275206@alumno.uaslp.mx*
[4]*Insituto de Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí/jvilasocadre@gmail.com*
[5]*Instituto de Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí/alejandro.reyes@uaslp.mx*

Línea de investigación: Ciencia e Ingeniería de Materiales

Resumen

La industria de circuito impreso tiene un rápido crecimiento debido al desarrollo de equipos electrónicos modernos. La fabricación de los tableros involucra un recubrimiento con cobre, sobre la que se realizan las impresiones; y luego el cobre es eliminado utilizando una solución amoniacal. En este medio el cobre es muy soluble y estable formando complejos de amina, que son difíciles de remover desde aguas residuales.
El objetivo del trabajo fue encontrar las mejores condiciones de adsorción por lotes de Cu^{2+} de aguas residuales amoniacales utilizando un mineral de origen volcánico conocido como toba vítrea usando herramientas estadísticas.
El mineral se trató por lavado y posteriormente se determinó el tiempo de equilibrio y la capacidad máxima de adsorción a través de la obtención de la cinética e isoterma de adsorción respectivamente. Se empleó un diseño factorial 2^3, definiendo como variable respuesta la cantidad adsorbida. El tratamiento de los datos para calcular los parámetros estadísticos se basó en el uso del programa Statgraphics Centurion XV.II.
Para validar el funcionamiento del sistema bajo condiciones optimizadas se diseñó un sistema de adsorción por lotes de una sola etapa, que utilizó un tanque de agitación con diseño estándar para mezclar el residuo con el mineral.
Después de hacer un análisis económico a nivel trabajo se concluye que el material es un buen adsorbente para eliminar cobre desde medio amoniacal, removiendo 0.0015 mol/g, más que otros adsorbents naturales reportados en la literatura, siendo la concentración inicial influyó positivamente en el diseño.

Palabras clave: adsorción, circuitos impresos, flujo contracorriente, iones cobre, medio amoniacal.

Abstract

The printed circuit industry is growing rapidly due to the development of modern electronic equipment. The manufacture of the boards involves a coating with copper, on which the impressions are made; and then the copper is removed using an ammonia solution. In this medium, copper is very soluble and stable, forming amine complexes, which are difficult to remove from wastewater.
The objective of the work was to show finding the best adsorption conditions for batches of Cu2 + from ammonia wastewater using a mineral of volcanic origin known as vitreous tuff using statistical tools.
The mineral was treated by washing and subsequently the equilibrium time and the maximum adsorption capacity were determined by obtaining the adsorption kinetics and isotherm respectively. A 23 factorial design was used, defining the amount adsorbed as the response variable. The treatment of the data to calculate the statistical parameters was based on the use of the Statgraphics Centurion XV.II program.
To validate the operation of the system under optimized conditions, a single-stage batch adsorption system was designed, which used a shake tank with a standard design to mix the residue with the mineral.
After doing an economic analysis at the working level, it is concluded that the material is a good adsorbent to eliminate copper from ammonia, removing 0.0015 mol / g, more than other natural adsorbents reported in the literature, with the initial concentration having a positive influence on the design.
Keywords: adsorption, printed circuits, countercurrent flow, copper ions, ammonia medium.

INTRODUCCIÓN

En la ciencia e Ingeniería de Materiales, uno de los elementos más importante en la selección de materiales para una u otra aplicación, son los diferentes tipos de propiedades, así como el factor económico. Con respecto a lo primero la comunidad científica se enfoca en la búsqueda y síntesis de materiales con propiedades texturales, morfológicas y estructurales, cada vez mejores. El aspecto económico, en este sentido pasa a segundo plano porque en la mayoría de los casos no importa cuan costoso sea el proceso de síntesis e incluso cuan factible o viable sea de escalar y reproducir el mismo. La realidad es que aun cuando el material sintetizado sea el mejor para la aplicación que se destine, el aspecto económico decide si es posible o no implementarlo a escala industrial.

Así que los investigadores también han buscado como alternativa el uso de materiales de bajo costo, por ejemplo, zeolitas, arcillas e incluso residuos de diferentes industrias. Ello porque aun estando presente en la naturaleza existen cantidades agrandes de estos yacimientos las características físico-químicas les avala para su uso como materiales absorbentes eficientes. Es por ello que durante las últimas décadas diversas investigaciones han estado centradas en la búsqueda de materiales no convencionales de bajo costo, tanto de origen natural como industrial y agrícola, que permitan reemplazar materiales adsorbentes cuyo costo de comercialización es elevado (carbón activado y resinas sintéticas de intercambio iónico) (Manoslava 2008).

Cuba está entre los países mejor estudiados geológicamente, cuenta con diferentes recursos naturales dentro de los que se destacan los yacimientos de zeolitas, caolín, bentonita y tobas vítreas. Estos son utilizados fundamentalmente en la industria de la cerámica y la construcción, sin embargo, estudios geológicos indican que son factibles de utilizar como medios filtrantes (Blanco et al., 2009).

Investigaciones recientes han demostrado la factibilidad de la toba vítrea cubana para remover cobre (II) desde medio líquido (Blanco-Flores et al., 2009). Es por ello que se seleccionó para utilizarlo como material adsorbente en la presente investigación, teniendo en cuenta que el país cuenta con grandes yacimientos del material inorgánico en cuestión.

Uno de los principales usos que se les dá a los minerales es como adsorbentes de contaminantes orgánicos e inorgánicos, precisamente por la estructura porosa que desarrollan. Además de que esta es una problemática latente durante muchas décadas y que aun persiste. Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente 1100 millones de personas carecen de acceso a agua no contaminada. En los países en desarrollo, entre el 90% y 95% de los desagües cloacales y el 70% de los desechos industriales, se vierten sin tratar en las fuentes de aguas superficiales, contaminando los mismos. El saneamiento deficiente del agua contaminada y su uso hace que cada año mueran más de 12 millones de personas en todo el mundo (Caviedes Rubio et al., 2015). Precisamente la contaminación de las aguas por metales pesados es una de las más frecuentes y peligrosas. Los metales pesados se consideran sustancias tóxicas a concentraciones superiores a los límites permisibles en los organismos vivos, debido a su limitada capacidad de degradación y a su poder bioacumulador (Moreno-Osuna et al., 2021).

Dentro de las industrias responsables de la contaminación de aguas por metales pesados se encuentran aquellas cuyo objeto social es la fabricación de placas de circuitos impresos, las refinerías, minerías entre otras, cuyos volúmenes de residuales llegan a ser elevados (Ortega-Ortiz et al., 2010). El Instituto Central de Investigaciones Digitales (ICID) se localiza en la provincia de La Habana, Cuba. En su proceso productivo genera un residual líquido que contiene cantidades elevadas de cobre (II) en medio amoniacal. Actualmente el Instituto no cuenta con una planta de tratamiento que le permita tratar su residual. Es por ello que el ICID paga a otra empresa para tatar este cuyo costo es elevado. El tratamiento del mismo implica la transferencia del contaminante del medio líquido a fase sólida. Esto significa que el contaminante no desaparece, quedando latente el problema de su disposición.

Un mineral que podría utilizarse para descontaminar aguas de metales pesados es la toba vítrea. También conocido como "vidrio volcánico" ya que se fase amorfa constituye más del cincuenta por ciento del material rocoso que la forma. Esta roca generalmente es una toba vitroclástica o vitrocristaloclástica, conteniendo menos del cincuenta por ciento de montmorillonita, con cantidades pequeñas de carbonatos, feldespato y cuarzo. Se caracteriza por ser muy ligera, porosa y de baja resistencia mecánica. Es abrasiva al tacto y se forma como resultado de la deposición en mares someros, de salinidad normal y de detritos expulsados durante las erupciones volcánicas. La toba vítrea se relaciona con otras rocas volcánicas silíceas, que son las que comúnmente en el mundo reciben el nombre de vidrio volcánico, las une su comunidad de origen y la semejanza en sus características físico-químicas y campos de uso en la industria. Entre ellas tenemos la pumita (piedra pómez), la perlita y la obsidiana, que son de composición ácida y con un setenta por ciento de sílice como promedio. La toba vítrea es toba de composición ácida y media, gris o cremosa, muy porosa, predominando la toba de grano fino y medio, en ocasiones algo alterada a montmorrillonita, o a carbonato, e interestratificada con caliza silicificada. La toba vítrea (vidrio volcánico) cubana se caracteriza por presentarse en considerables volúmenes ubicados superficialmente, con fácil acceso, lo cual facilita la extracción, beneficio y comercialización de este tipo de materia prima. La composición química media y los valores de los elementos nocivos para los depósitos de toba vítrea con mayor grado de estudio, se comportan de la siguiente forma (IGP, 2011)

.

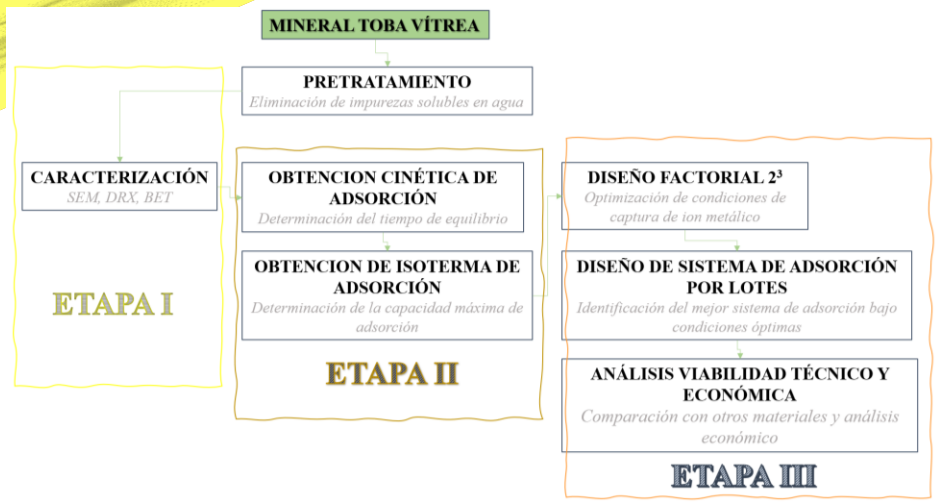
Por ello el objetivo del trabajo fue validar el uso de una toba vítrea cubana para la adsorción de cobre peor desde medio amoniacal. Las condiciones de adsorción fueron optimizadas y con ellas se validó la propuesta a través de un estudio de adsorción por lotes.

DESARROLLO

El objeto de estudio en este trabajo es el agua residual generada por una industria de circuitos impresos.

La metodología se describe en la figura 1.

Figura 1. Metodología de la investigación realizada.



OBJETO DE ESTUDIO

Tova vítrea como mineral de origen volcánico sin uso mas que en la industria de la construcción. Este presenta características físico-química que le hace un potencial material adsorbente ara capturar contaminantes en fases no convencionales, como es el medio amoniacal.

Además de ello, a raíz de la colaboración entre Instituciones de Educación Superior se realizado la validación del mineral en cuestión a través de estudios de adsorción de cobre en medio amoniacal, procedente de un agua residual de una industria cubana. Dentro de las industrias responsables de la contaminación de aguas por metales pesados se encuentran aquellas cuyo objeto social es la fabricación de placas de circuitos impresos, las refinerías, minerías entre otras, cuyos volúmenes de residuales llegan a ser elevados. El Instituto Central de Investigaciones Digitales (ICID) se localiza en la provincia de La Habana, Cuba. En su proceso productivo genera un residual líquido que contiene cantidades elevadas de cobre (II) en medio amoniacal. Actualmente el Instituto no cuenta con una planta de tratamiento que le permita tratar su residual. Por lo que el ICID paga a otra empresa para tatar este cuyo costo es elevado. El tratamiento de este implica la transferencia del contaminante del medio líquido a fase sólida. Esto significa que el contaminante no desaparece, quedando latente el problema de su disposición.

METODOLOGÍA

FASES DEL DESARROLLO

La toba vítrea procedente del yacimiento Magueyal ubicado en el oriente del país (figura 2). Los experimentos se realizaron utilizando la fracción más pequeña del material tamizado, correspondiente a un tamaño promedio de partícula menor a 0.250 mm.
El análisis de composición química del mineral se realizó en el Laboratorio de Rocas y Minerales (LACEMI) a través de métodos establecidos y certificados. La muestra se fundió y se determinaron los elementos que constituyen el mineral empleando un Espectrómetro de Absorción Atómica SP-1900.
La determinación de la pérdida de peso se realizó lavando el material con agua destilada y con una solución de 0.1M HCl. El procedimiento para los dos casos fue el mismo, solo cambió la solución con que se lavó el material. Para ello se pesó el mineral y se mezcló con un volumen determinado de agua destilada y solución ácida. Luego de agitar por 3 h, se filtró y lavó con agua. Luego se secó a 100 °C durante 24 h en una estufa LABORGERATE BERLIN Tipo 18.
Las características texturales del material en estado natural se obtuvieron por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) en un microscopio electrónico marca JEOL JSM 6510. El espectro IR del residual se obtuvo a temperatura ambiente. En la adquisición de espectros se empleó un equipo FTIR ATR marca BRUKER TENSOR 27. La muestra se corrió en un intervalo de 4000 a 400 cm y un barrido de 32 scans.
Para la determinación de la concentración de Cu en solución se empleó el método absorciométrico a 620 nm y se utilizó un espectrofotómetro Rayleigh Vis-7236. Debido a que el residual contiene amoniaco, no fue necesario añadir un agente acomplejante de cobre para colorear las soluciones y poder medir las concentraciones del mismo.
Se colocó una cantidad del mineral con 25 mL de una solución del residual de concentración inicial 0.5 mol/L. Cada mezcla se sometió a agitación mecánica de manera que el sólido se mantuviera en suspensión y temperatura ambiente. Cada determinado intervalo de tiempo se tomó muestra, las cuales se filtraron y posteriormente se determinó la concentración del ion metálico adsorbido por unidad de masa de mineral
(Q_{ads}) mediante la ecuación 1 que se muestra a continuación:

$$Q_{ads} = \frac{C_i - C_e}{m} * V \qquad (1)$$

Para obtener la isoterma de adsorción, se pusieron en contacto 250 mg de mineral con 25 mL de diferente concentración inicial de iones (0.07-0.5 mol/L) con agitación durante el tiempo de equilibrio a temperatura ambiente. La mezcla se centrifugó y se decantó. Las concentraciones de Cu (II) en las soluciones se determinaron utilizando la ecuación 1. El pH de cada solución se midió antes y después del tratamiento.

Las variables del diseño factorial (Tabla 1) fueron la concentración inicial de cobre amoniacal (mol/L), temperatura (˚C) y velocidad de agitación (rpm). Los niveles de los factores se codificaron como -1 y +1. La variable dependiente fue la cantidad adsorbida por peso unitario de adsorbente (q_{ads}, mg/g).

Tabla 1. Factores y niveles empleados en el diseño factorial.

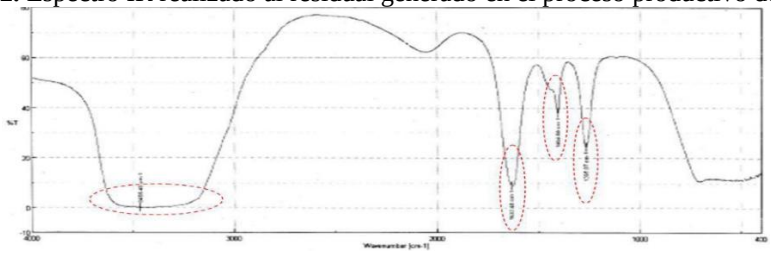
Factor	Levels	
	Low (-1)	High (+1)
Concentración inicial (mol/L)	0.01	0.5
Temperatura (°C)	25	80
Velocidad de agitación (rpm)	300	900

Los experimentos se realizaron a través de un sistema de adsorción por lotes de una sola etapa que utiliza un tanque de agitación con diseño estándar para mezclar el residuo con el mineral. Las dimensiones del tanque fueron de 14 cm de diámetro y 18 cm de altura de líquido, el agitador seleccionado fue de tres hélices con 6 cm de diámetro y paletas de separación de 5 cm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El elemento mayoritario presente en el residual tratado fue el ion cobre (II) en medio amoniacal, en una concentración por encima del límite máximo permisible promedio (LMPP) para los parámetros de los residuales líquidos en Cuba (Normalización, 1999), un pH de 8.65 y una conductividad de 76.9 mS. El espectro IR realizado al mismo mostró señales correspondientes al amoniaco (NH_3) y al complejo ($[Cu(NH_3)_4])^{2+}$ (figura 2). Las señales correspondieron a frecuencias vibracionales a los 1110-1400 cm atribuidas a las deformaciones por doblamiento y estiramiento de la molécula de amoniaco, dentro de esta zona también apareció la señal correspondiente al complejo de cobre amoniacal (3327 y 3169cm^{-1}, 1500-1750cm^{-1} y 2500-3700cm^{-1}).

Figura 2. Espectro IR realizado al residual generado en el proceso productivo del ICID.



Los resultados del análisis químico mostraron la presencia mayoritaria de silicio, seguido de aluminio, además de otros elementos considerados metales alcalinos, alcalino-térreos y metales pesados en menor proporción.

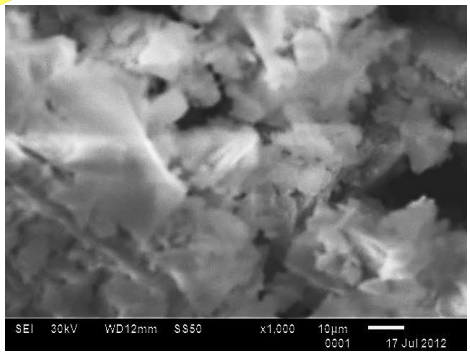
Tabla 2. Composición química del mineral.

Mineral	K_2O	Fe_2O_3	Na_2O	CaO	SiO_2	MgO	TiO_2	Al_2O_3
Magueyal	2.36	3.17	1.11	1.56	68.12	0.86	0.2	11.51

El mineral lavado con agua mostró una pérdida de peso correspondiente a un 15%. Como el porcentaje de pérdida de peso fue pequeño, se infirió que los elementos alcalinos y alcalino-térreos debieron desorberse del material, teniendo en cuenta que la mayoría de los yacimientos de minerales de Cuba están impurificados con sales carbonatadas (Iturralde-Vinent et al., 2006). Para confirmar tal planteamiento se calculó la cantidad de estos elementos en forma de carbonatos a partir de los porcentajes en peso de estos, según el análisis de composición química realizado. El valor reportado por la pérdida de peso, ($m_{perdida}$=0.7366g), fue similar con la cantidad total calculada, correspondiente a los elementos mencionados en forma de carbonatos (m_{total}=0.7721g).

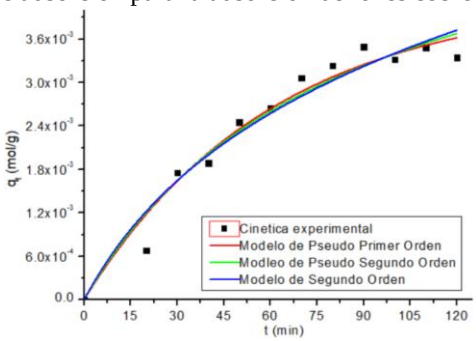
La Microscopía Electrónica de Barrido (figura 3) mostró un material de textura rugosa, con presencia de cavidades de diferentes dimensiones y formas. También se observa la presencia de aglomerados en forma de cristales laminares que corresponden a zeolitas del tipo clinoptilolita y mordenita (Mumpton and Ormsby, 1976), presentes en el material, dada la cercanía de estos depósitos al de la toba vítrea. Según Orozco y Rizo, en Cuba predomina la zeolitización como fenómeno regional, dado por el ambiente deposicional de las rocas. Además, las zeolitas reportadas para Cuba como productos de alteración del vidrio volcánico de las tobas corresponden a la clinoptilolita y mordenita, las cuales son ricas en SiO_2 (Orozco and Rizo, 1998).

Figura 3. Imagen de Microscopia Electrónica de Barrido del mineral toba vítrea.



Según la cinética de adsorción, el tiempo de equilibrio fue de 90 min. Los análisis de los resultados obtenidos para aplicar los modelos cinéticos: modelos de pseudo primer, pseudo segundo y segundo orden (Benjelloun et al., 2021) (Figura 4).

Figura 4. Cinética de adsorción para la adsorción de iones cobre en medio amoniacal.



Los valores de los parámetros cinéticos se muestran en la Tabla 3. Es importante tener en cuenta que para el modelo de pseudo primer orden, el coeficiente de determinación (R^2) es mayor que el modelo de pseudo segundo y segundo orden. Además, los valores de la capacidad de adsorción en el equilibrio (q_e) calculados (q_{ecal}) están más cerca de los valores experimentales (q_{eexp}) para el modelo de pseudo primer orden. Por lo tanto, la remoción de iones cobre es más conveniente explicarlo mediante un modelo de pseudo primer orden que implica un proceso de adsorción a través de superficies homogéneas en relación con el proceso de fisisorción. En este caso, la adsorción se realizó por interacción electrostática entre el complejo de iones de cobre amoniacal y grupos de superficies como: silanoles, presentes en el mineral TVC.

Tabla 3. Parámetros cinéticos del proceso de adsorción utilizando toba vítrea.

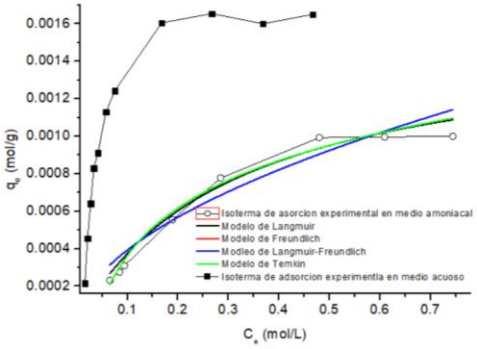
Modelo de pseudo primer orden		
Parámetros cinéticos	**Iones cobre en medio amoniacal (q_{eexp}=0.0035 mol/g)**	**Iones cobre en medio acuoso (q_{eexp}=0.0013 mol/g)**
q_{ecal} (mol/g)	0.0042	0.0013
K_L (min^{-1})	0.017	0.067
R^2	0.9633	0.9894
RSS	$4.9 \cdot 10^{-7}$	$1.6 \cdot 10^{-8}$
Modelo de Pseudo Segundo Orden		
q_{ecal} (mol/g)	0.0062	0.0015
k (min^{-1})	1.91	61.14
R^2	0.9562	0.9944
RSS	$5.8 \cdot 10^{-7}$	$8.6 \cdot 10^{-9}$
Modelo de Segundo Orden		
a (mol/g)	$8.2 \cdot 10^{-5}$	$4.4 \cdot 10^{-4}$
b (mol/g)	456.80	3688.86
R^2	0.9493	0.9850
RSS	$6.8 \cdot 10^{-7}$	$2.3 \cdot 10^{-8}$

Los resultados se compararon con la remoción de cobre de soluciones acuosas, en este caso cambió no solo el tiempo de equilibrio sino también el modelo que mejor se ajustaba a los datos experimentales. Para el primero, el tiempo de equilibrio fue ligeramente superior

al último (80 min). Según el modelo que mejor describió el proceso, cuando el ión de cobre se encuentra en soluciones acuosas la adsorción se realiza mediante una sorción química entre el adsorbato y el adsorbente, que es diferente cuando el ión de cobre se elimina de las soluciones amoniacales. El valor de k indica que el proceso en soluciones acuosas es más rápido y la relación entre el proceso de desorción (b)/adsorción (a) es mayor en este medio (ocho veces) indicó que la interacción entre el cobre y los grupos superficiales es más intensa en las soluciones amoniacales (seis veces). Por tanto, el medio o disolvente en el que está presente el ion, hará que la eliminación del cobre sea una u otra forma independientemente de las características del ion metálico.

La Figura 5 muestra la adsorción experimental y la isoterma de los modelos de adsorción. Los modelos más adecuados para explicar la eliminación de iones de cobre del medio amoniacal fueron Langmuir y Temkin. La capacidad máxima de adsorción es $1.6 \cdot 10^{-3}$mol/g. El valor 1/n (0,53) está relacionado con la distribución de iones unidos a la superficie adsorbente siendo una adsorción favorable cuando este valor está entre 0 y 1.

Figura 5. Comparación del ajuste de datos experimentales con las isotermas de adsorción de las ecuaciones de Langmuir, Freundlich, Langmuir-Freundlich y Temkin (Rajahmundry et al., 2021).



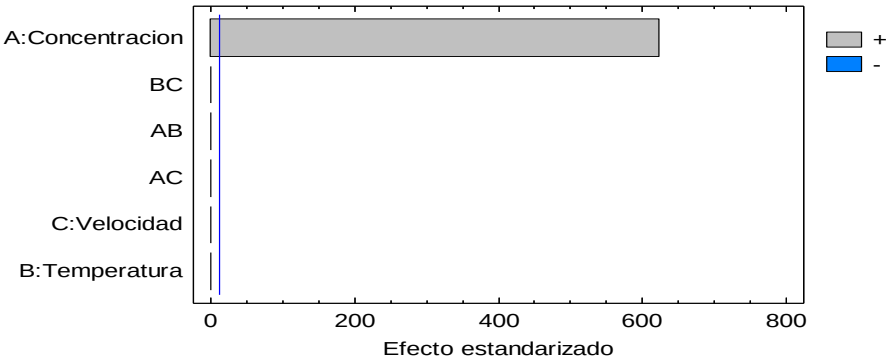
Se obtuvo el modelo de regresión lineal múltiple para conocer la relación entre q_{ads} (mol/g) y concentración inicial (mol/L) a través de la ecuación (2):

$$q_{ads}\left(\frac{mol}{g}\right) = 11.1938 \cdot C_o - 0.0256 \quad (2)$$

El valor obtenido para el estadístico R^2 indicó que el modelo explicaba el 99,9993% de la variabilidad en q_{ads} (mol/g). El valor de p de concentración (0,0000) fue inferior a 0.05, por lo que la variable concentración es estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95%. Además, la estadística de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si existe alguna correlación significativa basada en el orden en que están presentes. Si los residuos varían aleatoriamente, el valor de DW debe estar más cerca de 2, como es el caso, por lo que se consideró que no existe correlación significativa entre ellos.

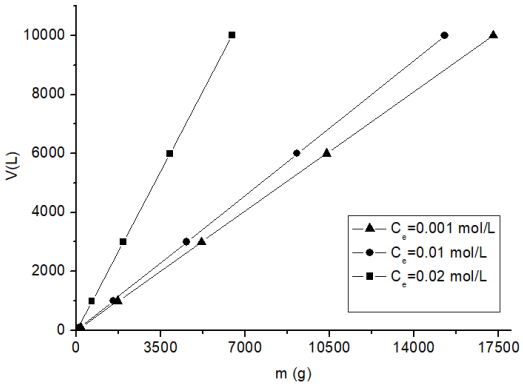
Se seleccionó el diagrama de Pareto para trazar las estimaciones en orden descendente de importancia (Figura 6). La concentración inicial fue un efecto positivo significativo de todas las variables estudiadas. Cuando aumenta la concentración inicial de iones, también aumenta la cantidad adsorbida por gramo de mineral. Porque una mayor concentración inicial provoca un gradiente de concentración entre la solución y el adsorbente, que actúa como fuerza impulsora para transferir iones de la solución a granel a la superficie del adsorbente. El objetivo es superar la resistencia a la transferencia de masa entre la fase líquida y sólida antes mencionada.

Figura 6. Diagrama de Pareto estandarizado por q_{ads} (mol / g).



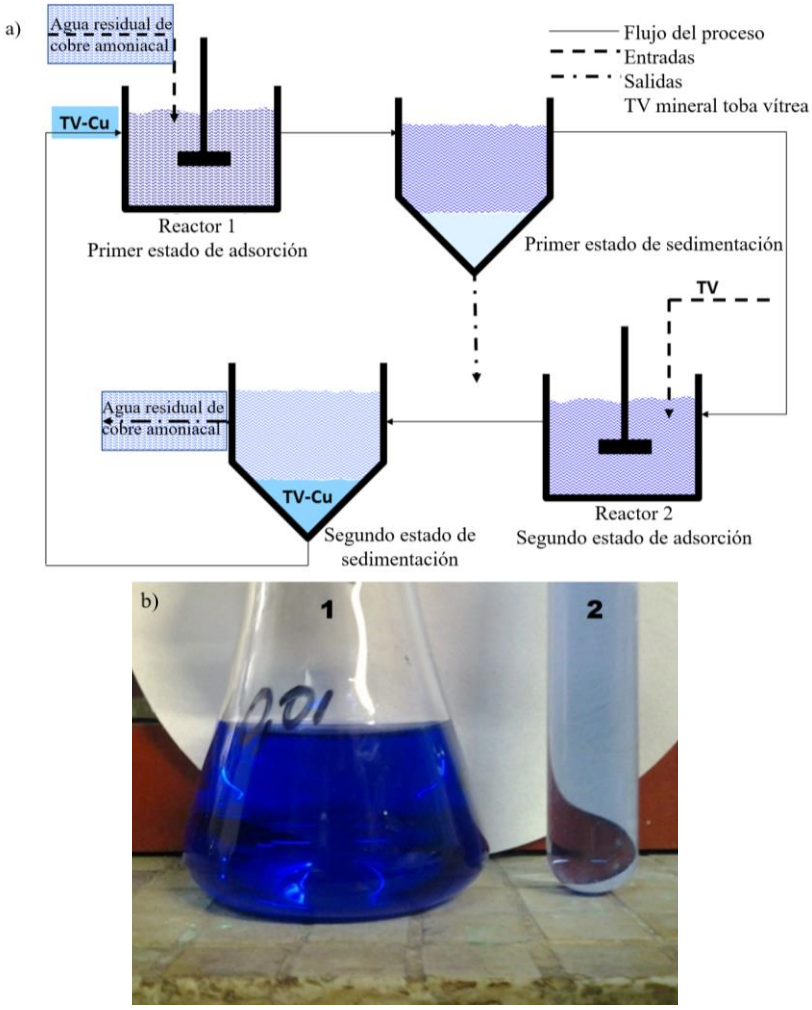
Para predecir el comportamiento y tamaño del adsorbedor a escalas mayores, se realizó el diseño del adsorbedor empírico porque es el método más común para conocer estos aspectos. La isoterma de Langmuir se utilizó para predecir el diseño de sistemas de adsorción de flujo en una sola etapa, dos etapas y en contracorriente. La cantidad mínima de adsorbente requerida para las condiciones experimentales se calculó para tres sistemas de adsorción, siendo el flujo a contracorriente el que requirió una menor cantidad de adsorbente (no se muestra la tabla). Para el sistema de flujo a contracorriente, se calculó la cantidad de mineral requerida para obtener diferente concentración final de Cu^{2+} de la solución amoniacal y se muestra en la figura 7. Esta forma permite estimar el costo por cantidad de material para escalar el proceso.

Figura 7. Gráfica de diseño generada usando isoterma de Langmuir para la diferente concentración final de Cu^{2+} de soluciones amoniacales.



Este sistema fue representado por la figura 8a de acuerdo con las condiciones experimentales para la remoción amoniacal de cobre y la decoloración de las aguas residuales después (1) y antes (2) de que ocurriera el proceso de adsorción se muestra en la figura 8b.

Figura 8. (a) Diseño de un sistema de flujo en contracorriente para la remoción de cobre amoniacal por proceso de adsorción usando la toba vítrea mineral y (b) decoloración de soluciones de Cu-NH_3 de aguas residuales después (1) y antes (2) del proceso de adsorción.



En la investigación se consideraron las mismas condiciones experimentales fijadas en la planta de tratamiento para comparar ambos tratamientos y determinar la mejor alternativa (tabla 4).

Tratamiento real del agua residual	Tratamiento alternativo propuesto en esta investigación
- Cantidad de agua generada: 500 mL/3 meses. - **Reactor batch simple etapa** - Volumen de agua residual diluido: **6000 L** con 10 g/L de concentración inicial.	- **Sistema de flujo a contracorriente**. - Volumen de agua residual diluido: **5500 L** con 10 g/L de concentración inicial. - **97 %** de iones cobres adsorbidos. - **3 ton de** mineral toba vítrea
Costo total: 9000 USD	**Costo total: 3000 USD**

El valor de iones cobre eliminado se comparó con el valor de capacidad de adsorción obtenido en la literatura para la eliminación de Cu-NH_3 (tabla 5). Además, el valor de adsorción en medio amoniacal fue menor que la adsorción del proceso en soluciones acuosas en las mismas condiciones experimentales.

Material adsorbente	Capacidad de adsorción (mg/g)	Referencias
LIX-CNT-A	16.4	Metwally et al., 2013
LIX-CNT	29.7	
Silica/Cyanex 272	20.9	
Impregnated Amberlite XAD-7 with Lix-54.	79.9	
TVC-Cu-aq	122.88	Presente trabajo
TVC-Cu-NH_3	99.2	

De acuerdo con el valor de pH_{zpc} del mineral (7.10) y el valor de pH de las soluciones finales después de ocurrido el proceso de adsorción (pH_{sln} = 8.62), el pH_{zpc} era más bajo que pH_{sln}, entonces los grupos silanol de la superficie (-Si(OH)) se desprotonan y atraen a las especies. Cargado positivamente como el complejo cobre-amonio ($[Cu(NH_3)_4]^{2+}$) (ecuación 3) a través de interacción electrostática, de acuerdo con un mejor ajuste a los datos cinéticos experimentales (pseudo primer modelo). Resultados similares mostraron que Walcarius y Bessière fijaron cobre (II) en gel de sílice en amoníaco acuoso.

$$2(\equiv SiO^-) + [Cu(NH_3)_4]^{2+} \leftrightarrow (\equiv SiO)_2Cu(NH_3)_2 + 2NH^{4+} \quad (3)$$

Por lo tanto, los resultados muestran que el mineral toba vítrea tiene una alta capacidad de adsorción y puede considerarse como un material prometedor para la eliminación de este ión desde solución amoniacal.

CONCLUSIÓN

La cinética de adsorción de las aguas residuales amoniacales de cobre alcanzó el tiempo de equilibrio a 90 min. El proceso cinético se describió mejor mediante un modelo de pseudo primer orden. El ion se adsorbió en el mineral de la superficie de los poros accesibles. La capacidad máxima de adsorción fue 0,0015 mol/g mayor que la de otros materiales adsorbentes en medio amoniacal, pero menor que la eliminación de iones de la fase acuosa. Para todas las variables del proceso estudiado, solo la concentración inicial tuvo una influencia positiva sobre la variable dependiente (q_{ads}). El sistema de adsorción por flujo a contracorriente requería una menor cantidad de mineral para disminuir el nivel de iones metálicos en la solución. El mineral toba vítrea es un material adsorbente eficiente y la propuesta alternativa es económicamente ventajosa en comparación con la alternativa real de tratamiento de aguas residuales.

BIBLIOGRAFÍA

(IGP). IdGyP. (2011). Rocas y minerales industriales de la República de Cuba.-. La Habana, 1-26.

Benjelloun, M.; Miyah, Y.; Evrendilek, G. A.; Zerrouq, F.; Lairini, S. (2021). Recent advances in adsorption kinetic models: Their application to dye types. Arabian Journal of Chemistry, 103031.

Blanco-Flores, A. B.; (2009). Características superficiales de un vidrio volcánico cubano y remoción de Cu2+ desde disoluciones acuosas. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 5 238-252.

Blanco-Flores, A.; Rodríguez Montes de Oca, D.; Ricardo Paez, S.; López Cordero, R.; Autie Pérez, M. (2009). Características superficiales de un vidrio volcánico cubano y remoción de Cu^{2+} desde disoluciones acuosas. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 53 238-52.

Caviedes Rubio, D. I.; Muñoz Calderón, R. A.; Perdomo Gualtero, A.; Rodríguez Acosta, D.; Sandoval Rojas, I. J. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. Revista Ingeniería y Región. 13 73-90.

Iturralde-Vinent, M.; Batista González, R.; Casañas Díaz, X. (2006). Curso de naturalesa geológica de Cuba. Lic. Noelia Garrido Rodríguez ed. La Habana.
Manosalva. LIA. (2008). Remoción de metales pesados por medio de adsorbentes no convencionales. Temuco – Chile. Universidad de la Frontera.
Metwally, S.S.; Hassan, M.A.; Aglan, R.F. (2013). Extraction of copper from ammoniacal solution using impregnated amberlite XAD-7 resin loaded with LIX-54. Journal of Environmental Chemical Engineering, 1 252-259. http://10.1016/j.jece.2013.05.002
Moreno-Osuna, F.; Soto-Robles, C.A.; Rodriguez-Meza, G. D.; RodriguezApodaca, J.R.; Nava-Perez, E.; Valenzuela-Quiñonez, W.; Lugo-Medina, E. (2021). Acumulación de metales pesados en plantas desarrolladas en el Norte de Sinaloa para propósitos de fitorremediación. Latin American Journal of Applied Engineering, 6 1-8.
Mumpton, F. A.; Ormsby, W. C. (1976). Morphology of zeolites in sedimentary rocks by scanning electron microscopy. Clays and Clay Minerals, 24 1-23.
Normalización CTd. (1999). Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. In: Ambiental NG, editor. 1. Edición 1999 ed. Ciudad Habana, 10.
Orozco, G.; Rizo, R. (1998). Depósitos de zeolitas naturales de Cuba. Acta geológica hispánica, 33, 335-339.
Ortega-Ortiz, H.; Benavides-Mendoza, A.; Arteaga, A. R.; Zermeño-González, A. (2010). Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. línea) Disponible en: http://abenmen. com/a/Nutricion_Vegetal-4. pdf.(06.04. 2014).
Rajahmundry, G. K.; Garlapati, C.; Kumar, P. S; Alwi, R. S.; Vo, D. V. N. (2021). Statistical analysis of adsorption isotherm models and its appropriate selection. Chemosphere, 276, 130176.

Utilización de cañamiza como refuerzo de celulosa termoplástica para la sustitución de PVC en cables de baja tensión

Laura Andrea Pruneda Reséndiz[1], Araceli Hernández Pérez[2], Alberto Cocom Celaya[3]

[1]*Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, e-mail: lauraandreaprunedar@gmail.com*
[2] *Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, e-mail: araceli.hdz1612@gmail.com.*
[3] *Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, e-mail: alberto.iqu@tesco.edu.mx*

Línea de investigación: Innovación

Resumen

Los cables eléctricos están comúnmente aislados con PVC, este material es contaminante desde la fabricación hasta que termina su uso; es por esto que en este trabajo se plantea la sustitución del mismo como asilamiento en cables de baja tensión por un composite fabricado a partir de acetato de celulosa reforzada con cañamiza, la cual es sometida a un proceso semi-químico en medio acuoso con NaOH y antraquinona, para después pasar a un proceso de desintegración e individualización a la celulosa de la lignina. Para la preparación del material composite se mezcla la celulosa de la cañamiza y el acetato de celulosa a 180ºC y se moldea en un molde de acero, para finalmente evaluar sus propiedades físicas.
Se pudo demostrar que se puede obtener celulosa de la cañamiza con el procedimiento presentado para usarse como refuerzo. Sin embargo, el acetato de celulosa no se pudo obtener con el procedimiento usado. Se espera que al hacer ciertas modificaciones en el proceso se obtenga acetato de celulosa para reforzarse con cañamiza y demostrar que el composite a obtener sea un material reforzado, con una mayor rigidez y resistencia que el PVC, cuyo proceso biodegradativo lo elimine del medio ambiente una vez haya desarrollado su vida útil.

Palabras clave: Acetato de celulosa, cañamiza, composite, PVC, termoplástico.

Abstract

Electrical cables are commonly insulated with PVC, but this material is polluting from the time it is manufactured until the end of its use; This is why this work proposes the substitution of PVC as insulation in low voltage cables by a composite made from cellulose acetate reinforced with hemp, which is subjected to a semi-chemical process in an aqueous medium with NaOH and anthraquinone, and then undergoes a process of disintegration and individualization of the cellulose from the lignin. For the preparation of the composite material, the hempseed cellulose and the cellulose acetate are mixed at 180ºC and molded in a steel mold, to finally evaluate its physical properties.
It could be shown that cellulose can be obtained from the pipe with the procedure presented to be used as reinforcement. However, cellulose acetate could not be obtained with the procedure used. It is expected that by making certain modifications to the process cellulose acetate will be obtained to be reinforced with cannamiza and to demonstrate that the composite to be obtained is a reinforced material, with greater rigidity and resistance than PVC, whose biodegradative process removes it from the environment once it has developed its useful life.

Keywords: *Cellulose acetate, composite, hemp, PVC, thermoplastic.*

INTRODUCCIÓN

Los recubrimientos proporcionan a un cable eléctrico protecciones eléctricas o mecánicas. Los más importantes son: aislamiento, semiconductor, pantalla metálica, relleno, armadura y cubierta. En la parte del aislamiento, se coloca un recubrimiento sobre el conductor para evitar fugas de corriente, los cuales se clasifican en dos grupos: Termoplásticos y Termoestables. En el grupo de los termoplásticos se encuentran los que están elaborados con PVC (policloruro de vinilo), poliolefinas, polietileno lineal, poliuretano, teftel, teflón, etc. (Martínez, 2019)

El PVC es una composición química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus componentes provienen del petróleo bruto (43%) y de la sal (57%), es inestable al calor y a las radiaciones ultravioletas, por lo que necesita de aditivos.

Por otro lado, las fibras vegetales se están convirtiendo en una alternativa realmente llamativa para aplicaciones industriales por su bajo costo, peso ligero y por ser una materia prima renovable con propiedades superiores a otros materiales cuando se utiliza como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica. Este tipo de materiales se vienen utilizando en industrias como calzado y marroquinería, componentes en caucho, sector transporte y construcción, por citar los más relevantes. (Cherrett et al., 2005)

Un siguiente paso en el aprovechamiento de este recurso residual es su uso como refuerzo de matrices totalmente biodegradables, como el almidón o los poliésteres alifáticos derivados de producción bacteriana. La obtención de materiales compuestos basados en matrices biodegradables y cañamiza como agente de carga/refuerzo supondría la adquisición de un material reforzado, con una mayor rigidez y resistencia que el material termoplástico, cuyo proceso biodegradativo lo eliminaría del medio ambiente una vez haya desarrollado su vida en servicio.

El objetivo general es obtener un composite biodegradable aislante de la energía eléctrica a partir de acetato de celulosa y cañamiza para sustituir el PVC en cables domésticos; para lograr este objetivo se disponen de los siguientes objetivos específicos: Aplicar un baño alcalino a la cañamiza para eliminar la lignina, obtener acetato de celulosa a partir de aserrín, obtener la homogeneización del acetato de celulosa con la cañamiza y hacer pruebas de dureza, tracción, flexión y resistencia eléctrica.

DESARROLLO

OBJETO DE ESTUDIO

El proyecto se llevará a cabo pensando en una menor contaminación para la atmósfera, ya que el composite a obtener será biodegradable y fabricado a partir de materia orgánica, que en comparación al PVC que no se degrada, sus métodos de fabricación son peligrosos y contaminantes, como ya se ha mencionado. Así mismo, en un mejor aprovechamiento de los residuos industriales de la producción de filamento de cáñamo, ya que éstos al ser cantidades industriales son mayores.

Se cree que el proyecto tiene una buena viabilidad ya que las empresas que trabajan con cáñamo producen el filamento, teniendo como residuo la cañamiza. Uno de los usos del filamento es que sirve para las impresiones en 3D, lo cual se ve más a futuro y esto conlleva a que las empresas sigan incrementando sus producciones. Por otro lado, el acetato de celulosa se obtendrá de los desechos agroindustriales como por ejemplo la cascarilla de arroz, la cáscara de piña y el aserrín; por el momento, el residuo que se utilizará es el aserrín ya que es más sencillo de obtener.

METODOLOGÍA

El método experimental a seguir para lograr reforzar el acetato de celulosa con cañamiza se describe a continuación, así como también los reactivos e instrumentos a utilizar.

Equipo:

- 4 vasos de precipitados de 500 ml
- Mortero
- Papel pH
- Malla de tamiz No. 4
- Malla de tamiz de 3/8”
- Molde de acero
- Dinamómetro
- Equipos para ensayos de fuerza
- Estufa

Reactivos:

- Cañamiza
- Acetato de celulosa
- NaOH
- Antraquinona
- Ácido acético
- Ácido sulfúrico
- Carbonato de magnesio

Métodos:

1. PROCESO SEMIQUÍMICO A LA CAÑAMIZA.

1.1 Se sigue el método descrito por (Mutjé et al., 2011) en donde se hace un proceso de reacción en medio acuoso en un vaso de precipitados de 500ml con NaOH (75% peso) y H2O2 (catalizador 1% en peso) a 106°C y 5 bar de presión por dos horas.
1.2 Para llevar a cabo el proceso de desintegración e individualización a la celulosa de la lignina, en una malla de tamiz no. 4 se vierte la cañamiza con el NaOH y la antraquinona y se lava con agua.
1.3 Para comprobar que la celulosa está limpia se mide el pH usando papel pH; si se obtiene un pH neutro, la celulosa está limpia de residuos.

2. OBTENCIÓN DE CELULOSA DEL ASERRÍN

2.1 Se sigue el método descrito por (Sibaja et al.; 1989) en el cual los sustratos se secan al aire, se muelen y luego se extraen con una solución de NaOH al 2% a temperatura ambiente durante 24 horas.
2.2 Después de lavar hasta la neutralidad, el producto se seca a temperatura ambiente.

3. SÍNTESIS DE ACETATO DE CELULOSA

3.1 Se usa el método utilizado en (Malm et al.; 1946). Es un experimento típico, una parte de celulosa se trata con 2.5 partes en peso de ácido acético glacial y se agita a 40°C durante una hora.
3.2 Se adiciona una mezcla de 4 partes de ácido acético glacial y 1% del peso de la celulosa de ácido sulfúrico concentrado. La temperatura y la agitación se mantienen durante 45 minutos, se enfría a 10°C y se adiciona lentamente 2.7 partes de anhídrido acético al 98% y un 6% más de ácido sulfúrico concentrado. La temperatura se eleva hasta 32°C y se deja reaccionar hasta que se complete la acetilación; esto último se controla observando en el microscopio la desaparición de las fibrillas de celulosa.
3.3 Para estabilizar el producto se neutraliza la masa de reacción con carbonato de magnesio y se realiza una hidrólisis parcial mediante la adición de mezcla de 2 partes de ácido acético y una de agua, en el lapso de una hora manteniendo la temperatura a 38°C.
3.4 La mezcla de reacción resultante se precipita sobre agua fría con agitación constante y vigorosa, se lava hasta la neutralidad.

4. PREPARACIÓN DEL MATERIAL COMPOSITE.

4.1 Se mezcla la celulosa con muestras de 10, 20 y 30% en peso de cañamiza del acetato de celulosa.
4.2 Introducir en tres vasos de pp de 500 ml las 3 muestras y mezclar a 180°C por 10 minutos cada uno.
4.3 La granza obtenida se debe moldear en un molde de acero.
4.4 Evaluar los compuestos resultantes de esfuerzo de tracción con un dinamómetro y flexión e impacto en equipos para ensayos de fuerza.

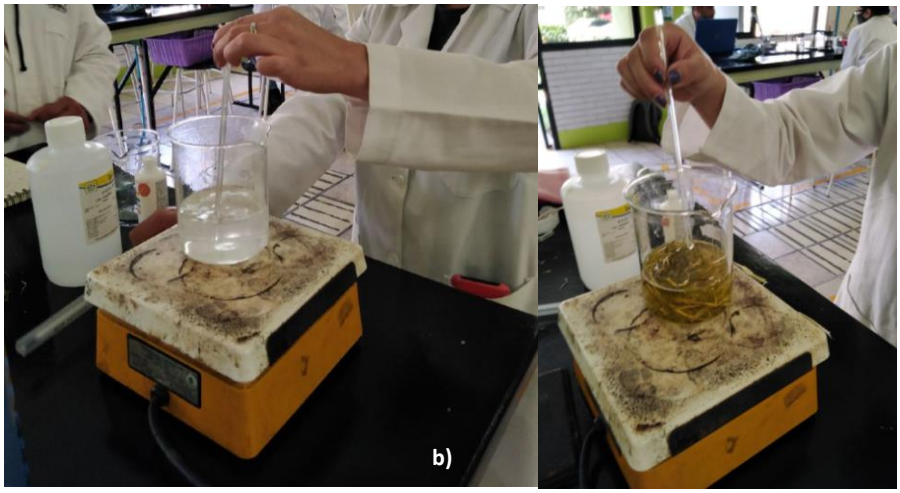
FASES DEL DESARROLLO

(DESCRIBA CADA UNA DE LAS FASES DE LA METODOLOGÍA Y SU RESULTADO)

1. Proceso semiquímico a la cañamiza

Se prepara una solución de 10 g de NaOH con 0.01 ml de peróxido de hidrógeno, y se calienta para una solubilidad más rápida como se muestra en la ilustración 1a. A continuación, se agrega la cañamiza y se sube la temperatura a 130ºC, manteniéndola constante durante dos horas, como se muestra en la ilustración 1b.

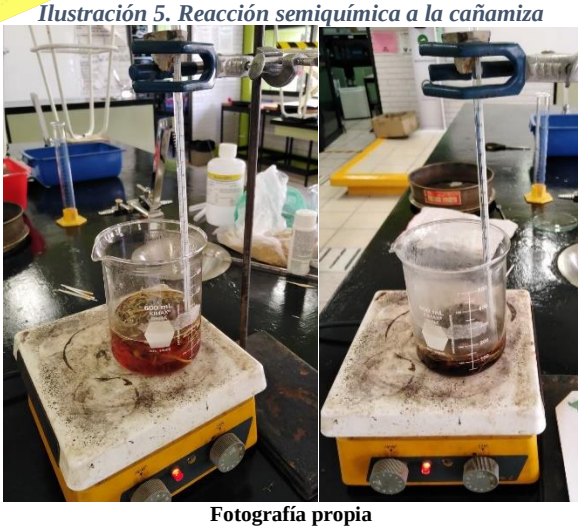
Ilustración 4.(a) Solución de NaOH con H_2O_2 y (b) reacción de cañamiza en medio acuoso



Fotografía propia

En la primera hora la solución se tornó color rojo, y después de dos horas pasó a color café obscuro, como se observa en la ilustración 2; esto debido a que el peróxido de hidrogeno, además de ser un agente oxidante, es un agente blanqueador usado en diferentes tipos de pulpas, por lo que además de acelerar el proceso de obtener la pulpa, la blanquea.

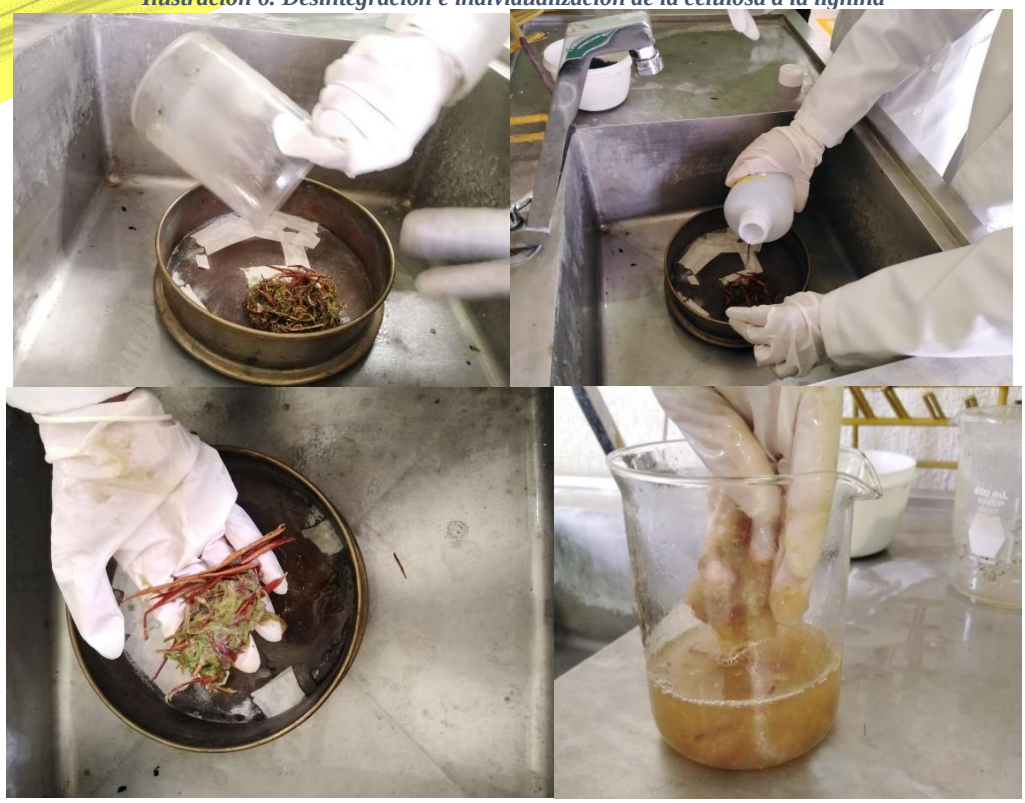
Ilustración 5. Reacción semiquímica a la cañamiza



Fotografía propia

Una vez transcurridas las dos horas, se lava la cañamiza hasta la neutralidad con agua destilada en una malla de tamiz número cuatro, como se muestra en la ilustración 3. Se puede observar en la ilustración 3 que al lavar la cañamiza se forma la pulpa ya que se desintegra e individualiza la celulosa, eliminando la lignina. Esta se debe lavar hasta la neutralidad, comprobando el nivel de pH usando papel pH. Las diferentes pruebas que se hicieron se muestran en la ilustración 4, siendo la última hacia abajo de pH neutro.

Ilustración 6. Desintegración e individualización de la celulosa a la lignina



Fotografías propias

Ilustración 7. Pruebas de pH

Fotografía propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se demuestra que se puede obtener la celulosa de la cañamiza con el procedimiento presentado para usarse como refuerzo. Por otro lado, el acetato de celulosa obtenido no cumplió con las expectativas deseadas, por lo que se deben hacer cambios en el procedimiento de obtención de celulosa suministrando calor y trabajar con una granza de material más pequeña. Se espera que, al aplicar estos cambios, la desaparición de las fibrillas sea más notoria para poder reforzarse con la celulosa de la cañamiza y que, al hacer las pruebas físicas, se demuestre que el composite funciona como aislante.

CONCLUSIÓN

En este trabajo se busca obtener un composite biodegradable, amigable con el medio ambiente en función de la sustitución del PVC, para usarse en cables de baja tensión y así disminuir la contaminación producida tanto por la obtención como de desechos de PVC. Se logró obtener celulosa de la cañamiza, que es la que dará resistencia a energía eléctrica a su vez que reforzará al acetato de celulosa.

BIBLIOGRAFÍA

- Cherrett, N., Barrett, J., Clemett, A., Chadwick, M. y Chadwick, MJ (2005). Huella Ecológica y Análisis de Agua de Algodón, Cáñamo y Poliéster. Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo.
- Jess, A. (2011) El PVC en la construcción y nuestras vidas. Recuperado de: http://www.ecohabitar.org/el-pvc-en-la-construccion/
- Malm, C., Tanghe, L. & Laird, B. (1946) Ind. Eng. Chem. 38. (1): pp 77-82.
- Mariano, J. (2011) Tecnología de los plásticos. Recuperado de: https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/
- Martínez, E. I. (2019). Tipos de cables usados para instalaciones eléctricas. Unidades de Apoyo para el Aprendizaje. CUAED/Facultad de Arquitectura-UNAM.
- Mutlé, P.; Méndez, J. A.; Vilaseca, F., López, J. P.; Flandez, J.; Barberà, L.; & Pèlach, M. A. (2008). Utilización de residuos industriales de la producción de filamento de cáñamo como refuerzo de matrices poliméricas biodegradables. In Memorias I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Castellón.
- Sibaja, R., Moya, R., Durán, M., Pereira, R., Madrigal, R. (1989) Caracterización de algunos desechos agroindustriales. Uniciencia Vol. 5, 1-2.

Caracterización de minerales zeolíticos en su forma natural y funcionalizada

Claudia Xilomén, Rojas Pavón[1] y Vanessa, Tinajero Hernández[2]

[1]*Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan, claudia.r.p@huixquilucan.tecnm.mx*
[2]*Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan, L18090048@huixquilucan.tecnm.mx*

Línea de investigación: Química de materiales

Resumen
El agua es un recurso vital y al tener una composición precisa es fácil identificar los componentes ajenos a ella. El crecimiento poblacional desmedido, la explotación del suelo, así como la actividad industrial, han puesto en riesgo este recurso haciendo prioritario diseñar sistemas que permitan recuperar los efluentes naturales y residuales actuales. Algunos materiales de bajo costo y alta disponibilidad, como la zeolita, presentan una adecuada alternativa de uso, debido a su capacidad de intercambio iónico. En este trabajo se caracterizó una zeolita tipo clinoptilolita en su forma básica, sódica y funcionalizada con Ag o Fe, con el objetivo de determinar el mejor perfil de acondicionamiento y dar una perspectiva de uso, en un futuro proceso de remoción de metales pesados en sistema batch. Se confirmo mediante difracción de rayos X que la adición de los iones (Na, Ag o Fe) en la funcionalización no altera la estructura de la clinoptilolita y mediante la fisisorción de N_2, se encontró que el intercambio de estos materiales con iones de Fe^{3+}, presente un mejoramiento en la estructura interna favoreciendo los sitios activos de intercambio catiónico.

Palabras clave: DRX, caracterización de materiales, MEB,zeolita,

Abstract
Water is a vital resource and having a precise composition makes it easy to identify non-water components. The excessive population growth, the exploitation of the soil, as well as the industrial activity, have put this resource at risk, making it a priority to design systems that allow the recovery of current natural and residual effluents. Some low cost and high availability materials, such as zeolite, present a suitable alternative for use, due to their ion exchange capacity. In this work, a clinoptilolite-type zeolite was characterized in its basic, sodium and functionalized form with Ag or Fe, in order to determine the best conditioning profile and give a perspective of use, in a future process of removal of heavy metals in the system batch. It was confirmed by X-ray diffraction that the addition of the ions (Na, Ag or Fe) in the functionalization does not alter the structure of clinoptilolite and by means of the physisorption of N_2, it was found that the exchange of these materials with Fe^{3+} ions, presents an improvement in the internal structure favoring the active cation exchange sites.

Keywords: XRD,characterization of materials, SEM, zeolite

INTRODUCCIÓN

El origen de la contaminación en el agua es muy variado, pero se pueden citar como principales fuentes los desechos urbanos e industriales, los drenados de la agricultura y las minas, la erosión, los derrames de las sustancias tóxicas, los efluentes de plantas depuradoras y el lavado de la atmósfera, entre otros.

Entre los contaminantes que presentan mayor riesgo a la salud humana, se encuentran los metales pesados; la clasificación de las técnicas de tratamiento de metales pesados de aguas residuales depende de diferentes factores; sin embargo, usualmente se clasifican estos métodos como convencionales y no convencionales.

Dentro de los métodos convencionales se encuentra el intercambio iónico, proceso a través del cual los iones en solución se transfieren a una matriz sólida que, a su vez, libera iones de un tipo diferente, pero de la misma carga. El intercambio iónico es un proceso de separación física en la que los iones intercambiados no se modifiquen químicamente. Las principales ventajas de intercambio iónico son la recuperación del metálico, la selectividad, menor cantidad en volumen de lodos producidos y el cumplimiento de las especificaciones de descarga estrictas

Las zeolitas son materiales adecuados en el tratamiento de agua con metales pesados (Margeta, 2013), dada su gran capacidad de intercambio catiónico, así como su gran afinidad por este tipo de metales (Ríos , 2013). Las zeolitas naturales son minerales de aluminosilicatos hidratados de estructura porosa y propiedades fisicoquímicas valiosas, entre las que se encuentran, además del intercambio de cationes, el cribado molecular, la catálisis y la absorción (Pitcher, 2014). De forma simple, se trata de una red tridimensional compuesta por unidades tetrahedrales de sílice y alúmina unidas a un átomo de oxígeno compartido. El reemplazo isomorfo de Si^{4+} por Al^{3+} , resulta en una carga negativa global que es compensada con diversos cationes, otorgando a este material propiedades adicionales a las estructurales (Wanga. 2015). Se han llevado a cabo diversos estudios sobre su uso en la absorción y reducción de Cr (VI) en distintos ambientes (acuosos, etc.). En los últimos años, se han estudiado diversos sistemas de tratamiento de agua empleando zeolitas modificadas, siendo el más sobresaliente, el dopaje de estas con Fe, para su aplicación en aguas residuales y remoción de Cr (VI). Guocheng et al., demostraron que al modificar zeolita natural con Fe (III), la adsorción de Cr (VI) aumenta, así como la concentración de equilibrio de Cr (VI). A partir de este resultado se demostró que la zeolita natural, modificada con Fe, puede servir como medio, poco costoso, para la remoción del Cr (VI) del agua. Wanga et al (Wanga,2015) establecieron que la zeolita pretratada es un buen adsorbente de arsénico, con más de 90 % de adsorción del contaminante; mediante la incorporación de óxidos de magnesio sobre la zeolita.

Ríos et al (Rios , 2013) determinaron que el Ca^{2+} es el elemento que presenta mayor capacidad de intercambio, con respecto a los demás cationes intercambiables presentes en la estructura de la zeolita, y también que el aumento en la concentración de iones Na^{+} en solución favorece el intercambio de dichos cationes. El proceso de adsorción de Fe y Mn se ve favorecido por el empleo de zeolita acondicionada con capas de Fe_2O_3 y MnO_2 a partir de las sales $FeCl_3$ y $MnSO_4$, respectivamente. También en este estudio se comprobó el poder adsorción de algunas zeolitas en la depuración de algunos compuestos orgánicos en solución acuosa

Filtros cerámicos

Existen escasos sistemas filtrantes de bajo costo para uso doméstico, con eficiencia comprobada para distintos metales pesados. Los sistemas filtrantes existentes, utilizan carbón activado granulado, bloques de carbón comprimido y gránulos de Cobre y Zinc, efectivos en la reducción de componentes orgánicos e inorgánicos tales como plomo y mercurio, subproductos de desinfección (DBPs), componentes orgánicos volátiles, PCBs, etc.

El uso de arcillas y otros materiales en la eliminación de contaminantes presentes en el agua ha sido muy estudiado y existe suficiente conocimiento teórico y experiencia práctica que permite entender el funcionamiento íntimo de estos sistemas.

Hasta el momento no existen en el mercado sistemas de filtrado de bajo costo, que sean eficaces en el tratamiento de plomo, cromo u otros metales pesados. Esto supone que las limitaciones se originan sólo en el escaso desarrollo de tecnologías de baja complejidad y no en la inexistencia de herramientas teóricas o prácticas. Si bien los materiales y tecnologías aplicadas conllevan una importante ventaja desde el punto de vista económico, ésto no ha logrado atraer en el estudio, diseño y desarrollo de sistemas económicos de filtrado domiciliario (Niebles,2015)

Las zeolitas del tipo clinoptilolita, permiten llevar a cabo tratamiento de agua en forma mucho más eficiente y económica, gracias a sus diversas modificaciones catiónicas. En los sistemas de filtración se pueden alcanzar niveles de purificación de aguas bastante notables y se ha logrado no sólo la remoción de amonio, sulfatos y fosfatos sino también la eliminación de metales pesados.

OBJETO DE ESTUDIO.

Determinar mediante el acondicionamiento de materiales zeolíticos el ion metálico que favorece el proceso de intercambio catiónico en una zeolita natura, con base a sus propiedades: texturales, estructurales y morfológicas.

METODOLOGÍA

Acondicionamiento de materiales.

Se utilizaron zeolitas minerales tipo clinoptilolita, procedentes de la comunidad de Villa de Reyes de San Luis Potosí. El material se trituró y tamizó, hasta dejarlo a un tamaño de partícula de 0.841 mm (malla 20). Posteriormente, se realizó el lavado de material, utilizando una solución HCl de 0.1M para quitar las impurezas que pudiese contener el material, corroborando su presencia mediante la prueba de nitratos con una solución de $AgNO_3$ (0.1M) hasta dejar de observar la turbidez.

Posteriormente, se decantó y se secó la zeolita a 353K, en un horno convencional durante de 24h, finalmente se almacenó para su posterior caracterización.

Funcionalización de materiales.

Las muestras en fase sódica denominadas como CLINa fue tratada con 200 mL de una solución de $FeCl_3$ bajo reflujo por 5 h. El proceso se repitió una vez más cambiando la solución. La fase sólida se separó por centrifugación y fue lavada con agua desionizada hasta eliminar el ion Cl^- utilizando como prueba $AgNO_3$, enseguida se secó a 80 °C durante 24 h. Las muestras fueron etiquetadas como CLIFe.

El procedimiento anterior fue repetido con una solución de $AgNO_3$ 0.1M. El material obtenido en este caso fue lavado con agua desionizada hasta que el exceso de ion Ag^+ fue eliminado, utilizando NaCl 0.1M como prueba. El material obtenido fue etiquetado como CLIAg.

Difracción de rayos-X

Con el objetivo de confirmar la estructura cristalina y la identidad de los componentes de los materiales zeolíticos, los se llevaron a cabo los análisis de difracción de rayos-X (DRX) tanto en las muestras en estado natural como las funcionalizadas. Los patrones de difracción de polvos fueron obtenidos en un difractómetro Siemens D500 acoplado a un tubo de rayos-X con ánodo de cobre (λ = 1.541 Å). Para la identificación de los compuestos presentes en las rocas zeolíticas, se utilizaron patrones de difracción de la base de datos xPert HighScore.

Microscopía electrónica de barrido y Espectroscopia de energía dispersiva de rayos –X.

Para la observación de las muestras por Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) las muestras fueron colocadas directamente en una porta muestra; las imágenes fueron colectadas a 15 kV utilizando un microscopio FEI Nova 200 Nanolab de doble haz. La composición química fue determinada por medio de un sistema de espectroscopia de dispersión de longitud de onda (EDS por sus siglas en inglés) acoplado a un microscopio electrónico JEOLJSM 5900. Los análisis se llevaron a cabo tres veces de manera puntual y mapeada, para cada material zeolítico sin modificar (CLI); así como, para las zeolitas modificadas con sodio, hierro y plata (CLINa, CLIFe, y CLIAg, respectivamente).

Adsorción física de nitrógeno

El área específica de las muestras fue determinada aplicando el método BET de multipunto y las isotermas de adsorción fueron analizadas a presiones relativas entre 0.001 y 1. La distribución de tamaño y tipo de poro fueron obtenidos en adición a la superficie específica. Las mediciones fueron obtenidas en un analizador BELSORP MAX utilizando nitrógeno a su temperatura de ebullición (-196 °C). Antes de ser analizadas, las muestras de zeolitas (10 mg aproximadamente) fueron desgasificadas a 250 °C durante 24 h.

RESULTADOS

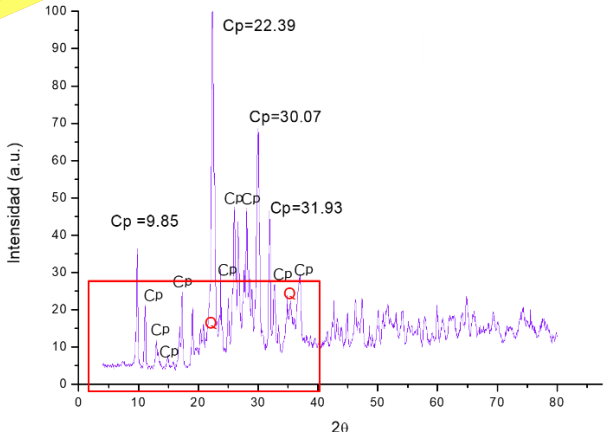
Difracción de Rayos X

Mediante la técnica de Difracción de rayos X, fue posible determinar las fases presentes y los planos característicos de la Clinoptilolita realizando una comparación directa con los patrones cristalográficos proporcionados por la asociación internacional de zeolitas (IZA).

En la figura 1, se puede observar la concordancia de las fases y los valores característicos de acuerdo con el plano de exposición, denotados como Cp. Se encontró también que en su fase natural y después de haber se efectuado distintos lavados del material, existe la presencia de impurezas como fases segregadas asociadas a la presencia de cuarzos y micas (M), las cuáles son reportadas como limitantes durante el proceso de sorción.

Un proceso de homoionización, también permitirá explicar la presencia de las fases dispersas en la estructura natural, De acuerdo con lo reportado por la literatura, el intercambio con sales de hierro (Fe), ayuda favorablemente en los procesos de sorción en la remoción de metales pesados sin llevar al colapso de la estructura cristalina.

Figura 1



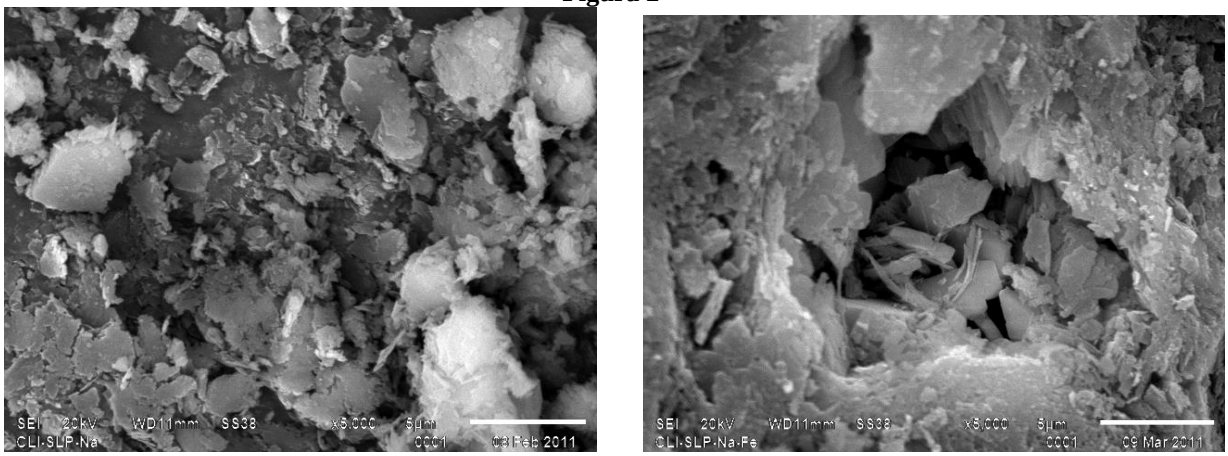
Difractograma de la clinoptilolita en su fase natural.

Microscopia electrónica de barrido

En las imágenes de microscopia electrónica de barrido MEB de la muestra CLISLP se observan morfologías típicas de la clinoptilolita que se producen como placas euhedrales (bien formadas) y listones (Figura 2). La mayoría de los cristales despliegan características de simetría monoclínica y muchos con forma de ataúd.

No se observaron cambios en la morfología de los cristales de CLI (b) después de haber sido tratados con soluciones de NaCl, AgCl o$FeCl_3$.

Figura 2



a) Micrografía de clinoptilolita natural *b) Micrografía de clinoptilolita modificada con Fe*

Composición elemental.

Los principales componentes de la clinoptilolita CLISLP son O, Mg, Al, Si, K, Ca, y Fe, por lo que resulta razonable considerar que Na, Mg, K, y Ca son los cationes que se encuentran fuera de la red, los cuales compensan la deficiencia de carga en la estructura de la zeolita. De acuerdo con las concentraciones de Na, K y Ca obtenidas para la muestra de CLISLP (Tabla 2), se infieres se trata de una zeolita tipo potásica.

Después del tratamiento con la solución de NaCl, la concentración de Na en la muestra CLINa, incrementó de 0 a 0.7 ± 0.1%. En el caso de los materiales zeolíticos tratados con soluciones de $FeCl_3$ y $AgNO_3$las concentraciones de sodio disminuyeron de manera más significativa para CLIFe y CLIAg.

Tabla 1

	CLISLP	CLINa	CLIAg	CLIFe
O	76.40	79.49	73.83	64.74
Na		1.61		
Mg	0.32	0.32		
Al	3.23	2.86	4.44	4.91
Si	17.42	14.84	18.98	25.84
K	1.35	0.13	1.53	2.16
Ca	0.34	0.54	0.32	

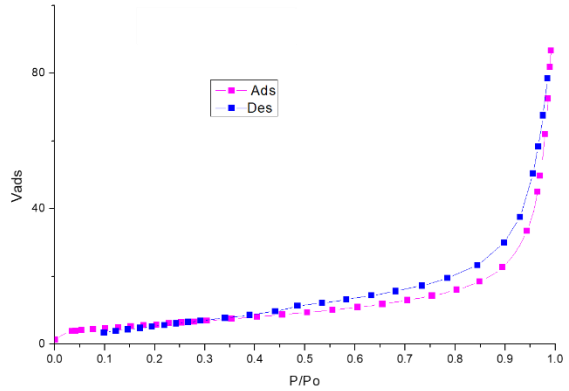
Fe	0.94	0.20	0.31	1.76
Ag			0.59	
Si/Al	5.40	5.19	4.27	5.26

Análisis de composición elemental por espectroscopía de energía dispersiva

Análisis por Fisisorción de N_2.

Mediante el análisis por Fisisorción de Nitrógeno (N_2), fue posible obtener datos de relevancia, comopara la capacidad de máxima de sorción en su fase natural, teniendo un área superficial total de 21.654 m^2/g y un volumen de poro total de 0.1286 cm^3/g. El área en su estado natural muestra una capacidad limitada de sorción como consecuencia de los poros ocupados por impurezas en la estructura de las zeolitas. De acuerdo con la literatura, el lazo de histéresis obtenido de este material obedece al comportamiento de materiales micro-porosos, como se muestra en la figura 3.

Figura 3



Curva de adsorción-desorción para la clinoptilolita en su fase natrual.

Con respecto al área específica por fisorción de nitrógeno, los datos obtenidos se presentan en la tabla 2.

Tabla 2

Zeolita	Volumen de monocapa [cm^3/g]	Área específica [m^2/g]	Volumen total de poro [cm^3/g]
CLISLP	4.9751	21.654	0.1286
CLINa	5.7923	25.211	0.1286
CLIAg	16.68	29.075	0.1774
CLIFe	8.821	38.393	0.1839

Resultados de parámetros de prueba de fisorción.

Para las muestras CLIFe y CLIAg, las cuales corresponden a las muestras tratadas con hierro y plata respectivamente, el área específica se incrementó 1.52 y 1.15 veces con respecto a la muestra CLINa. En trabajos previos, ha sido reportado que el área específica incrementa en materiales zeolíticos modificados con hierro debido a: (a) a las formaciones de Fe no-cristalino localizadas en posiciones catiónicas de los canales de la zeolita, b) los complejos de Fe binuclear y oligonuclear en posiciones fuera de la red y (c) por óxidos de hierro tipo FeOx amorfo localizado en la superficie del cristal de zeolita

CONCLUSIONES

En la evaluación de materiales de zeolita modificados, se comprobó la presencia de las fases cristalinas de la zeolita mediante difracción de rayos X, así también se obtuvo el área superficial del material de 38.393 m^2/g p para la zeolita acondicionada con Fe, que en concordancia con un proceso de adsorción-desorción óptimo debe modificarse, por lo que debe de modificarse estructuralmente mediante el intercambio teniendo el Fe como mejor alternativa de material.

El tratamiento de la zeolita con soluciones de cloruro de sodio, cloruro férrico y cloruro de plata, no presentaron modificaciones en morfología ni en la estructura de los materiales zeolíticos. El contenido en plata es similar en ambas zeolitas.

Las características superficiales de los materiales zeolíticos naturales cambian en relación con las especies metálicas que compensan la carga en la red cristalina de las zeolitas.

REFERENCIAS

Guocheng, L., Li, Z., Wei-Teh, J., & Ackley, C. &. (2014). Demarco removal of Cr (VI) from water using Fe (II)-modified natural zeolite. . *Chem. Eng. Chemical Engineering Research and Design, Vol 9 No.*2, (p:384-390).

Margeta, K. Z. (2013), In water treat. (Elshorbagy, WInTech) ,. Consultada el 23 de febrero de 2020. http://www.intechopen.com/books/water-treatment/natural-zeolites-in-wa-ter-treatment-how-effective-is-their-use

Niebles Puello, L., Zaizon Paternina, D. P., & Ramos Gómez, M. T. (2015), Construcción de prototipo de planta potabilizadora de agua para abastecimiento en poblaciones aisladas. Novos Saberes,, (p:46-55)

Pitcher, S. K(2014) Heavy metal removal from motorway stormwater using zeolites. Sci Total Environ, (p:161-166).

Ríos, A. V. (2013) Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia Vol 66, (p:24-44).

Wanga, S. (2015).Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. Chem. Chemical Engineering Journal, Vol .156, No.1, (p:11 24).

Activación de la superficie de esfalerita para la recuperación de Zn utilizando nanopartículas de sulfuro de cobre

Delia Monserrat, Ávila Márquez[1], Javier Ernesto, Vilaso Cadre[1], Iván Alejandro Reyes Domínguez[1], Alien, Blanco Flores[2], Helen Paola, Toledo Jaldin[2]

[1]*Universidad Autonoma de San Luis Potosí/Instituto de Metalurgia, a275206@alumnos.Uaslp.mx*
[2] *Técnologico de Estudios Superiores de Tianguistenco/ División de Ingeniería Mecánica,alien.blanco@test.edu.mx*

Línea de investigación: Ciencia e Ingeniería de Materiales

Resumen

El objetivo del estudio fue proponer un método de activación de la superficie de esfalerita a través de la deposición de nanopartículas de sulfuro de cobre (ZnS-Nps CuS). Se trabajo con una esfalerita sintética para evitar impurezas. Las Nps CuS se obtuvieron por el método de coprecipitación y la deposición de estas se realizó en forma insitu, la caracterización que se realizo fue por Difracción de Rayos X (DRX), Microscopia electrónica de Barrido (SEM), Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA) y Espectroscopía Ultravioleta Visible (UV-vis). Lo resultados mostraron que la única fase obtenida de las síntesis fue sulfuro de cobre, así mismo se calculó el tamaño de partícula con la fórmula de Scherrer y arrojo que el tamaño promedio de las partículas oscila en 7.80 nm. La deposición de las nanopartículas se confirmó a través del plasmón. La cantidad de colector adsorbido en el equilibrio fue de 9 mol/L en 10 min. Se concluye que la aplicación de métodos de deposición de nanopartículas de sulfuro de cobre no solo podría ahorrar materias primas en el proceso, sino que aumentaría el porcentaje de recuperación de Zn.

Palabras clave: Activación, Flotación, Materiales, Nanotecnología y Zinc.

Abstract

The objective of the study was to propose a method of sphalerite surface activation through the deposition of copper sulfide nanoparticles (ZnS-Nps CuS). A synthetic sphalerite was used to avoid impurities. The Nps CuS were obtained by the coprecipitation method and the deposition of these was carried out in situ, the characterization was performed by X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) and Ultraviolet Visible Spectroscopy (UV-vis). The results showed that the only phase obtained from the syntheses was copper sulfide, and the particle size was calculated with the Scherrer formula and showed that the average particle size ranged between 7.80 nm. The deposition of the nanoparticles was confirmed through plasmon. The amount of adsorbed collector at equilibrium was 9 mol/L in 10 min. It is concluded that the application of copper sulfide nanoparticle deposition methods could not only save raw materials in the process, but also increase the percentage of Zn recovery.

Keywords: Activation, Flotation, Materials, Nanotechnology and Zinc.

INTRODUCCIÓN

En el 2019, México fue uno de los principales países productores de zinc a nivel mundial (Statista., 2019). Para concentrar el zinc se debe realizar la flotación, en donde la materia prima principal es la esfalerita (ZnS). Su uso principal es en la fabricación de pilas eléctricas, obtención de aleaciones como el latón y en el proceso de galvanizado del hierro y diferentes tipos de aceros, siendo ampliamente utilizado en diversos sectores industriales.

La flotación es un proceso muy versátil que se utiliza para la separación selectiva de minerales y ganga. Usualmente los sulfuros metálicos son de naturaleza débil, por lo que es necesario el uso de colectores para aumentar su hidrofobicidad (Chandra y Gerson., 2009).

En el caso de la ZnS, no responde bien a los colectores tipo tiol de cadena corta, debido a la relativa inestabilidad de la interacción metal-colector (zinc-xantato), por lo que se requiere el uso de "activadores" para mejorar la adsorción entre las moléculas del colector en la superficie de la esfalerita. El ion cobre (Cu^{2+}), generalmente es el activador más utilizado, proveniente de sales en forma de sulfato o nitrato (Pecina y col., 2006). El sulfato de cobre es el precursor de iones cobre más usado en la industria minera; sin embargo, presenta una serie de desventajas como que es la sustancia química auxiliar más cara en el circuito de flotación, generación excesiva de desechos tóxicos y además es potencialmente corrosivo, lo que termina disminuyendo la vida útil de la infraestructura de dicha etapa (Ejtemaei, 2017). Cabe señalar que, para poder realizar la activación de la esfalerita, previamente se debe ajustar el pH de la solución, aproximadamente entre 10 y 11, por lo que se debe usar cal. La activación convencional consiste en un proceso de deposición de iones cobre y posteriormente la adsorción de los colectores para la recuperación del zinc a través de la flotación del mineral modificado (Chandra y Gerson 2009).

La nanotecnología permite el trabajo con compuestos químicos a escala nanométrica (nanopartículas), lo que hace que el efecto superficie/volumen de las nanopartículas se incremente y con ello las propiedades del material o mineral modificado (por deposición de éstas en su superficie), se mejoren o potencien (Palmero., 2015).

Existen varios métodos de síntesis de nanopartículas, sin embargo, el proceso de precipitación y coprecipitación son métodos ampliamente utilizados, debido a que son sencillos, económicos y no necesitan equipamiento especializado ni aplicación de altas temperaturas (López y col., 2013).

DESARROLLO

OBJETO DE ESTUDIO

El objetivo de esta investigación es proponer el método de activación en la esfalerita a través de la deposición de Nps CuS y posteriormente la adsorción de moléculas de xantatos como colectores, para el incremento de la hidrofobicidad del mineral y por lo tanto, el porcentaje de recuperación de zinc. Así mismo será posible dilucidar un nuevo mecanismo de activación que nos permitirá un ahorro sustancial en el consumo de activadores y así evitar altos volúmenes de residuos y de impactar negativamente los ecosistemas.

METODOLOGÍA

La metodología que se llevo a cabo para obtener las Nps CuS por el método de coprecipitación se describe a continuación, también se colocan los reactivos y material utilizado como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Reactivos y colectores utilizados en el proyecto.

Reactivos		Material	
Precursores de las nanopartículas de CuS		1.	Parrilla de agitación
1.	Sulfuro de sodio (Na_2S)	2.	Balanza analítica
2.	Cloruro de cobre di hidratado ($CuCl_2 \cdot 2H_2O$)	3.	Bomba de vacío
3.	Acetona	4.	Estufa
Colector y mineral		5.	Vaso de precipitado de 150 ml
4.	Xantato Isopropílico de sodio (SIPX)	6.	Bureta de 50 ml
5.	Esfalerita sintética	7.	Matraz Kitasato
		8.	Buchner

9. Capsula de porcelana
10. Bala de agitación
11. 2 Matraces de aforo de 50 ml

FASES DEL DESARROLLO

Para depositar las Nps CuS y aumentar la hidrofobicidad del material de realizo de manera insitu y posteriormente se llevó a cabo la adsorción del colector xantato en el material ya preparado, para finalmente cuantificar la cantidad de colector adsorbida.

1. Síntesis de las Nps CuS

Para obtener las Nps CuS se siguió el proceso descrito por (Tank y col., 2017) en donde se llevó a cabo un método de coprecipitación, poniendo en contacto 50 ml de solución de cloruro de cobre y 50 ml de solución de sulfuro de sodio en una relación 1:1, el sulfuro de sodio se debe agregar de manera lenta. A la solución anterior se calentó a 70 °C y se dejó agitando por 30 min, para finalmente filtrar, lavar y poner a secar durante 2 hr en una estufa.

2. Deposición de las Nps CuS en la esfalerita

La deposición de las Nps CuS se llevó de manera insitu, en donde se puso en contacto 2 g de esfalerita sintética con 50 ml de la solución de cloruro de cobre y se dejó durante 5 min agitando para homogenizar, posteriormente se agregó de manera lenta 50 ml de sulfuro de sodio, la solución final se calentó a 70 °C y se dejó agitando por 30 min para finalmente lavar y secar durante 2 hr en la estufa.

3. Medición de la longitud de onda

Se preparo una solución de SIPX de una concentración establecida y se llevó a cuantificar por UV-vis la solución para obtener el grafico de C vs longitud de onda y así elegir la longitud de onda de mayor intensidad.

4. Adsorción del colector y determinación de tiempo de equilibrio

Se preparó 10 ml de una solución del colector SIPX a una concentración de 9.5×10^{-5} M y se puso en contacto con 0.1 g de la ZnS-Nps CuS, posteriormente se debe dejar agitando durante los lapsos de tiempo establecido. Cada cierto tiempo se retiró una muestra y se filtró para almacenar la solución para determinar por UV-vis la cantidad de colector que no se adsorbió en la superficie de la esfalerita.

Los datos obtenidos de la determinación en el espectrofotómetro UV-vis se utilizarán para calcular la cantidad adsorbida por gramo de material para los diferentes tiempos de la cinética, haciendo uso de la ecuación 1.

$$q_t = \left(\frac{C_{inicial} - C_t}{m} \right) \cdot V \qquad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$C_{inicial}$: concentración inicial de colector (mol/L)

C_t: concentración no adsorbida en cada intervalo de tiempo (mol/L)

m: masa del material (g)

V: volumen de solución de colector (L)

Esto nos permitió graficar q_t vs. T

5. Caracterización realizada

Se realizo la caracterización por las técnicas que se describen en la tabla 2:

Tabla 6: Condiciones experimentales para caracterización de ZnS-Nps CuS.

Técnica	Condiciones experimentales	Información obtenida

DRX	Los análisis se realizaron con un difractómetro Bruker D8Advance. Fueron montadas en un porta muestras y compactadas evitando orientaciones preferenciales.	Se pudo conocer las fases cristalinas que se obtuvieron en la síntesis realizada. De esta manera se puede corroborar si se obtuvo fases de CuS o Cu_2S. Así mismo se utilizarán los difractogramas para calcular tamaño promedio de partícula.
UV-vis	Se realizo un barrido en el rango de 190-1100 nm utilizando el equipo Thermo Scientific Genesys 10SUV-Vis spectrometer y celdas de cuarzo. Las muestras que se leyeron en el equipo se obtienen de la síntesis realizada.	Se obtuvieron los plasmones característicos de las nanopartículas de CuS.
SEM	Los análisis se realizaron en un microscopio electrónico marca JEOL JSM-6610LV, que se operó de 10-20 kV, recubriendo las muestras con una película de oro. El equipo tiene acoplado un detector de Rayos X, para hacer análisis químico por medio de EDS.	Se pudo observar la morfología de las muestras y análisis químico por EDS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Síntesis de las Nps CuS

La síntesis que se realizo fue por coprecipitación. Se visualizo evidencia de formación de un precipitado que debe corresponder con las nanopartículas de CuS, de acuerdo con lo reportado en literatura y el tiempo que se necesita para ello es muy corto, así mismo los reactivos utilizados son económicos y el gasto energético es poco.

2. Deposición de las Nps CuS en la esfalerita

Para soportar las nanopartículas en la esfalerita se hizo de manera in situ. Aquí se usó cloruro de cobre dihidratado y se pudo observar un cambio de coloración de gris a negro, de la misma manera se formó un precipitado de color negro, el cual indicó la formación de las nanopartículas de CuS. Posteriormente la mezcla se decantó y lavó varias veces para eliminar las impurezas que quedaron y finalmente se secó en una cápsula de porcelana (Figura 1).

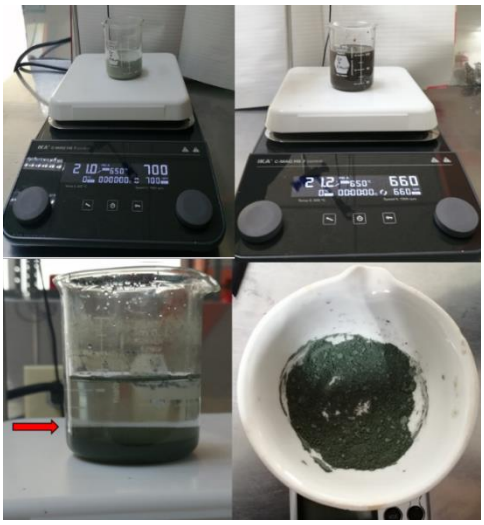


Figura 1: Deposición de Nps de CuS en la esfalerita sintética con $CuCl_2.2H_2O$.

3. Medición de la longitud de onda

De acuerdo con los resultados obtenidos por UV-Vis, se pudo determinar la longitud de onda de trabajo del colector SIPX el cual fue de 302, por tanto, este será el valor que se usó en el equipo de UV-vis para realizar la cuantificación en la cinética de adsorción.

4. Adsorción del colector y determinación de tiempo de equilibrio

El objetivo de esta prueba es conocer el tiempo de equilibrio, en donde la ZnS-Nps CuS alcanzó la máxima adsorción del colector SIPX, de esta manera se logro obtener el grafico por Origin, encontrando que el tiempo de equilibrio esta entre 5 y 8 min, después de este tiempo, prácticamente la adsorción del colector se mantiene constante (Figura 2). Este tiempo es el que se considerara para realizar las pruebas de isotermas posteriormente.

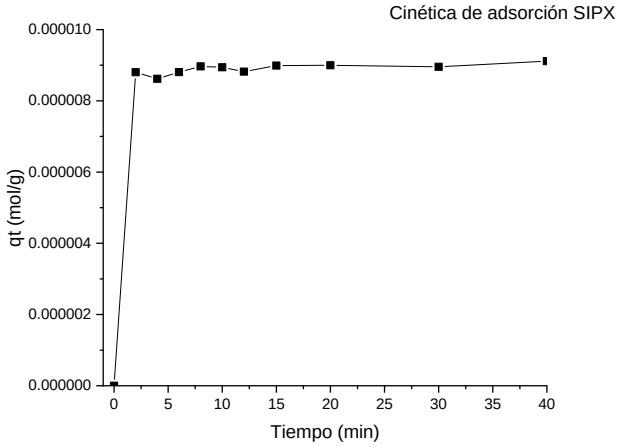


Figura 2: Cinética de adsorción de ZnS-Nps CuS con colector SIPX.

5. Caracterización realizada

Para conocer que fases cristalinas se formaron durante la síntesis realizada, se analizaron los difractogramas y a partir de los datos obtenidos se calculó el tamaño promedio de partícula.

De acuerdo con el difractograma obtenido (Figura 3) se identificó la covelita (CuS), también se identificaron dos fases más, como la calcantita y antlerita. Ambas fases son sulfatos de cobre, esto se puede relacionar a un lavado deficiente del producto final obtenido de la síntesis, por lo que se decidió incrementar la cantidad de lavados una vez finalizada la síntesis.

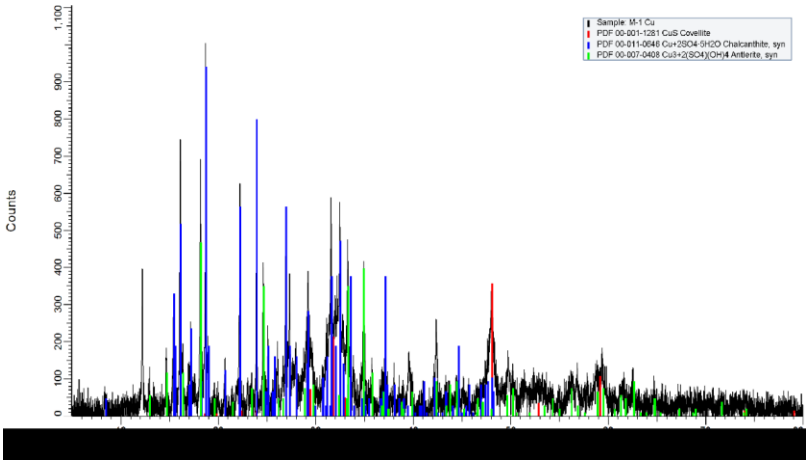


Figura 3: Difractograma de síntesis de nps de CuS.

Para el cálculo del tamaño de cristal, se identificó el ancho de los picos de la fase de covelita; de acuerdo con la literatura se puede estimar que si un pico es ancho el tamaño del cristal será pequeño, sin embargo, cuando el pico es muy delgado, indica que el tamaño de cristal será más grande. Esto es un método cualitativo que nos ayuda a inferir de manera rápida el comportamiento del tamaño de las nanopartículas obtenidas. Pero para poder obtener un valor cuantitativo real se utilizó la ecuación de Scherrer:

Para poder aplicar la fórmula anterior se calculó la anchura a media altura, para ello se utilizó el programa Origin y posteriormente se realizó el cálculo. En este análisis solo se analizaron los picos de mayor intensidad. El tamaño promedio de cristal de las nanopartículas de CuS es de 7.80 nm.

El análisis de Absorción Atómica arrojó que solo el 11.75% de las nanopartículas de CuS se depositan sobre la superficie de la esfalerita. Pese a que los resultados de absorción atómica permitieron conocer la cantidad de nanopartículas CuS depositadas, es importante también conocer su distribución en la superficie de la esfalerita, es decir, si existen aglomeraciones en ciertas zonas, si se distribuyó en toda la esfalerita o no. Para ello se obtuvieron las imágenes por SEM, con electrones secundarios y retrodispersos con la finalidad de observar morfología, composición y así mismo realizar un mapeo químico para verificar que efectivamente existen, especies de CuS en nuestro mineral.

De esta manera se observa en las Figuras 4 a-c, que existen aglomeraciones de las partículas de CuS en ciertas zonas de la superficie de la esfalerita, así mismo se visualiza que la forma predominante de las partículas es esférica, aunque no es posible de confirmar por esta técnica sino por Microscopía Electrónica de Transmisión. Cuando se obtienen las micrografías utilizando electrones retrodispersos se observan dos coloraciones diferentes, el color gris asociado a las especies de Zn, mientras que el color blanco se asocia a las especies de Cu, para poder corroborar la existencia de ambos elementos químicos, se realizó un mapeo químico con el cual se pudo corroborar la presencia de especies de Cu y Zn.

Para poder corroborar si efectivamente se obtuvieron nanopartículas se recurre a la determinación de plasmon mediante la técnica de UV-vis, en done de acuerdo con la literatura el plasmon de Nps CuS se encuentra en una longitud de onda de 302 nm, de esta manera se realizo un barrido de longitud de onda desde 800 hasta 200 nm, obteniendo el grafico Longitud de onda vs. Absorbancia (Figura 4), en donde se visualizó el pico máximo en la longitud de onda de 302, por lo que se concluye que existe formación de Nps CuS.

CONCLUSIÓN

Considerando las condiciones experimentales sencillas de la síntesis de las Nps CuS se puede concluir que el método podría implementarse en esfalerita natural para de esta manera realizar las microflotaciones. Así mismo este método puede proporcionar una deposición considerable de nanopartículas de CuS en la esfalerita, lo cual favorecería al momento de realizar la adsorción de los colectores y por ende de la flotación, sin embargo, esto no puede concluirse hasta que no se realicen las pruebas experimentales de microflotación.

BIBLIOGRAFÍA

Chandra, A. P., & Gerson, A. R. (2009). A review of the fundamental studies of the copper activation mechanisms for selective flotation of the sulfide minerals, sphalerite and pyrite. *Advances in colloid and interface science*, *145*(1-2), 97-110.

Ejtemaei, M. (2017). Bubble attachment and Amyl Xanthate adsorption to copper-activated sphalerite.

López, G., Morales, R., Olea, O., Sánchez, V., Trujillo, J., Valera, V., & Vilchis, A. (2013). Nanoestructuras metálicas; síntesis, caracterización y aplicaciones. *Libro de Editorial Reverte, Universidad Autónoma del Estado de México*, 1-50.

Palmero, P. (2015). Structural ceramic nanocomposites: a review of properties and powders' synthesis methods. Nanomaterials, 5(2), 656-696.

Pecina, E.T., Uribe, A., Nava, F., Finch, J.A. The role of copper and lead in the activation of pyrite in xanthate and non-xanthate systems. Minerals Engineering, 2006, 19, 172-179.

Statista. (2019). Ranking de los principales países productores de zinc a nivel mundial (2019) [PDF file].

Tank, N. S., Parikh, K. D., & Joshi, M. J. (2017, May). Synthesis and characterization of copper sulphide (CuS) nano particles. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1837, No. 1, p. 040018). AIP Publishing LLC.

“OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE Fe/Cu, SOPORTADAS EN CÁSCARA DE CASTAÑA, PARA LA REMOCIÓN DE METALES DEL DAM PROVENIENTES DE MILLUNI, LA PAZ”

Estefany, Sanchez Choque[1], Cristhian, Carrasco Villanueva[2], Alien Blanco Flores[3]

[1]*Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos – UMSA, e-mail: sanchezchoqueestefanynelly@gmail.com*
[2]*Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos – UMSA, e-mail: cristhian.carrasco@gmail.com*
[3]*División de Ingeniería Mecánica, TEST, e-mail: alien.blanco@test.edu.mx,*

Línea de investigación: Ciencia e ingeniería de Materiales

RESUMEN

El presente proyecto desarrolló un composito conformado por nanopartículas (NPs) de Fe/Cu, sintetizadas mediante reducción química, usando cáscara de castaña como matriz de soporte, para su estudio como adsorbente de metales pesados de drenajes ácidos de mina (DAM). El caso de estudio fue el drenaje proveniente de la “boca mina Milluni”, localizada en la región de Milluni, La Paz, Bolivia.
Con base a lo mencionado, inicialmente se caracterizó fisicoquímicamente el DAM de Milluni - determinando in situ un pH ácido de 2.6 y temperatura de 7.5 ºC. Además de altas concentraciones (en ppm) de Hierro (308); Zinc (127) y Manganeso (25), y en concentraciones menores de Cobre (2); Cadmio (0.47) y Arsénico (0.14). La matriz de soporte se caracterizó por medio de análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB). La cáscara de castaña fue sometida a distintos lavados antes de la síntesis, para alcanzar una mayor deposición de nanopartículas, que sería reflejado en una mayor capacidad de adsorción. Los compositos sintetizados fueron caracterizados por medio de la determinación de su carga superficial, análisis MEB, micrografía de transmisión electrónica (MET), difracción de Rayos X (DRX) y su composición química por medio de Absorción Atómica (AA). Finalmente, se estudió la influencia del pH, temperatura y pretratamiento en la adsorción de Zn mediante un diseño factorial 3^k en un proceso de adsorción por lotes. El estudio cinético reveló que el proceso obedece un modelo de pseudo-primer orden y así mismo a los modelos de Langmuir y Freundlich.

Palabras clave: Adsorción, Cáscara de Castaña, Nanocomposito, Zinc.

ABSTRACT

The present project developed a Fe/Cu nanoparticle (NPs) composite, synthesized by chemical reduction, using chestnut shell as a support matrix, for its study as an adsorbent of heavy metals from acid mine drainage (AMD). The case study was the drainage from the "Milluni mine mouth", located in the region of Milluni, La Paz, Bolivia.
Based on the above, the Milluni MWD was initially characterized physico-chemically - determining in situ an acid pH of 2.6 and a temperature of 7.5 ºC. In addition to high concentrations (in ppm) of Iron (308); Zinc (127) and Manganese (25), and in lower concentrations of Copper (2); Cadmium (0.47) and Arsenic (0.14). The support matrix was characterized by X-Ray Fluorescence (XRF) and Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis. The chestnut shell was subjected to different washes before synthesis to achieve a higher deposition of nanoparticles, which would be reflected in a higher adsorption capacity. The synthesized composites were characterized by means of surface charge determination, SEM analysis, transmission electron micrography (TEM), X-ray diffraction (XRD) and chemical composition by Atomic Absorption (AA).
Finally, the influence of pH, temperature and pretreatment on Zn adsorption was studied using a 3k factorial design in a batch adsorption process. The kinetic study revealed that the process obeys a pseudo-first order model as well as the Langmuir and Freundlich models.

Keywords: Adsorption, Zinc, Nanocomposite, Chestnut shells.

INTRODUCCIÓN

El drenaje ácido de mina (DAM), generado por la actividad minera y por los desechos que ésta deja, se convierte en una importante fuente de contaminación del agua; no solo por el tiempo que la actividad se encuentre activa, sino incluso, varios años después de concluidas sus operaciones (Campanini, 2017). Esta situación o problemática ambiental no solo se encuentra en Bolivia, sino también en otros países, donde el problema es el mismo, alta contaminación que se propone mitigar con tratamientos de bajo costo, sin generación de otros residuos.

El valle de Milluni, en específico las lagunas de Milluni Chico y Milluni Grande se encuentran contaminados con DAM, ya que; dicha región (considerada un pasivo ambiental), fue un centro minero importante en Bolivia. En la actualidad la región es una fuente de agua potable (en época seca), previo tratamiento químico realizado por la Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento (EPSAS).
Por otro lado existe una preocupación mundial sobre la gran generación y acumulación de enormes cantidades de residuos agroindustriales. Como alternativa para ser aprovechados han sido estudiados para el desarrollo de tecnologías alternativas de tratamiento de aguas contaminadas (Amaringo & Hormaza, 2013), en específico como potenciales adsorbentes de colorantes y metales pesados. Sin embrago, la eficiencia de adsorción de estos materiales es relativamente baja, por ello se han desarrollado modificaciones estructurales en ellos, para poder lograr una mayor eficiencia de adsorción (Lara Vásquez, et al., 2016). En este sentido la nanotecnología desarrolla adsorbentes modificados por NPs, que principalmente debido a la alta área superficial que poseen, muestran eficiencias más altas y tasas de adsorción más rápidas en el proceso de remoción de contaminantes de soluciones acuosas (Sadegh, et al., 2017). Estos adsorbentes modificados tienen como ventajas poder aumentar la eficiencia del material solido debido a la impregnación de las NPs, y evitar su aglomeración ya que se llegan a distribuir en los poros del material sólido.

DESARROLLO

OBJETO DE ESTUDIO

Sintetizar un composito conformado por nanopartículas de Fe/Cu, mediante reducción química, para su estudio como adsorbente de metales presentes en Drenaje Ácido de Mina.

METODOLOGÍA

Caracterización del DAM – Milluni

El DAM fue caracterizado en el lugar, midiendo el pH y temperatura del agua que sale de la "bocamina Milluni" (coordenadas en 16°19'9.6" Sur 68°08'53.7" Oeste) con el equipo de campo: pH metro portátil HI 991301- HANNA. Se recolectaron las muestras de agua en los meses de Junio y Octubre (época seca), posteriormente se determinó la concentración de los metales presentes mediante la técnica de absorción atómica por llama por parte de los servicios analíticos del laboratorio de calidad ambiental (LCA), del Instituto de Ecología de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA)

Pretratamiento de la matriz de soporte

La cáscara de castaña (Bertholletia Excelsa) utilizada en este proyecto, proviene de la región Amazónica de Beni y Pando, de comerciantes minoristas que comercializan este producto (castaña) en la ciudad de La Paz. Se recolectó este residuo proveniente de dicha fuente sin ningún costo adicional.

Una vez obtenidos los residuos, se procedió a la selección y molienda del mismo, después se tamizó utilizando tamices estándares ASTM. El tamaño de partícula seleccionado para el trabajo fue entre 1.71 mm y 1.18 mm. Posteriormente se realizaron tres lavados diferentes con el objetivo de eliminar posibles compuestos químicos e impurezas solubles, y así aumentar los sitios de adhesión de las NPs a la superficie del residuo. Los lavados fueron: lavado A (solución 0.05 M de NaOH), lavado B (solución etanol al 10% en volumen) y lavado C (agua destilada a 60ºC), en todos los casos la mezcla se agitó durante 24 h, manteniendo el sólido en suspensión. Transcurrido este tiempo se decantó la solución, lavó el sólido con agua destilada y secó por 24 h a 60 ºC. Antes y después de cada lavado se pesó la cáscara de castaña, con el fin de cuantificar las impurezas solubles del material. Este cálculo se realizó haciendo uso de la ecuación (1).

$$\%\boldsymbol{m_{impurezas}} = \frac{\boldsymbol{m_{castaña\ inicial} - m_{castaña\ pretatada}}}{\boldsymbol{m_{castaña\ inicial}}} * \mathbf{100} \qquad \textbf{(1)}$$

Dónde: $\%m_{impurezas}$ = Porcentaje de impurezas solubles en el lavado de la cáscara de castaña (%), $m_{castaña\ inicial}$ = Masa de cáscara de castaña antes del lavado (g), $m_{castaña\ pretatada}$ = Masa de cáscara de castaña después del lavado (g).

Síntesis de los compositos

Antes de llevar a cabo la síntesis fue necesario conocer el tiempo de contacto de las soluciones de los precursores metálicos con la cáscara de castaña. Para ello se realizó una cinética de adsorción de iones Fe y Cu.
Para determinar dicha cinética se mezclaron 0.02 g cáscara de castaña pretratada con 10 mL de una solución de 0.01 M de $FeS0_4 7H_20$ y 0.01M de $CuSO_4 *5H_2O$, por separado. Cada sistema se mantuvo en agitación y cada cierto intervalo de tiempo se tomó muestras (tiempo total 24 h) para cuantificar la cantidad de iones hierro y cobre adsorbido. Este se realizó por espectrofotometría de Absorción Atómica (Perkin Elmer - AAnalyst 100), en el laboratorio de Ecología Ambiental del Instituto de Investigaciones Fármaco

Bioquímicas (IIFB), perteneciente a la UMSA. Se determinó en cada caso la cantidad de Fe y Cu totales en la solución inicial y final. Una vez obtenidos estos resultados se calculó la capacidad de adsorción del material para cada metal como se muestra ecuación (2).

$$q_x = \frac{(Cf_x - Co_x)}{m} * V \qquad (2)$$

Dónde: qx = Capacidad de adsorción de X por unidad de adsorbente (mg/g), Cfx = Concentración final de X en el líquido (mg /L), Cox = Concentración inicial de X en el líquido (mg /L), m= Cantidad de adsorbente (g), V = Volumen de líquido (L)

La síntesis de los compositos se llevó a cabo en instalaciones del Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos (IIDEPROQ), por el método químico de reducción de sales metálicas. La síntesis se realizó en un sistema conformado por: un vaso reactor, pH metro y agitación mecánica con paleta encamisada en teflón.
3 g de cáscara de castaña pretratada se mezclaron con 112.5 mL de una solución de $FeS0_4 7H_2 0$ con una concentración 0.01 M, y 37.5 mL de una solución 0.01 M de $CuS0_4 5H_2 0$. La mezcla se agitó por el tiempo de retención determinado anteriormente. Alcanzado este tiempo, el pH de la mezcla se midió y se ajustó a 7 con una solución de NaOH (0.1 M) gota a gota, en agitación constante. Posteriormente se adicionaron 15 mL del agente reductor (0.05 M de $NaBH_4$) y se continuó la agitación hasta que cesó el burbujeo. Finalmente, la mezcla se decantó para separar el composito de la solución, así como las NPs que no se soportaron. El composito separado se lavó con agua destilada (pocas cantidades de agua muchas veces), y un lavado final con acetona para arrastrar el agua remanente. Después el composito se secó a 60 °C por 24 h y se almacenó para su uso final en los experimentos de adsorción.
Con el propósito de evaluar la influencia de los tres tipos de lavados realizados a la cáscara de castaña, se sintetizaron tres compositos, es decir: composito A, correspondiente al lavado A; composito B, correspondiente al lavado B y composito C correspondiente al lavado C. La influencia del pretratamiento se verá reflejada en la capacidad de adsorción de los compositos mencionados.

Caracterización de la matriz de soporte y compositos

La técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX) se utilizó para identificar los elementos químicos presentes en la cáscara de castaña. El servicio fue obtenido a través del Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente (IGEMA) perteneciente a la UMSA. Se utilizó un equipo de FRX, marca Rigaku Geiger flex a 50Kv y 30mA y un tubo de cromo. Una corrida se realizó entre 10º y 65º, para detectar la presencia de elementos pesados. La corrida manual de la muestra se llevó a cabo para determinar los elementos ligeros, incluyendo titanio y calcio, en registros para rangos puntuales según el elemento químico de interés.

Las morfologías de los compositos y de la cáscara de castaña sin ningún tipo de tratamiento se determinaron por medio de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) con un equipo marca JEOL JSM-6610LV, que se operó de 10-20 kV, recubriendo las muestras con una película de oro. El equipo tiene acoplado un detector de Rayos X, para hacer análisis químico por medio de espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (EDS). También se realizaron estudios para determinar el tamaño y forma de las NPs en el composito mediante micrografía de transmisión electrónica (MET) con un equipo marca JEOL-2100 utilizando un voltaje máximo de aceleración de 200 kV. Se determinó las fases de las NPs soportadas a través de un estudio de difracción de Rayos X (DRX) con un difractómetro Bruker D8 Advance usando la línea de radiación CuKα (1.5406 Å). Los difractogramas fueron recolectados dese 5 a 80° con una velocidad de escaneo de 0.05 °/s y una potencia de 30 kW. La identificación de las fases cristalinas se realizó usando el X'Pert High Scoreel, por último se determinó la cantidad de NPs soportadas en la castaña, a través de la determinación de los contenidos de Fe y Cu por medio de composición química en Absorción Atómica. Todos los estudios anteriores fueron realizados por parte del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco – México.

Como indican varias fuentes (Faria, Órfão, & Pereira, 2004), (Amaringo & Hormaza, 2013), el punto de carga cero (PCC) es aquel valor de pH en el cual la carga total de las partículas sobre la superficie del material adsorbente es neutra. Este parámetro es importante ya que nos indica en qué intervalo de pH se da un proceso de adsorción más eficiente de un contaminante catiónico o aniónico. El procedimiento para determinar el PCC se llevó a cabo según (Frias, 2004), en el cual se colocó 20 mL de una solución de NaCl 0.01 M en frascos Erlenmeyer, ajustando el pH entre 2-11, adicionando una solución de HCl 0.1 M o NaOH 0.1 M, según sea el caso. Después se adicionó en cada vaso 0.06 g de composito respectivamente, al cabo de 24 h de agitación constante en un SHAKER (agitador orbital INCUBADORA MRC LOM 200N) a temperatura ambiente, se registró las lecturas finales de pH. El PCC corresponde al valor en el cual la curva de pH inicial vs pH final se intercepta. La determinación del PCC se realizó a los tres compositos sintetizados.

Experimentos de adsorción

Con el objeto de determinar la dosis de adsorbente (composito) adecuada, se realizaron experimentos variando la dosis de adsorbente entre 0.5 – 25 g/L, evaluando el porcentaje de remoción de Zn y Mn en cada punto, como indica la ecuación (3) respectivamente. Debido a la composición del composito, no se evaluó la concentración de Fe ni Cu. No se realizaron las lecturas de Cd, As y Pb

debido a que el enfoque del trabajo es encontrar las mejores condiciones con respecto al metal y/o metales que tengan mayor concentración en el drenaje.
Las lecturas para cuantificar la concentración de Zn en cada muestra, se realizó por espectrofotometría de Absorción Atómica (Perkin Elmer - AAnalyst 100) en instalaciones del IIFB. Las lecturas de concentración de Mn se realizaron por medio de los servicios del LCA, también por la misma técnica. Las condiciones de trabajo fueron: temperatura ambiente (Ta) = 17 ºC, pH DAM = 3, tiempo de contacto = 90 min, composito = B y agitación =180 rpm – SHAKER. El nivel de agitación fue la misma en los experimentos posteriores.

$$\% \boldsymbol{X} = \frac{Cf_x - Co_x}{Co_x} * \mathbf{100} \qquad \textbf{(3)}$$

Dónde: %X = Porcentaje de adsorción de X, Cfx = Concentración final de X en el líquido (mg /L), Cox = Concentración inicial de X en el líquido (mg /L).

Los resultados del experimento de dosis de adsorbente adecuada, indicaron que el Mn no fue adsorbido en ningún punto por el composito. Por ello los experimentos posteriores a este se centraron en el estudio del metal Zn. Con la dosis de adsorbente obtenida de este experimento se trabajó en los posteriores.
Con el objeto de determinar el tiempo de equilibrio donde se alcanzó la mayor adsorción de Zn para cada composito, se llevaron a cabo experimentos evaluando dicha capacidad en las siguientes condiciones: Ta = 17ºC, pH DAM = 3, intervalos de tiempo = 5 - 180 min. La determinación del tiempo de equilibrio proporcionará el tiempo óptimo, en el cual se debe evaluar la capacidad de adsorción en el diseño experimental para cada composito.

Las variables consideradas en el diseño de experimentos fueron las siguientes: Temperatura: Se consideran las temperaturas bajas registrados en la Ciudad de El Alto, Bolivia, por ello el intervalo de temperatura elegido fue de 10 – 20 ºC. pH: El pH del DAM es un parámetro importante, porque la carga superficial puede modificarse y afectar dicho proceso, o degradar la estructura del material adsorbente. Se consideraron valores de pH entre 3 – 6, porque el pH registrado en el lugar del DAM es cercano a 3. Composito: Se evalúa indirectamente si la deposición de las nanopartículas influye dependiendo del lavado de la cáscara de castaña.
Para la matriz experimental se planteó un diseño de tres variables independientes: pH, temperatura (ºC), tipo de composito (lavado), con tres niveles cada una y como variable dependiente: capacidad de adsorción de Zn, haciendo uso del software Minitab (tabla 1).
Las condiciones de pH DAM fue ajustado con una solución de NaOH (4 M).

Tabla**3**

Variables del diseño experimental.

Niveles			VARIABLES
Alto	Medio	Bajo	
20	15	10	Temperatura (ºC)
6	4.5	3	pH
C	B	A	Composito

Cinética de adsorción

Para interpretar el mecanismo cinético de adsorción, se realizaron experimentos en frascos Erlenmeyer, donde se eligieron las condiciones de: pH, temperatura y composito en función de los resultados obtenidos del diseño experimental. Los demás parámetros fueron: concentración inicial de Zn = 29 mg/L (DAM diluido) e intervalos de tiempo = 10 min – 24 h. Para obtener información sobre el mecanismo y naturaleza del proceso cinético se utilizaron los siguientes modelos matemáticos:
Modelo de pseudo primer orden o de Lagergren: Este modelo (ecuación 4) plantea que la velocidad de adsorción es proporcional a la concentración del adsorbato. Se utiliza para adsorbentes con una superficie homogénea llevándose a cabo a través de una adsorción del tipo físico (López, et al., 2013). En este caso se grafica qt vs t y se obtienen los valores de qe y KL.
Modelo de pseudo segundo orden o de Ho & Mckay: El modelo de pseudo segundo orden (ecuación 5) se lleva a cabo a partir de mecanismos de adsorción química y la ecuación que lo describe relaciona las variables qt, qe y K (López, et al., 2013) De la misma forma que el modelo anterior se grafica qt vs t.
Modelo de segundo orden o de Elovich: Este modelo generalmente aplicado en procesos de quimisorción (ecuación 6), supone que los sitios activos del material adsorbente son heterogéneos y que por ello exhiben diferentes energías de activación, basándose en un

mecanismo de reacción de segundo orden para un proceso de reacción heterogénea, descrito matemáticamente a través de la ecuación (6) (López, et al., 2013).

Tabla 4

Modelos cinéticos de adsorción

Ecuación 1 Modelo de pseudo primer orden	*Ecuación 2 Modelo de pseudo segundo orden*	*Ecuación 3 Modelo de segundo orden*
$q_t = q_e(1 - e^{(-K_L t)})$	$q_t = \frac{Kq_e^2 t}{1 + Kq_e t}$	$q_t = \frac{1}{b} ln(abt)$
Dónde: qt = Capacidad de adsorción de X por unidad de adsorbente en el tiempo "t" (mg/g), qe = Capacidad de adsorción de X por unidad de adsorbente en equilibrio (mg/g), KL = Constante de adsorción de Lagergren (1/h), K = Constante de adsorción de Ho & McKay (g/mg-h), a = Constante de adsorción de Elovich (mg/g), b = Constante de desorción de Elovich (mg/g).		

Isoterma de adsorción

Con el objetivo de encontrar la máxima capacidad de adsorción del composito se realizaron experimentos de adsorción, con sus respectivas replicas en frascos Erlenmeyer, y en las mismas condiciones establecidas para las pruebas de cinética, las concentraciones iniciales de Zn en el DAM fueron entre 29 -129 mg/L. Los datos se ajustaron a los siguientes modelos matemáticos.
Isoterma de Langmuir: El modelo propuesto por Langmuir (ecuación 7) se desarrolló teóricamente y considera que la adsorción ocurre exclusivamente en sitios específicos localizados sobre la superficie del adsorbente; únicamente una molécula del adsorbato se adsorbe o une sobre cada sitio. Además, no existe interacción entre las moléculas adsorbidas adyacentes (Ramos, 2017).
Isoterma de Freundlich: Este modelo de isoterma (ecuación 8) se obtuvo empíricamente y ha demostrado que se puede aplicar a adsorbentes que tienen superficies energéticamente heterogéneas, la relación es esencialmente del tipo de exponencial (Ramos, 2017).

Tabla 5

Modelos de isotermas de adsorción

Ecuación 4 Isoterma de Langmuir	*Ecuación 5 Isoterma de Freundlich*
$q_e = \frac{q_{max} b C_e}{1 + bC_e}$	$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}}$
Dónde: qmax =Capacidad de adsorción máxima de X por unidad de adsorbente (mg/g), qe = Capacidad de adsorción de X por unidad de adsorbente en equilibrio (mg/g), Ce = Concentración de X en la solución en equilibrio (mg/L), b = Constante de adsorción de Langmuir (L/mg), KF = Constante de adsorción de Freundlich, 1/n = Factor de Freundlich.	

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Caracterización del DAM – Milluni

Los resultados de la caracterización con respecto a los parámetros de temperatura, pH y composición del DAM – Milluni se muestran en la tabla 4. Como se observa la concentración de Fe, Zn y Mn sobrepasan en gran proporción los límites permisibles para cuerpos de agua de clase C y clase D, en relación a su aptitud de uso establecido por el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH) de la Ley del Medio Ambiente Nº 1333.

Tabla 6

Caracterización DAM- MILLUNI

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Muestra Julio 2017 (Portillo, 2017)	Muestra Junio 2019	Muestra Octubre 2019	Promedio muestra 2019	Valor máximo RMCH Clase C	Valor máximo RMCH Clase C
pH	-	-	2.37	2.67	2.54	2.6	6 - 9	6 - 9
Temperatura	°C	-	-	8	7	7.5	+/-3°C Cuerpo receptor	+/-3°C Cuerpo receptor
Hierro	mg/l	0.050	485.0	297	319	308	1	1
Zinc	mg/l	0.038	105.0	129	125	127	5	5
Manganeso	mg/l	0.020	-	22	28	25	0.1	0.1
Cobre	mg/l	0.084	2	2	-	-	1	1
Cadmio	mg/l	0.020	-	0.47	-	-	0.005	0.005
Arsénico	mg/l	0.0010	-	-	0.14	-	0.05	0.01
Plomo	mg/l	0.050	<0.050	<0.050	-	-	0.05	0.1

Pretratamiento de la matriz de soporte

En la tabla 5 se reportan los resultados de % de masa removido para cada uno de los lavados efectuados. De acuerdo a dichos porcentajes se identifica que el tratamiento más eficiente fue el lavado con NaOH ya que logró remover el 7.31 % de las impurezas solubles. Sin embargo también se observa que los demás lavados lograron un porcentaje de remoción cercano al lavado A.

Tabla 7

Porcentajes de masa removidos por las soluciones de lavado

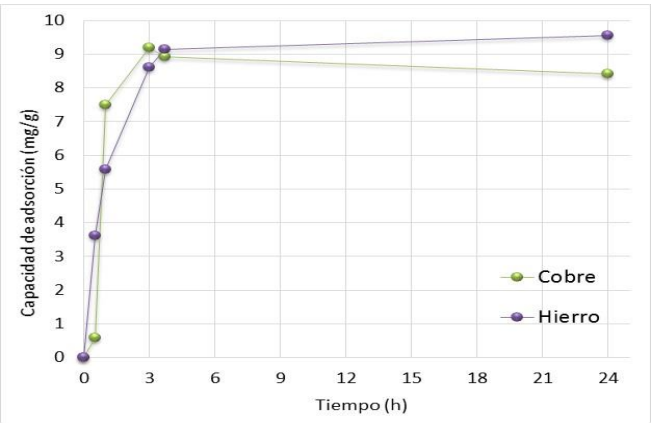
Lavado de la cáscara de castaña	*% de masa removido*
Lavado A: Solución NaOH	*7.31 ± 0.48 %*
Lavado B: Solución Etanol	*6.79 ± 0.19 %*
Lavado C: Agua destilada	*5.93 ± 0.70%*

Síntesis de composito

El tiempo de retención de Fe y Cu para la síntesis de los compositos se realizó para la cáscara de castaña lavada con agua destilada. No se llevó a cabo este experimento a la cáscara de castaña lavada con etanol e NaOH debido a que los mismos podrían afectar a la capacidad de adsorción y no así de gran manera al tiempo de equilibrio. A partir de los resultados (figura 1), se identificó 3h como el tiempo de retención para la síntesis.

Figura 13

Tiempo de retención Fe, Cu por la cáscara de castaña



Una vez identificado el tiempo de retención se procedió con la síntesis de los compositos. Una característica importante de la formación de NPs donde hay presentes especies de Fe es el magnetismo que las caracteriza (propiedad que se intensifica en tamaños de partícula nanométricos), además de la coloración negra que llegan a presentar. Esta respuesta magnética, se logró observar aun

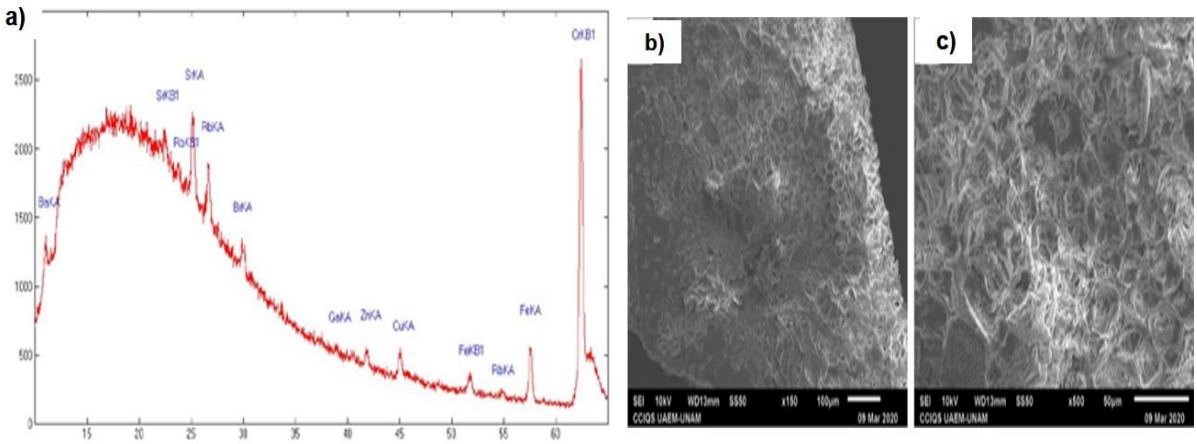
cuando NPs de especies de Cu fueron depositadas simultáneamente a las de Fe. Por ello se realizó una prueba cualitativa, pasando un imán por encima del vaso que contenía las NPs no soportadas en la solución de síntesis remanente, y se observó que éstas se movían, evidenciando la propiedad que presentan. La misma prueba se realizó para los compositos pero no llegaron a moverse con el imán. Esto pudo deberse a que la cantidad de NPs soportadas es poca y por ende se requeriría de un imán más potente.

Caracterización de la matriz de soporte y compositos

El análisis mediante FRX reveló un espectro (figura 2a) que da conocimiento de la presencia de elementos mayoritarios: K y Ca, elementos minoritarios P, Sr, Fe, Si, Al, Rb, Ba, Ti, Br, Cu y elementos trazas Zn, Ga. Los elementos antes mencionados coinciden con los que se reportan para la cáscara de castaña reportada en la región amazónica del Perú (Cabezas, 2018). De acuerdo a lo identificado en el estudio FRX, aunque la cáscara de castaña tiene Fe y Cu como elementos minoritarios, esto no afecta la posibilidad de deposición de NPs de dichos metales, ya que están en fases diferentes inmovilizadas.
Los resultados de análisis MEB para la cáscara de castaña sin tratamiento, muestran una superficie muy rugosa con casi ninguna porosidad, probablemente por la oclusión de los poros por las impurezas que contiene la cáscara (figura 2b-c). Aparecen en la superficie unas cavidades, probablemente macroporosas, con forma de cesta, similar a la forma de la cáscara de castaña.

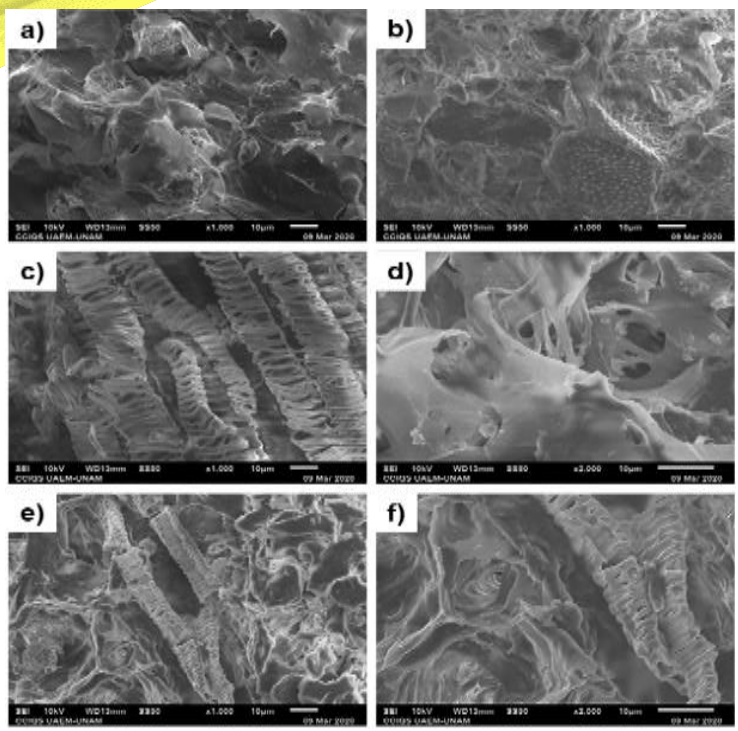
Figura 14

a) Espectro Fluorescencia de Rayos X Cáscara de castaña (IGEMA 2019), b –c) Micrografía de la castaña sin tratamiento



Una vez que la castaña se sometió a diferentes lavados, las imágenes MEB obtenidas, mostraron diferencias en la morfología del material (figura 3a-f). En las imágenes a-b, después del "lavado C" se observa como la superficie del material se hizo más lisa, como si hubiese sido expuesta a un proceso de erosión. En cambio, después del "lavado B" (figura 3c-d), se comienzan a observar la presencia de otras formas de partículas como cadenas muy largas enrolladas, estas son características de los componentes químicos presentes en materiales lignocelulósicos. El tratamiento con el "lavado A", parece ser más agresivo a la superficie porque expone la presencia mayoritaria de dichas cadenas, así como la presencia de cavidades de diferentes dimensiones (figura 3e-f).
Figura 15

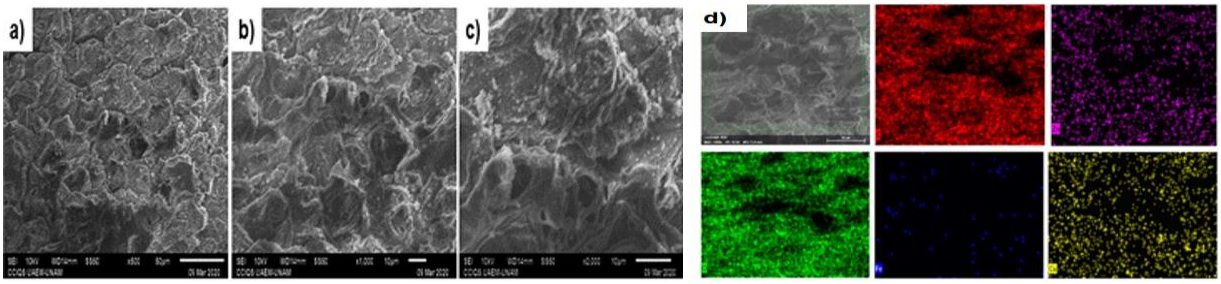
Micrografías SEM de los pretratamientos realizados al residuo de cáscara de castaña (a-b) con agua, (c-d) con una solución de etanol y (e-f) con una solución de NaOH



También se analizó la superficie del composito A, ya que al parecer fue el material con mejor funcionalidad, de acuerdo a los resultados obtenidos previamente en la caracterización del mismo. La figura 4a-c, muestra partículas como puntos blancos distribuidos en casi toda la superficie del composito. Pareciera que las NPs se depositaron en la superficie de las cavidades, o sea, que no penetraron. Esto puede ser un aspecto positivo para la aplicación que se le pretende dar al composito, ya que, al estar los sitios de adsorción más accesibles, entones el proceso se podría llevar a cabo de forma más rápida. La superficie también parece más suavizada, lo cual se atribuye al hecho de que las NPs fueron depositadas en dicha superficie. El estudio EDS, confirmó la presencia de las especies de Fe y Cu, distribuidas en toda la superficie de la cáscara de castaña (figura 4d).

Figura 16

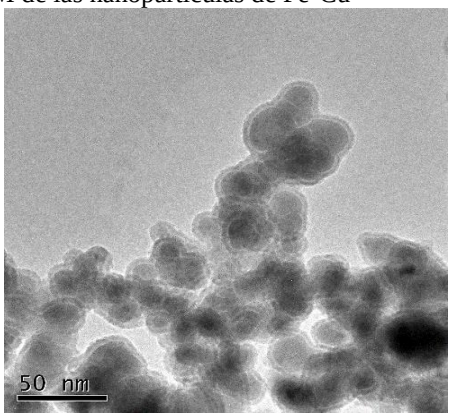
(a-c) Imágenes SEM del composito pretratado previamente con NaOH d) Distribución de las especies de hierro y cobre en la superficie del composito por EDS



Los resultados obtenidos por medio de MET indicaron que las nanopartículas de Fe-Cu, se obtuvieron con forma esferoidal. En la figura 5 se observa un halo, probablemente característicos de la formación de óxidos de los metales correspondientes, también aparecen en cierto grado aglomeradas, esto debido a que no se consideró la adición de un agente capeante durante la síntesis. Este resultado se corroboró con los tamaños promedios obtenidos fue de aproximadamente 15 nm.

Figura 17

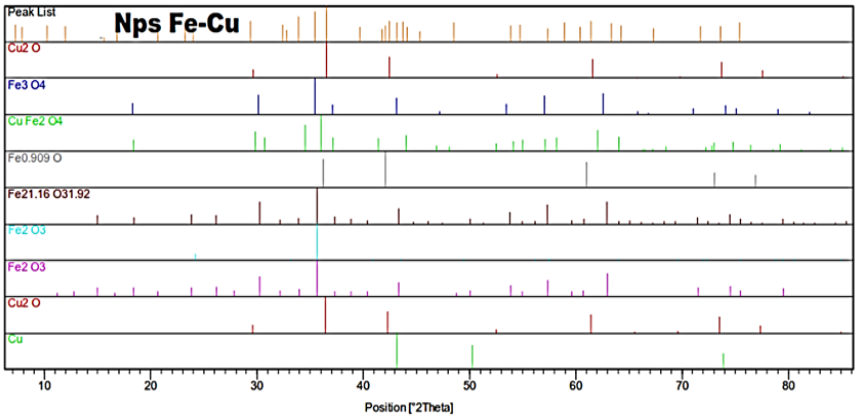
Micrografía TEM de las nanopartículas de Fe-Cu



El Difractograma de Rayos X, demostró que las nanopartículas de Fe y Cu se soportaron en los materiales en diferentes formas, pero fundamentalmente en forma de óxidos metálicos en varios estados de oxidación, como magnetita, óxido férrico y óxido cuproso, entre otros (figura 6).

Figura 18

Difractograma del sistema nanoestructurado Fe/Cu

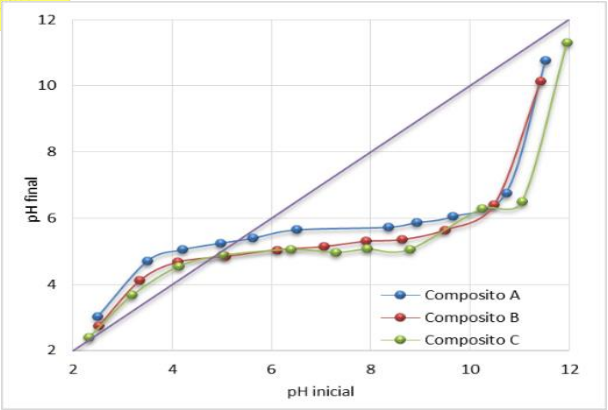


La proporción de las nanopartículas de Fe-Cu depositadas en la cáscara de castaña, determinadas por absorción atómica fue de 1.9% de Hierro y 0.5% de Cobre, en porcentajes en masa. Es lógico esperar estos resultados ya que la proporción de Cobre siempre fue menor que la cantidad del precursor de Hierro adicionado. De esta manera se determinó que en efecto cantidades diferentes fueron adicionadas a la cáscara de castaña.

Para cada uno de los compositos sintetizados, se determinó el pH en el PCC (figura 5). Estos valores difieren solo en el caso del composito C con PCC = 5.4. Para los otros dos casos, ambos presentan un valor de PCC = 4.8, por lo cual se concluye que los lavados no generaron una modificación de la carga superficial de los compositos correspondientes. Estos valores nos indican que, si el pH de la solución de DAM está por debajo del PCC, la superficie de los compositos se queda cargada positivamente, ya que existe gran presencia de protones en la solución y el adsorbente. Por lo tanto, al tener carga positiva el material tendrá más afinidad por la adsorción de aniones. Por el contrario, si el pH del DAM, tiene un valor superior al PCC, habrá una superficie cargada negativamente, ya que grupos con carga positiva del adsorbente migraran a la solución que tiene un pH mayor (menor presencia de protones), y por lo tanto habrá más afinidad por la adsorción de cationes.

Figura 19

Punto de carga cero de los compositos sintetizados

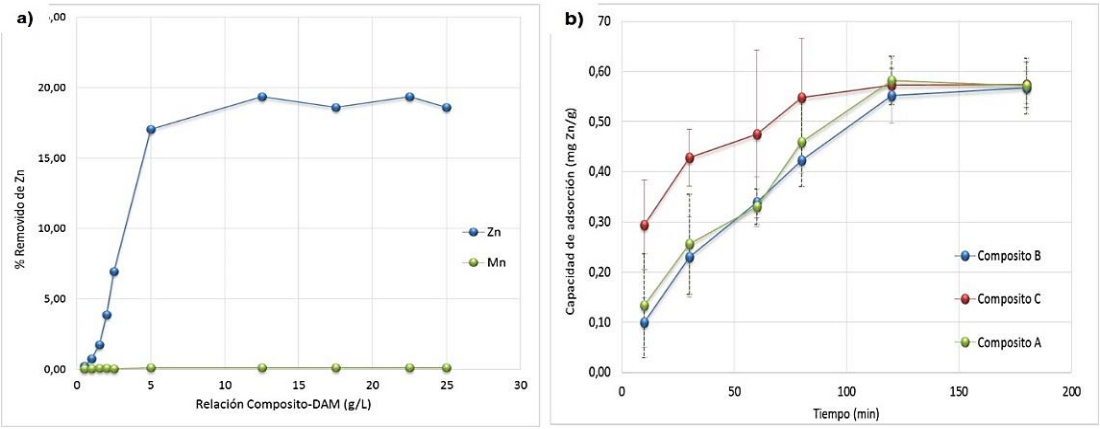


Estudios de adsorción.

La determinación de la dosis de adsorbente adecuada se realizó con el composito B, considerándolo como un intermedio entre el composito A y C de acuerdo con los resultados de los porcentajes de remoción en los lavados. La figura 6a muestra que con una relación de 5 g/L la remoción alcanzada de Zn es superior al 15 %. Con respecto al metal Mn, no hubo adsorción de éste por el composito, aun en dosis altas. Concluyendo que la competencia de Zn y de los demás metales presentes en el drenaje imposibilitan su adsorción, y que no existe una afinidad del composito por el Mn. Por ello los demás experimentos se centraron en la adsorción de Zn. Los resultados de la determinación del tiempo de equilibrio (figura 6b) para los compositos fueron los siguientes. El tiempo de equilibrio para el composito A, fue de 120 min o lo que es lo mismo de 2h. A partir de los 30 min de contacto, la adsorción del ion se incrementó poco a poco hasta que se alcanzó el equilibrio. El mismo comportamiento se obtuvo para el composito B, indicando que la superficie del material sino es igual es muy similar pues se requirió el mismo tiempo para alcanzar el equilibrio. Solo para el caso del composito C el tiempo de equilibrio disminuyó a 80 min, esto podría significar que los sitios de adsorción del material son más accesibles a los iones Zn aun cuando la cantidad adsorbida no varió.

Figura 20

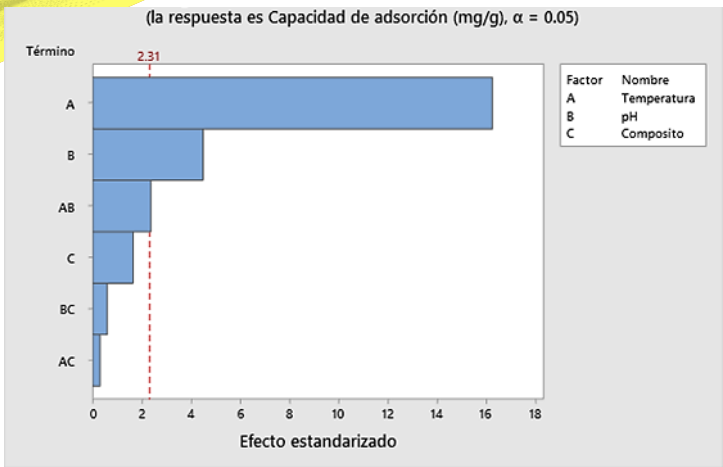
a) Relación % de remoción de Zn, Mn y dosis de adsorbente b) Determinación del tiempo de equilibrio para cada composito



Después de las 27 corridas establecidas anteriormente por el diseño experimental, se procedió a su análisis estadístico en el software Minitab versión 18. De acuerdo con el diagrama de Pareto (figura 9) las variables con efecto significativo sobre la capacidad de adsorción fueron: pH, temperatura y la interacción entre ambas, siendo la temperatura la que tiene mayor influencia. Esto significa que si se desea incrementar la capacidad de adsorción entonces sería necesario modificar dichos factores y su combinación. También se determinaron las condiciones de T = 20 ºC, pH = 5 y considerando la influencia no significativa del "composito" se determinó el material de soporte (cáscara de castaña) lavado con agua destilada, para las posteriores pruebas experimentales.

Figura 21

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados



Cinética de adsorción

Una vez obtenidos los parámetros óptimos se procedió a desarrollar la cinética de adsorción. El comportamiento cinético del composito se observa en la figura 10a, así como también los resultados al ajustar la data con diferentes modelos cinéticos. Los valores de dichos modelos se muestran en la tabla 6. Las condiciones del experimento fueron: dosis = 5 (g/L), composito C (tratado con agua destilada), pH DAM = 5, concentración DAM (diluido) = 29 (mg/L).

De acuerdo a los resultados obtenidos al aplicar los modelos antes mencionados, se puede confirmar que el proceso fue mejor descrito por el modelo de Lagergren. Ello indica que el proceso se llevó a cabo a través de interacciones electrostáticas. Probablemente relacionadas con el tipo de carga superficial que atrajo a los iones Zn, a la superficie. Analizando los valores obtenidos para los parámetros "a" y "b" del Modelo de Elovich, el proceso de adsorción se favorece más que el proceso de desorción, indicando que el composito tiene afinidad por los iones Zn. Considerando la forma de la gráfica, la mayor cantidad adsorbida de zinc se alcanzó a las 2 h, luego esta se mantuvo constante indicando que el equilibrio se había alcanzado. Por ello se consideró un tiempo de 2 h para llevar a cabo los experimentos de isotermas de adsorción.

Tabla 8

Parámetros de los modelos cinéticos

Modelo pseudo primer orden o de Lagergren		
qe (mg/g)	k_L(1/h)	r^2 (coeficiente de determinación)
3.05052	0.59468	0.8671
Modelo de pseudo segundo orden o de Ho & Mckay		
qe (mg/g)	$K\left(\frac{g}{mg-h}\right)$	r^2
3.3729	0.2162	0.7399
Modelo de segundo orden o de Elovich		
a (mg/g)	b(mg/g)	r^2
5.8103	1.5763	0.8043

Isoterma de adsorción

El comportamiento del equilibrio de adsorción se observa en figura 10b como también los modelos de Freundlich y Langmuir ajustados. En la tabla 7 se presentan los parámetros de los modelos mencionados. Tal y como indican los valores de los coeficientes de correlación para ambos modelos matemáticos, se considera que la ocurrencia de los procesos de adsorción debe haber involucrado tanto la adsorción física como química con cierto grado de heterogeneidad en la superficie del composito. Tal confirmación la

proporciona el valor del parámetro “1/n” ya que mientras más cercano a cero es menor la heterogeneidad y este valor es intermedio entre 0 y 1.

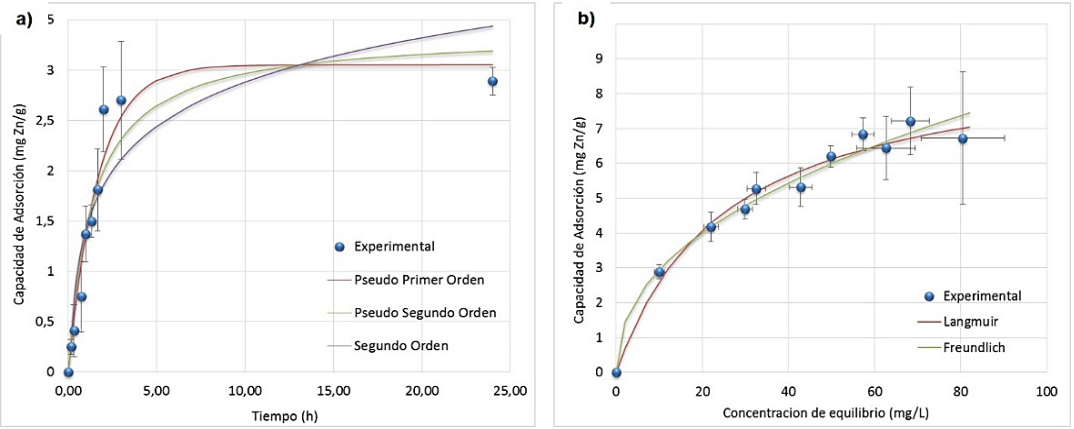
Tabla 9

Parámetros de los modelos de Isotermas de adsorción

Modelo de isoterma de Langmuir			**Modelo de isoterma de Freundlich**			
q_{max}**(mg/g)**	b (L/mg)	R^2	$K_F\ (mg/g)/(mg/L)^{\frac{1}{n}}$	1/n	n	R^2
9,20	0,04	0,966	1,07	0,44	2,27	0,964

Figura 22

a) Cinética de adsorción de Zn por el composito C b) Isoterma de adsorción de Zn por el composito C



CONCLUSIONES

La caracterización del DAM – Milluni realizada en los meses de Junio y Octubre del año 2019, fue similar a las caracterizaciones realizadas en investigaciones anteriores por (Mercado & Herrera, 2014) y (Portillo, 2017). Los metales de mayor concentración en el drenaje fueron Fe (308 mg/L), Zn (127 mg/L) y Mn (25 mg/L). Se registró un valor de pH bastante bajo del efluente de 2.6 y una temperatura de 7.5 ºC, en promedio.

La morfología de la cáscara de castaña (Bertholletia Excelsa) mostró una superficie rugosa con casi ninguna porosidad, pero después de ser sometida a los tres distintos lavados su morfología cambio, mostrando superficies con grandes cavidades en los tres casos. Sin embargo, de acuerdo a los resultados de los experimentos de adsorción, se concluye que el tipo de lavado al residuo antes de la síntesis, no fue significativo para una mayor o menor deposición de las nanopartículas. Las imágenes MEB del composito A, mostraron partículas como puntos blancos distribuidos en su superficie, además de una apariencia más suavizada, lo cual se atribuye al hecho de que las nanopartículas fueron depositadas en dicha superficie. La micrografía MET, determinó un tamaño de partículas aproximado de 15 nm de forma esferoidal. El Difractograma de Rayos X, confirmó la presencia de las especies de Fe y Cu en el composito, como óxidos metálicos de cada elemento. También se determinó el porcentaje en peso de nanopartículas de Fe-Cu en el composito, con valores de 1.9%-0.5% respectivamente.

El experimento de adsorción de dosis de adsorbente adecuada, con el DAM-MILLUNI y el composito B, reveló que el ion Manganeso no fue adsorbido, lo que sugiere que la competencia de Zn frente al Mn, y en condiciones de un pH acido (3), se inhibe la adsorción de este último metal.

Según los resultados del diseño experimental el pH donde se registró mayor adsorción de Zn, del DAM – Milluni se encontró en el rango de 4.5 - 6, la temperatura óptima fue de 20ºC, y se determinó que no existe influencia significativa del tipo de lavado a la cáscara de castaña en la capacidad de adsorción de los compositos. El estudio cinético reveló el modelo de pseudo primer orden como el que mejor se ajusta a los datos experimentales, en cuanto al estudio de isoterma de adsorción, el modelo de Langmuir y Freundlich presentaron buenos coeficientes de correlación. Los resultados de cinética y de isoterma de adsorción para el ion Zn indicaron que la ocurrencia de los procesos de adsorción debe haber involucrado tanto la adsorción física como química.

Posterior a los resultados del diseño experimental se evaluó nuevamente la capacidad de adsorción de Mn, esta vez con las mejores condiciones identificadas en el diseño experimental para el ion Zn, donde se evidenció que en condiciones de pH= 5, T=20 ºC, y con el composito C, se alcanzó una capacidad de adsorción baja de 1.8 mg Mn/g.

La máxima capacidad de adsorción del ion Zn reportada en el presente proyecto, de acuerdo con el modelo de Langmuir, es 9.20 (mg Zn/g), indicando una remoción del 30%, en un estudio de adsorción discontinuo en una sola etapa.

BIBLIOGRAFÍA

Amaringo, F. & Hormaza, A., 2013. Determinación del punto de carga cero y punto isoeléctrico de dos residuos agrícolas y su aplicación en la remoción de colorantes. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, IV(2).

Cabezas, C., 2018. Estimacion del potencial energético de los residuos de la cadena de valor del fruto de la castaña (Bertholletia Excelsa) en la región Madre de Dios. Universidad Nacional Agraria.

Campanini, O., 2017. Agua y minería en Bolivia ¿Riesgos lejanos?. pp. 34-44.

Casarin, J., 2014. Adsorción de iones metálicos utilizando la cáscara de semillas de castaña de Brasil (Bertholletia excelsa H.B.K) como biosorbente (Tesis de Maestria). Universidad Estatal del Estado de Paraná.

Emadi, M., Shams, E. & Kazem, M., 2013. Eliminación de zinc de soluciones acuosas mediante nanopartículas de núcleo-carcasa de sílice de magnetita. Journal of Chemistry.

Ghorbani, M., Eisazadeh, H. & Ghoreyshi, A. A., 2012. Eliminación de iones de zinc de una solución acuosa utilizando Nanocompuesto de polianilina recubierto de cáscara de arroz. Revista Iranica de Energía y Medio Ambiente, pp. 83-88.

Lara Vásquez, E., Solache Riós, M. & Gutiérrez Segura, E., 2016. Comportamientos del tinte verde de malaquita en presencia de biosorbentes del maíz (Zea mays L.), sus compuestos de nanopartículas de Fe-Cu y nanopartículas de Fe-Cu.. Journal of Environmental Chemical Engineering, pp. 1594-1603.

López, G. y otros, 2013. Nanoestructuras metálicas; síntesis, caracterización y aplicaciones. s.l.:Editorial Reverte.

Prieto, J., Quintana, R., Rodríquez, E. & Mollineda, Á., 2016. Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la remoción de zinc en soluciones acuosas. Centro Azúcar, XLIII(3), pp. 78-83.

Ramos, R., 2017. Importancia y Aplicaciones de la Adsorción en Fase Líquida.

Rodríguez, C. & Leiva, E., 2019. Eliminación mejorada de metales pesados de aguas residuales de drenaje de minas ácidas mediante nanotubos de carbono de paredes múltiples de doble oxidación. Molecules.

Sadegh, H. y otros, 2017. El papel de los nanomateriales como adsorbentes efectivos y sus aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales. Journal of Nanostructure in Chemistry, pp. 1-14.

Sahoo, P., Tripathy, S., Panigrahi, M. & Equeenuddin, S., 2013. Evaluación del uso de cenizas volantes modificadas con álcali como adsorbente potencial para la remoción de metales del drenaje ácido de minas. Applied Water Science, p. 567–576.

Serrano, C., 2004. Historia de la mineria andina Boliviana (siglos XVI- XX). Diciembre.

Tuomikoski, S. y otros, 2019. Adsorción de zinc por carbón activado preparado a partir de biomasa residual lignocelulósica. Aplied Scienses.

Caracterización del proceso de calentamiento por Inducción para Probetas Planas de Tensión Bajo Diferentes Parámetros de Diseño en el Inductor

*Pablo Alberto Limon Leyva[1], Antonio de Jesús Balvantín García[2], Mario Francisco Suzuki Valenzuela[1].

[1]*Instituto Tecnológico de Sonora, Campus Náinari, Departamento de Eléctrica y Electrónica. Calle Antonio Caso S/N y E. Kino, Colonia Villa ITSON. C.P., 85130, Ciudad Obregón, Sonora, Mexico*
[2]*División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km 3.5 +1.8 km, Comunidad de Palo Blanco, Salamanca, Guanajuato, México, Código Postal 36885. Tel.: (464) 647 9940 ext. 2363.*
**Autor de correspondencia: pablo.limon@potros.itson.edu.mx*

Línea de investigación: Caracterización de materiales.

Resumen

Este trabajo presenta la caracterización experimental del proceso de calentamiento por inducción, variando los parámetros geométricos del inductor, así como los valores de las variables eléctricas de alimentación del sistema de calentamiento. Adicionalmente, se presenta un protocolo experimental para la adquisición y procesamiento de datos de calentamiento sobre probetas de tensión estándar ASTM A8. El objetivo principal del presente trabajo es determinar tanto los parámetros geométricos de la bobina, como son la geometría, numero espiras, y distancia a la probeta; así como también los parámetros de alimentación eléctrica del circuito (voltaje y corriente), con los cuales se genere un calentamiento uniforme y constante en las probetas utilizadas por un periodo de tiempo prolongado. Los perfiles de temperatura, generados en las probetas, fueron adquiridos utilizando una cámara termográfica Fluke® TI10. Para la alimentación del circuito se utilizó una fuente de voltaje regulable BK Precision® en un rango de 5 a 12 VCD. Los resultados obtenidos se utilizarán para generar una estación experimental de calentamiento por inducción para futuras pruebas de caracterización mecánica de materiales sujetos a tensión uniaxial a temperaturas superiores a las del ambiente.

Palabras clave: Calentamiento por inducción, Caracterización experimental, Diseño del Inductor.

Abstract

The experimental characterization of the induction heating process, varying the geometrical parameters of the inductor, as well as the values of the heating system's electrical supply, is proposed in this work. In addition, an experimental protocol for the acquisition and processing of heating data on an ASTM A8 standard tensile specimen is presented. The main objective of this work is to determine both the geometrical parameters of the coil, such as geometry, number of turns, and distance to the specimen; as well as the electrical power supply parameters of the circuit (voltage and current), with which a uniform and constant heating is generated in the specimens used for a extended period of time. The temperature profiles generated in the specimens were acquired using a Fluke® TI10 thermographic camera. A BK Precision® variable voltage source was used to power the circuit in a range of 5 to 12 VDC. The obtained results will be used to generate an experimental induction heating station for future mechanical characterization tests of materials undergone uniaxial stress at temperatures over ambient temperature.

Keywords: Induction heating, Experimental Characterization, Coil Design.

INTRODUCCIÓN

La predicción de los efectos de las variaciones de temperatura sobre el comportamiento mecánico del acero durante las condiciones de trabajo de elementos mecánicos y componentes estructurales es crítica para diversas aplicaciones industriales. La caracterización de las propiedades mecánicas de los materiales de uso industrial bajo condiciones de temperaturas variables se ha estudiado recientemente por diversos investigadores. La influencia de la temperatura en un rango entre 500 °C y 850 °C sobre la tasa de deformación y la distribución del esfuerzo en aceros con diversos recubrimientos, utilizados en la industria automotriz, fue reportada en la literatura [5, 16]. Por otro lado, estudios como el desarrollado por Kim, et al., [8], reportan las propiedades mecánicas de aleaciones no ferromagnéticas de titanio utilizadas para la industria aeroespacial bajo condiciones de alta temperatura, llegando a los 500 °C. Adicionalmente, Shimamoto et al. [14] desarrollaron y validaron una estación experimental de pruebas de tensión biaxiales, con la capacidad de realizar pruebas tanto dinámicas como estáticas a temperaturas controladas sobre probetas cruciformes de aluminio.

La caracterización de materiales bajo condiciones de alta temperatura requiere un proceso de calentamiento que mantenga dicha temperatura constante. Diversos procesos de calentamiento se han utilizado para la caracterización del comportamiento mecánico de materiales industriales bajo condiciones de alta temperatura. El calentamiento por resistencia eléctrica, así como el calentamiento por inducción electromagnética son dos de los procesos más utilizados para el calentamiento de materiales industriales sometidos a pruebas de caracterización mecánica. El proceso de calentamiento por resistencia eléctrica consiste en colocar el espécimen entre dos electrodos para calentarlo por el efecto Joule [11, 15]. El calentamiento por resistencia eléctrica puede causar variaciones de temperatura sobre el espécimen, resultando en la generación de propiedades mecánicas no uniformes sobre el material [1, 9]. Por otro lado, el calentamiento por inducción es un proceso de calentamiento rápido, utilizado para la fundición y calentamiento de materiales para el conformado de metales en caliente [7-10]. La eficiencia energética del calentamiento por inducción es, hasta el momento, mayor a la de otros procesos de calentamiento de materiales ferromagnéticos [2, 12]. Debido a sus características de alta eficiencia y rapidez de calentamiento, en este trabajo se estudian diversos parámetros del proceso de calentamiento por inducción sobre probetas estándar de acero para pruebas de tensión.

Comúnmente, los diversos estudios realizados para la caracterización de las propiedades mecánicas de diferentes materiales se llevan a cabo a altas temperaturas, en el rango de los 500 °C a los 900 °C. Sin embargo, la influencia de la temperatura sobre las propiedades mecánicas de los materiales en un rango entre los 100 °C y los 500 °C, no ha sido reportado en la literatura. En el presente trabajo se propone el análisis del proceso de calentamiento por inducción para generar valores en un rango bajo de temperatura (entre 50 °C y 200 °C) sobre el material. La variación de temperatura se genera modificando los parámetros de construcción del inductor, tales como su geometría y la distancia de separación al material. Adicionalmente, se varía también la potencia de alimentación del circuito de inducción, de manera que se pueda controlar el tiempo de calentamiento y la temperatura deseada. Los resultados obtenidos a partir del presente análisis determinaran la factibilidad de implementar el sistema experimental propuesto para la futura caracterización de las propiedades mecánicas de materiales en el rango de temperaturas alcanzado. Para llevar a cabo este proceso, se hace circular una corriente alterna a través de un conductor, creando un campo magnético alterno, en el cual, una pieza de trabajo se ubicará dentro de él, convirtiéndose en un circuito electromagnético. Como resultado de ello, una corriente alterna se desarrolla en la pieza de trabajo, aunado con un cierto calor, debido a la resistencia del material, así como a las pérdidas por el fenómeno de histéresis.

Partiendo de un fenómeno básico del electromagnetismo, la inducción de calor. Un voltaje alterno se aplica a una bobina resultará en una corriente alterna en el circuito de la bobina. Esta corriente en la bobina producirá, en sus alrededores, un campo magnético variable. Este campo magnético tiene la capacidad de inducir corrientes parásitas (eddy) en la pieza de trabajo, localizada dentro de la bobina. Estas corrientes parásitas cuentan con la misma frecuencia que la corriente de la bobina, más no su sentido, ya que cuentan con un sentido contrario a la corriente de la bobina. Dadas las características de la pieza de trabajo, las corrientes parásitas producirán calor por medio del efecto Joule.

Se han detectado altas eficiencias cuando la resistencia de la bobina conductora es baja, comparada con la pieza de trabajo. También, las dimensiones mínimas de la pieza de trabajo, normal al flujo del campo magnético es grande comparada con la profundidad de penetración [3, 13].

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para la comprensión del fenómeno de calentamiento por inducción, se deben comprender las ecuaciones de Maxwell referidas al electromagnetismo. Una fuerza electromotriz es aquella capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos, también conocida como FEM. Si se utiliza una fuente de FEM y un dispositivo elaborado por un conductor, se puede establecer una corriente eléctrica capaz de generar un campo magnético *B*. El campo magnético generado, se puede intensificar acondicionando el conductor en forma de bobina con múltiples vueltas aisladas eléctricamente [17].

Todos los fenómenos electromagnéticos pueden relacionarse por medio de las ecuaciones de Maxwell, las cuales se presentan a continuación.

$$\epsilon_0 \oint \boldsymbol{E} \cdot d\boldsymbol{S} = q \tag{1}$$

$$\oint \boldsymbol{B} \cdot d\boldsymbol{S} = 0 \tag{2}$$

$$\oint \boldsymbol{E} \cdot d\boldsymbol{l} = -\frac{d\phi_B}{dt} \tag{3}$$

$$\oint \boldsymbol{B} \cdot d\boldsymbol{l} = \mu_0 \left\{ \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} + i \right\} \tag{4}$$

La ecuación (1) es la ley de Gauss para electricidad, que relaciona la carga eléctrica q y el campo eléctrico E que pasa por una superficie S, donde ϵ_0 es la permitividad eléctrica en el vacío. La ecuación (2) es la ley de Gauss para magnetismo y describe parcialmente, el comportamiento del campo magnético B que pasa por una superficie. La ecuación (3) es la ley de inducción de Faraday, que relaciona el efecto eléctrico del flujo del campo magnético ϕ_B , con el campo eléctrico que pasa por una cierta longitud l del medio; finalmente, la ecuación (4) que es la ley de Ampere describe el efecto magnético de campos eléctricos o corrientes variables sobre el medio, donde μ_0 es permeabilidad magnética del vacío y ϕ_E es el flujo del campo eléctrico.
De esta manera, si en un conductor tipo bobina se hace circular una corriente eléctrica, se genera un campo magnético cuya amplitud y distribución se puede también expresar con la ley de Ampere [4].

$$NI = \oint \boldsymbol{H} \cdot d\boldsymbol{l} = Hl \tag{5}$$

Donde, **N** es el número de espiras de la bobina, I es la corriente que circula a través de la bobina, H es el campo magnético y l es la longitud del circuito.
Tomando en cuenta que la corriente es alterna, se puede utilizar la ecuación de Faraday-Maxwell, que dice que se induce un campo magnético variable en el tiempo y, en consecuencia, para un conductor sumergido en este campo, una FEM (ε) tendrá el siguiente valor.

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi_B}{dt} \tag{6}$$

Por otro lado, en la parte interna de la pieza de trabajo a calentar, por medio de la inducción electromagnética, se denominará corriente inducida (Foucault), representada por i_f , y esta última es responsable por la generación del efecto Joule, el cual puede representarse por la siguiente ecuación.

$$P = i_f^2 R_{eq} \tag{7}$$

Donde, P es la cantidad de calor expresado en Julios (J) y R_{eq} es la resistencia eléctrica del conductor. Cabe resaltar, que el proceso de inducción electromagnética es un método de no contacto. La generación de calor puede controlarse, así como la profundidad δ a la cual se desea calentar la pieza de trabajo, la cual puede calcularse de la siguiente manera.

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu_0 \mu_r}} \tag{8}$$

Donde, ρ es la resistividad eléctrica del material, f es la frecuencia de la corriente alterna en la bobina, μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío, y μ_r es la permeabilidad magnética relativa del material. De esta manera, es posible modelar matemáticamente el proceso de calentamiento por inducción sobre un material ferromagnético, fenómeno que se aprovecha experimentalmente para diferentes implementaciones prácticas. El proceso de calentamiento experimental de probetas de acero al carbón se describe en la siguiente sección.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para la experimentación se diseñaron y fabricaron manualmente tres diferentes bobinas, cambiando su geometría de manera que se altere la distancia al material. Las tres bobinas consisten en espirales de 5 vueltas, siendo una de ellas circular y dos ovaladas (ver Figura 1). La bobina circular tiene un diámetro de 2”, mientras que para la bobina ovalada 1, se utilizaron valores en el eje mayor (EM) y eje menor (em) de 2.75” y 1.1”, respectivamente. Por otro lado, la bobina ovalada 2 tiene medidas de EM 2.3” y em 0.67”. Para la fabricación de las bobinas se utilizó alambre de cobre calibre 12; adicionalmente, se mantuvo una distancia constante de 3 mm entre las espiras, utilizando un separador fabricado con manufactura aditiva en material ABS.

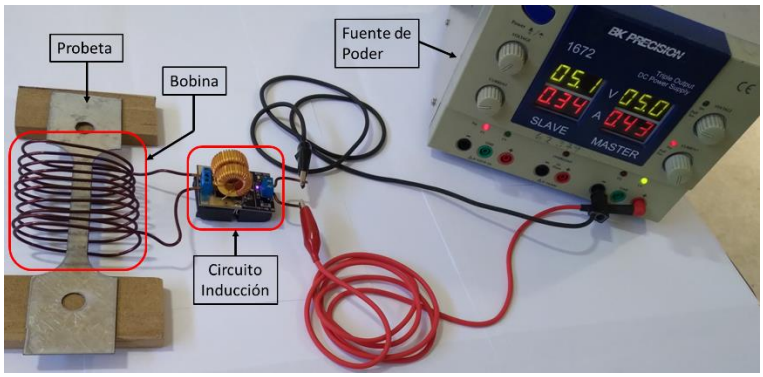
Figura 1. Bobinas experimentales utilizadas en la caracterización del proceso de calentamiento; a) bobina circular, b) bobina ovalada 1 y c) bobina ovalada 2.

a) b) c)

Por otro lado, la alimentación del circuito de calentamiento por inducción se varió en función de modificar la temperatura alcanzada a diferentes tiempos de calentamiento. El circuito para el calentamiento por inducción es una placa mini ZVS la cual trabaja en un rango de 5 a 12 V con un consumo máximo de 6 A. Para la alimentación del circuito de calentamiento se utilizó una fuente de poder BK Precisión® con rangos de operación de 0-32V y de 0-6A, el dispositivo experimental se observa en la Figura 2.

La caracterización de las bobinas propuestas se realizó variando el voltaje de alimentación del dispositivo de calentamiento por inducción en un rango de 5 a 12 volts y midiendo la potencia consumida por el circuito en vacío, y bajo condiciones de carga. Para generar la carga sobre el circuito se introduce una probeta de acero al carbón con dimensiones estándar. La temperatura de la probeta se monitorea en dos tiempos: a los 30 segundos de iniciada la prueba y finalmente, a los 60 segundos de calentamiento. Para determinar la temperatura alcanzada en la probeta se capturó una imagen termográfica con una cámara marca Fluke Ti10, la cual proporciona la distribución de temperatura a lo largo de la superficie calibrada de la probeta. En cada imagen termográfica obtenida, se determinó la temperatura mínima y máxima de la probeta. Adicionalmente, se estimaron las temperaturas promedio y la desviación estándar de los valores de calentamiento. Los resultados obtenidos de las pruebas experimentales se presentan y discuten en la siguiente sección.

Figura 2. Circuito de inducción conectado.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las pruebas experimentales se obtuvieron incrementando el voltaje de alimentación del circuito para cada una de las probetas en un rango de 5 a 12 volts, con incrementos de 1 volt. Durante los experimentos se generaron un total de 8 pruebas por bobina, con 3 repeticiones por prueba para alcanzar significancia estadística. Las variaciones de temperatura para las tres bobinas a los voltajes de alimentación típicos de los circuitos electrónicos (5, 9 y 12 volts) se pueden observar en la Tabla 1.

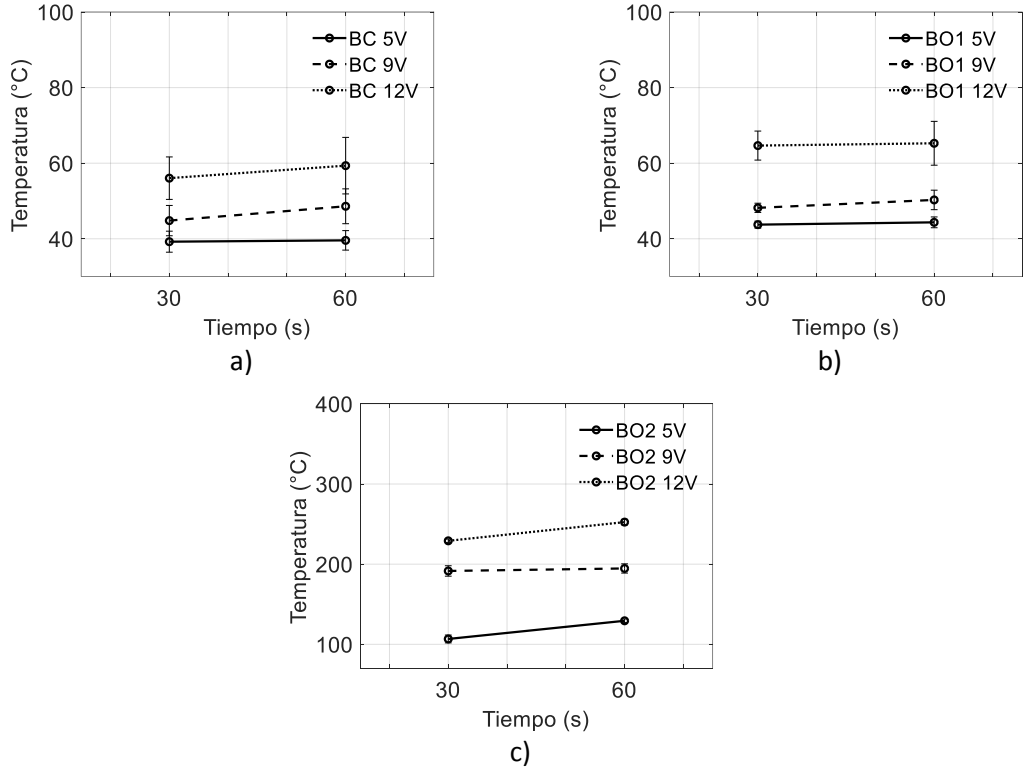
Tabla 1. Variaciones de temperatura medidas.

Probeta Circular	T ° C (30 s)	T °C (60 s)	Razón de cambio °C/s
5 V	39.23	39.58	0.01
9 V	44.81	48.60	0.12
12 V	56.04	59.35	0.11
Probeta Ovalada 1			

5 V	43.74	44.35	0.02
9 V	48.19	50.28	0.06
12 V	64.66	65.27	0.02
Probeta Ovalada 2			
5 V	106.70	129.36	0.75
9 V	191.53	194.66	0.10
12 V	229.12	252.47	0.77

De los valores presentados en la Tabla 1, se generaron gráficos del comportamiento de cada bobina. En la Figura 3, se observa la evolución del calentamiento para los tiempos de monitoreo (30 y 60 segundos) en las tres bobinas.

Figura 3. Resultados experimentales de calentamiento; a) bobina circular, b) bobina ovalada 1 y c) bobina ovalada 2.



Para las tres bobinas se puede observar un comportamiento estable en las temperaturas promedio para los 30 y 60 segundos de prueba. Sin embargo, la variación mínima se puede observar en la bobina circular con una alimentación de 5 V. Una razón de cambio baja en las temperaturas de calentamiento se traduce en que el circuito puede mantener un valor de temperatura constante por un mayor tiempo. La desventaja de la bobina circular es la baja temperatura que induce sobre la probeta. En términos de mantener un valor de temperatura constante, la bobina ovalada 1 presenta un mejor desempeño. Finalmente, la bobina ovalada 2 genera un mayor calentamiento sobre la probeta; sin embargo, también presenta variaciones mayores por incremento de tiempo de la prueba.

CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se llevó a cabo la caracterización del proceso de calentamiento por inducción sobre probetas de acero al carbón, con el fin de determinar los parámetros de diseño geométrico de las bobinas de calentamiento y los valores apropiados de alimentación que permitan mantener un determinado valor de temperatura constante durante el periodo de caracterización mecánica del material de la probeta.

Para el desarrollo de este trabajo se propuso el diseño y la fabricación de tres diferentes bobinas de calentamiento variando su geometría, generando así una bobina circular y dos ovaladas, con diferentes espaciamientos con respecto a la probeta a calentar. De los resultados experimentales obtenidos, se puede concluir que el mejor desempeño para mantener un valor de temperatura constante se obtuvo con la bobina ovalada 1. Mientras que la mayor temperatura obtenida en los tiempos de prueba propuestos se obtuvo con la bobina ovalada 2. Con base en los resultados, se puede determinar el diseño de la bobina a utilizar, así como también los parámetros de alimentación del circuito de calentamiento, en función del tiempo de mantenimiento y el valor de temperatura que se deseada mantener constante. Los

resultados del análisis que se llevó a cabo durante el desarrollo del presente trabajo sentarán las bases para futuras investigaciones sobre la caracterización de las propiedades mecánicas de materiales metálicos bajo diferentes valores de temperatura constantes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Behrens, B., S. Hübner, and M. Demir. *Conductive heating system for hot sheet metal forming*. in *Proceedings of 1st International Conference on Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel*. 2008
2. Bok, H.-H., et al., *Thermo-mechanical-metallurgical modeling for hot-press forming in consideration of the prior austenite deformation effect.* International Journal of Plasticity, 2014. **58**: p. 154-183.
3. Dong, H., Y. Zhao, and H. Yuan, *Effect of coil width on deformed shape and processing efficiency during ship hull forming by induction heating.* Applied Sciences, 2018. **8**(9): p. 1585.
4. Esteve Gómez, V., *Influencia de los componentes parásitos en el análisis y diseño de inversores resonantes paralelo para aplicaciones de calentamiento por inducción*. 1999.
5. Fan, D., et al., *Critical review of hot stamping technology for automotive steels.* MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY-ASSOCIATION FOR IRON AND STEEL TECHNOLOGY-, 2007. **1**: p. 98.
6. Francesco, G., A. Giuseppina, and F. Luigino, *Incremental forming with local induction heating on materials with magnetic and non-magnetic properties.* Procedia Engineering, 2017. **183**: p. 143-148.
7. Kim, D.K., et al., *Advanced induction heating system for hot stamping*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018. **99**(1): p. 583-593.
8. Kim, J., K.-H. Kim, and D. Kwon, Evaluation of high-temperature tensile properties of Ti-6Al-4V using instrumented indentation testing. Metals and Materials International, 2016. 22(2): p. 209-215.
9. Kolleck, R., et al., *Alternative heating concepts for hot sheet metal forming*, in *Alternative heating concepts for hot sheet metal forming*. 2008, . p. 239-246.
10. Merklein, M., et al., *Hot stamping of boron steel sheets with tailored properties: a review.* Journal of materials processing technology, 2016. **228**: p. 11-24.
11. Mori, K., S. Maki, and Y. Tanaka, *Warm and hot stamping of ultra high tensile strength steel sheets using resistance heating.* CIRP annals, 2005. **54**(1): p. 209-212.
12. Nishibata, T. and N. Kojima, *Effect of quenching rate on hardness and microstructure of hot-stamped steel.* Journal of Alloys and Compounds, 2013. **577**: p. S549-S554.
13. Sadeghipour, K., J. Dopkin, and K. Li, *A computer aided finite element/experimental analysis of induction heating process of steel.* Computers in industry, 1996. **28**(3): p. 195-205.
14. Shimamoto, A., T. Shimomura, and J.H. Nam. *The development of a servo dynamic biaxial loading device*. in *Key Engineering Materials*. 2003. Trans Tech Publ.
15. Sun, Y., et al., *An experimental investigation on the ductility and post-form strength of a martensitic steel in a novel warm stamping process.* Journal of Materials Processing Technology, 2020. **275**: p. 116387.
16. Taylor, T.a. and A. Clough, *Critical review of automotive hot-stamped sheet steel from an industrial perspective.* Materials Science and Technology, 2018. **34**(7): p. 809-861.
17. Resnick, R., D. Halliday, and K. Krane, *Física Vol. I.* I, 2004.